

MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS: PASSADO, PRESENTE E FUTURO¹

Toni Tapani Eerola²

Departamento de Geociências, CFH, Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário, B. Trindade, 88010-970 Florianópolis, SC.
E-mail: teerola@cfh.ufsc.br

“Nada do que foi será
de novo do jeito que já foi um dia
tudo passa, tudo sempre passará
A vida vem em ondas como mar
do infinito ao finito
Tudo o que se vê não é
igual ao que a gente viu há um segundo
tudo muda o tempo todo no mundo
Não adianta fugir,
nem mentir a si mesmo...”

Como uma onda
(Lulu Santos/Nelson Motta)

Resumo

O aquecimento global causado pelo homem é um dos maiores paradigmas científicos da atualidade. Esta tem profundas implicações ambientais, econômicas, políticas e sociais. O debate em torno do assunto é intenso. Porém, a perspectiva de mudanças climáticas do passado, a questão do tempo geológico e as incertezas científicas são geralmente ignorados nesta discussão. O clima oscila e muda naturalmente. Ele tem isto muitas vezes no passado. As causas disto são geológicas e estas mudanças fazem parte da dinâmica natural da Terra. Estas são necessárias à evolução das espécies.

No artigo traz-se o ponto de vista da geologia à questão, tentando desta forma contribuir ao debate. Mesmo diante das incertezas científicas e mudanças climáticas do passado apresentadas, o autor defende a posição sensata de se tomar atitudes que possam reduzir a possibilidade de efeitos antropogênicos ao clima, no lugar de se simplesmente continuar emitindo gases de efeito estufa sem restrições e esperar o que venha a acontecer.

Introdução

O aquecimento global, provocada pela emissão de gases de efeito-estufa é um dos maiores paradigmas científicos da atualidade. Nos países industrializados o debate em torno da questão e as suas possíveis conseqüências é intenso. Infelizmente o debate tem sido caracterizado por uma forte carga ideológica. Simplificando, ocorre uma bipolarização em

¹ Apresentação no Fórum de Ecologia e no evento Mudanças Climáticas: Passado, Presente e Futuro, organizados pelo Instituto de Ecologia Política na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Florianópolis, em 2003.

² Mestre em geologia pela University of Helsinki, Finlândia e doutorando da mesma. Professor-pesquisador de geologia nos cursos de graduação do Departamento de Geociências da UFSC e Departamento de Estudos Geo-Históricos da UDESC. O tema do seu doutorado é sobre os efeitos das mudanças climáticas globais Neoproterozóico-Cambrianas no sul do Brasil.

duas frentes antagônicas. Os da esquerda consideram que o possível efeito estufa é, sem dúvida, causado pela atividade industrial, fornecendo a estes uma ferramenta no combate ao capitalismo e globalização. Baseado nisto, estes exigem restrições às emissões de gases de efeito estufa (dióxido de carbono, metano, CFC, etc.) e, conseqüentemente, restrições às atividades industriais. Porém, este ponto de vista é também defendido pelos ONGs, Painel Inter-Governamental de Mudança Climática (IPCC) e a maioria dos governos. Por sua vez, a direita ignora o problema e defende o direito de continuar com as atividades industriais e suas emissões, de acordo com os seus próprios interesses e a mentalidade “*laissez-faire*”. O governo dos EUA está na frente deste linha, juntamente com a indústria de produção de combustíveis fósseis, que querem garantir a obtenção e consumo de energia barata a qualquer meio e custo, até militarmente (Klare 2001, Eerola 2003b e recentes acontecimentos no Iraque), globalizando também os problemas ambientais. Apesar desta bipolarização, deve se manter “os pés no chão e a cabeça nas nuvens”.

Este artigo trata da questão das mudanças climáticas do ponto de vista de um geólogo, de forma acessível aos leigos. Tenta-se contribuir ao debate ao trazer à discussão alguns elementos que freqüentemente estão sendo esquecidos, como a perspectiva do tempo geológico e mudanças globais do passado. Discute-se também as incertezas científicas relacionadas à questão. O texto é baseado em artigos do autor sobre o tema (Eerola & Eronen 1998, Eerola 2001a, b) e no debate recentemente travado por este na revista profissional *Geologi*, publicada pela Geological Society of Finland (Eerola 2002a,b, 2003a,b, c).

Mudanças climáticas e os países em desenvolvimento: exemplo do Brasil

Apesar de se prever conseqüências mais drásticas da mudança climática aos países em desenvolvimento, a discussão nestes é bastante restrita. É raro de se ver ou ouvir sobre o assunto na mídia, como acontece no Brasil. Isto pode ser devido ao fato de a instabilidade climática ser algo corriqueira no país e as pessoas serem acostumados a isto. Esta instabilidade climática ocorre em forma de alternância de enchentes e estiagens. Em 2001-2002 o sul do Brasil foi afetado pela maior estiagem em cinquenta anos, quando antes disto as pessoas tiveram que deixar as suas casas por causa das enchentes. Pesadas chuvas causaram enchentes e deslizamentos em Rio de Janeiro e São Paulo. Isto ocorre todos os anos. A prolongada estiagem de 2001 provocou a diminuição do nível d'água de represas, ocasionando restrições ao consumo de energia elétrica em grande parte do país. Já em 2002, as represas estavam transbordando no semi-árido Nordeste, por causa de fortes chuvas. Por seu lado, o sul do Brasil sofreu com temporais e a temperatura desceu a 20°C no meio do verão, o que é excepcional. As temperaturas foram as mais frias em 17 anos. Ao mesmo tempo batia-se récores de frio na Sibéria e a neve caía nos países mediterrâneos. Os mais apressados já falaram em mudança climática provocada pelo homem. Porém, será que estes eventos são sintomas da mudança climáticas e sinais de um novo El Niño, como tem sido previsto, ou somente variações cíclicas naturais? Os meteorologistas acalmaram os brasileiros: os fenômenos são perfeitamente naturais em relação à época do ano.

O Brasil já experimentou grandes mudanças climáticas durante a sua história, sem falar em outras mudanças geológicas. No passado remoto, o Brasil já foi coberto por geleiras (vide Almeida & Carneiro 1995), mares e desertos. A instabilidade climática atual não é nada em comparação com as mudanças do passado. As mudanças de curto prazo, com a duração de dias, semanas, meses, anos, décadas, ou até séculos, são somente picos de menor importância dentro de períodos mais longos do tempo geológico. O clima vai mudar no futuro também, queiramos ou não. Estamos de rumo à uma nova glaciação, quando as condições serão bastante mais severas do que nos *gulags* (campos de prisioneiros políticos da União Soviética relatados por Soljenitshin) da Sibéria russa. Mas será que experimentaremos um aquecimento global antes disto e será que este será provocado pelo homem?

Papel da geologia no debate sobre a mudança global

As glaciações esculpiram a superfície dos países do hemisfério norte, como a Finlândia: as geleiras poliram e estriaram os rochedos, acumularam formações glacio-fluviais, arrancaram e transportaram enormes blocos de rocha erráticos por até centenas de quilômetros e cobriram o país com depósitos glaciais, o till (Taipale & Saarnisto 1991). Estes sinais são facilmente vistas na paisagem, pois foram produzidas recentemente do ponto de vista geológico, pois a última glaciação terminou somente há 10.000 anos atrás.

Os geólogos podem reconhecer até sinais de glaciações mais antigas. Os vestígios mais importantes são os depósitos glaciais deixadas por geleiras, as morainas, formadas por till glacial, que, ao petrificarem, formam os tilitos. Estes tem sido descobertos em camadas de rochas sedimentares ao redor do globo, até em Saara.

A geologia está em uma posição chave ao se discutir sobre as mudanças climáticas. Isto, não somente pelo fato de os combustíveis fósseis serem descobertos pelos geólogos, cuja queima é acusado de estar provocando o efeito estufa, mas também porque a geologia é a ciência que pesquisa, entre outros temas, o passado da Terra. A geologia é a ciência das mudanças. Os acontecimentos do nosso planeta foram gravados em camadas de rochas sedimentares, que são lidas e interpretadas pelos geólogos. Os processos e as mudanças geológicas relacionadas cobrem milhares, milhões ou até bilhões de anos. Por isto é necessário de se considerar uma perspectiva de tempo mais amplo quando pesquisamos diferentes ciclos, p.ex. em relação às mudanças climáticas.

Nada é eterno no mundo. O meio ambiente, a paisagem e o clima não foram e não serão no futuro assim como os vemos hoje. E, principalmente, também não será eterno o nível de vida da sociedade industrial atual, que se baseia justamente no uso de combustíveis fósseis e outros recursos naturais não-renováveis.

Os continentes derivam, colidem e se separam, cordilheiras são soerguidas e desgastadas pela erosão, vulcões entram em erupção, terremotos sacodem a Terra, espécies extingüem e outros surgem no seu lugar, geleiras se expandem e se retraem, o clima muda e o nível dos mares varia. Assim tem sido no passado e assim será no futuro também. A natureza está em constante transformação, mesmo não sermos necessariamente capazes de vê-la. As mudanças ocorrem lentamente em relação à nossa percepção do tempo. Estes são fatos conhecidos pelos geólogos. Os processos geológicos são naturais e evoluem lenta- ou rapidamente, mas sem se poder impedi- ou mudá-los. Durante a história geológica, estas mudanças naturais tem provocado efeitos catastróficos, mas, ao mesmo tempo também conseqüências positivas. As mudanças climáticas são um exemplo disto. A evolução da vida provavelmente não seria possível sem estas mudanças. As mudanças são necessárias à adaptação das espécies. Estas questões, assim como a geologia em geral, são necessárias a serem transmitidos ao grande público e administradores em forma da popularização de geociências e educação ambiental (Eerola 1994, Eerola & Öhberg 1995, Carneiro 1996, Sgarbi 2001).

Geólogos e a mudança climática

Muitos geólogos tem sido tradicionalmente céticas em relação à uma mudança climática provocado pelo homem. Isto é devido aos seus laços estreitos com a produção de combustíveis de fósseis e outros recursos naturais não renováveis de origem geológica, assim como ao seu conhecimento sobre as mudanças climáticas do passado.

Apesar da importância da geologia no presente debate, os geólogos tem estado ausentes da sua discussão pública. O debate tem sido restrito aos fóruns científicos. Lamentavelmente os geólogos não trazem as suas opiniões ao público sobre questões importantes da sua área, concernentes à sociedade atual (Eerola 1994, Eerola & Öhberg 1995), sendo a mudança climática apenas um exemplo disto (Eerola 2002a,b, 2003a). Devida

à sua relação tradicional com a produção de matérias-primas como minérios, os geólogos são compreendidos somente como profissionais que atuam na prospecção mineral, mineração e produção de petróleo, sendo assim, “perigosos ao meio ambiente” nos olhos do grande público e principalmente dos ONGs (Eerola 1994, 2001c, 2003a) - isto quando se sabe o que é a geologia e a profissão do geólogo. As contribuições e a pesquisa positivas à sociedade e ao meio ambiente em geral não são conhecidas.

Principalmente nos países industrializados é comum os ativistas de ONGs se apresentarem na mídia como especialistas em mudança climática (Eerola 2002a). Isto resulta frequentemente em projeções unilateralmente catastrofistas, sem o devido conhecimento de processos naturais, mudanças do passado e incertezas científicas relacionadas. Esta “histeria” é aceita facilmente pela mídia que a alardeia. Além de conflitos relacionadas com a mineração, este tem sido um dos fatores que tem causado atrito entre os geólogos e ativistas ambientais (Eerola 2003a). E infelizmente, à mídia não interessa discutir complexos fatores e incertezas científicas relacionadas com a questão. Esta prefere simplificar a questão para o lado mais “emocionante”, sensacionalista, ou seja, catastrófico. Deste modo, contar sobre as mudanças climáticas do passado ao público e aos administradores pode trazer novas perspectivas ao debate atual. Isto deve ser feito por geólogos.

Mudanças climáticas do passado

Durante a história de 4,5 bilhões de anos do nosso planeta ocorreram várias mudanças climáticas radicais. Longos períodos de clima estável foram sucedidos por glaciações e estes, por sua vez, por efeito-estufas. Estes períodos quentes ocasionaram até desertificações de amplas áreas continentais. Estes eventos tem provocado também conseqüências biológicas. As mudanças climáticas tem extingüido muitas espécies e favorecido outras.

As camadas sedimentares revelam que a Terra já sofreu várias glaciações. A mais antiga destas foi há mais de dois bilhões de anos atrás e o mais intenso, por sua vez, parece ter congelado até as regiões equatoriais. O clima da Terra esfria o nosso planeta às vezes a um congelador, e outras vezes o transformando em uma sauna. A seguir, viajaremos no tempo para vermos como o clima da Terra variou no passado.

Glaciação Arqueana (há 2,7 bilhões de anos atrás)

As rochas mais antigas interpretadas como glaciais foram descobertas em formações com a idade de 2,7 bilhões de anos na África do Sul. Porém, nem todos os pesquisadores aceitam a sua origem glacial. Pelo menos não foram relacionadas às geleiras extensas.

Glaciações Paleoproterozóicas (há 2,3 bilhões de anos atrás)

Os vestígios mais antigos de um período de frio intenso são encontrados em rochas com a idade de 2,3 bilhões de anos na América do Norte, Finlândia e Rússia, que se situavam próximos uns dos outros. O período é conhecido como a Glaciação Huroniana.

Glaciações Neoproterozóicas: do “Planeta Bola-de-Neve” ao Efeito-Estufa Cambriano (há 1000 a 540 milhões de anos atrás)

A mais severa glaciação de toda a história evolutiva da Terra foi há 1000 a 550 milhões de anos atrás, no período conhecido como o Neoproterozóico. Nesta época ocorreram pelo menos quatro glaciações em regiões que hoje estão dispersos em continentes diferentes. A mais extensa destas foi a Glaciação Varangeriana. Esta foi o período mais frio que a Terra já experimentou durante a sua história. A Terra estava congelada até aos trópicos, formando o chamado “Planeta Bola-de-Neve” (Eerola & Eronen 1998, Hoffman et al. 1998). Somente algumas áreas oceânicas, com ilhotas e microcontinentes, estavam livres de geleiras na região do Equador (Hyde et al. 2000). Segundo recentes simulações climáticas, nestas áreas predominava um clima tropical (ibid.). O nome da glaciação vem do *fjord* de Varanger no

norte da Noruega, onde pela primeira vez foram encontrados sedimentos glaciais com a idade entre 650 a 600 milhões de anos. Apesar de a origem glacial das rochas deste lugar ser atualmente disputada, os vestígios desta glaciação são encontrados também na Antártida, África do Norte, China, Rússia, Suécia, Escócia, Svalbard, Namíbia, Argentina, Uruguai, Brasil, América do Norte e Austrália (vide Eerola 2001a). Isto significa que áreas muito extensas foram cobertas por geleiras. A presença desta glaciação no sul do Brasil está sendo pesquisada pelo autor (vide Eerola 1995, 2001b).

A mudança climática mais drástica do passado geológico conhecido ocorreu há 540 milhões de anos atrás, na transição do Neoproterozóico ao período Cambriano da era Paleozóica (vide Eerola 2001a). Durante as glaciações, os mares absorveram grandes quantidades de dióxido de carbono e os continentes estavam amalgamados, formando o supercontinente de Rodinia. No período Cambriano este supercontinente começou a fragmentar-se. Erupções vulcânicas e gases hidrotermais dos fundos oceânicos em expansão emitiram grandes quantidades de gases, como o dióxido de carbono. Em consequência deste fenômeno natural de efeito-estufa, a temperatura aumentou radicalmente e as geleiras fundiram-se, elevando o nível dos mares. Novos mares rasos banhavam os litorais do supercontinente em fragmentação. O dióxido de carbono, que estava em solução na água do mar, precipitou-se em forma de carbonatos, formando rochas calcáreas nos mares rasos tropicais. A vida começou a irradiar nestes mares (vide Zhuravlev & Riding 2001).

Os períodos de extremo frio das glaciações tinham causado grandes pressões ambientais às espécies marinhas. A mudança climática radical de um “refrigerador à sauna” ofereceu condições favoráveis a estas espécies. Ocorreu a radiação evolutiva do Cambriano (vide Zhuravlev & Riding 2001). Os animais aprenderam a formar esqueletos e carapaças a partir de carbonato de cálcio – surgiram os vertebrados. Após disto, nada foi mais como antes. O mundo mudou de uma vez por todas. Mudanças climáticas radicais tem ocorrido várias vezes durante a história geológica, mas nunca com a mesma intensidade e importância.

Glaciações Paleozóicas (há 400 a 200 milhões de anos atrás)

Várias glaciações afetaram os continentes do hemisfério sul durante o Paleozóico. No Brasil são encontrados vestígios de geleiras nos períodos Devoniano, Siluriano e Carbonífero (vide Almeida & Carneiro 1995). Durante esta era, a vida invadiu a terra firme e até o período Carbonífero, a evolução tinha produzido uma fauna e flora abundantes. No Carbonífero, ao começar a se formar o novo supercontinente Pangea, há 300 milhões de anos atrás, os países do atual hemisfério norte estavam na faixa equatorial e eram cobertos por vastas florestas formadores de carvão, enquanto os continentes do atual hemisfério sul estavam no Pólo Sul e cobertos por geleiras (ibid.). Porém, logo após disto, a zonalidade climática foi reduzida e houve um aquecimento global, que perdurou durante todo o Mesozóico, contribuindo à evolução dos dinossauros. O Mesozóico, por sua vez, terminou com a separação do Pangea, mudança climática, atividade vulcânica e a queda de um meteorito gigante no Golfo do México, que aniquilaram os dinossauros.

Glaciações Quaternárias (há 2,5 milhões de anos a 10.000 anos atrás)

Durante os dois últimos milhões de anos o clima da Terra tem variado drasticamente. As suas consequências foram glaciações, intermediadas por períodos interglaciais mais quentes, como o que estamos vivendo agora. Durante as glaciações, a Europa do Norte e grandes áreas da América do Norte estavam cobertas por espessas geleiras continentais. Neste sentido, as glaciações Quaternárias foram excepcionais, pois no passado ocorreram geleiras continentais somente nos continentes do hemisfério sul. A evolução do homem ocorreu durante estas mudanças climáticas e a distribuição das espécies foi fortemente influenciada por estas.

Atualmente temos geleiras continentais somente em áreas polares. Geleiras alpinas menores ocorrem em vales e topos de montanhas, até em áreas tropicais, como nos Andes, Himalaia e no Kilimanjaro na África.

Causas das mudanças climáticas

As mudanças climáticas são normais ao comportamento do planeta Terra e as suas principais causas são geológicas (Young 1991, Murck et al. 1996, Merritts et al. 1997, Skinner & Porter 2000, Eerola 2001a). O mais importante impulso às mudanças climáticas é a deriva dos continentes, especialmente a amalgamação destes em grandes supercontinentes e a sua fragmentação. Isto é causado pela tectônica de placas. Uma área continental grande resfria, porque o efeito aquecedor dos oceanos não alcança as partes internas do supercontinente. Os continentes podem também migrar às regiões polares, quando então as suas condições serão árticas; o movimento das placas tectônicas podem também mudar o sentido de correntes marinhas e atmosféricas. A colisão de continentes gera novas cordilheiras, o que pode impedir o acesso de correntes atmosféricas quentes de uma região à outra e as áreas montanhosas podem gerar geleiras alpinas, tendo estas um efeito de resfriador da atmosfera.

A maior parte das glaciações ocorreram em épocas em que continentes formaram grandes aglomerações (Eerola 2001a). Por exemplo, durante a existência do supercontinente Rodinia no Neoproterozóico (1000 a 545 milhões de anos atrás) ocorreram várias glaciações severas. Atualmente se sabe também que além da tectônica de placas, o clima é influenciado pela composição química da atmosfera, especialmente pelo teor de gases de efeito-estufa. A temperatura sobe, ao se aumentar a quantidade de metano e dióxido de carbono na atmosfera. Estes gases formam um “cobertor” em torno do planeta, que impede o escape do calor ao espaço. A temperatura diminui, quando grandes quantidades de dióxido de carbono são eliminadas da atmosfera e dissolvidas nos oceanos. O resfriamento é geralmente ocasionado quando a matéria orgânica, juntamente com o carbono, é soterrado em sedimentos em lagos, pântanos e mares. Além disto, o clima pode ser mudado pelas alterações na vegetação, intemperismo das rochas, erupções vulcânicas, mudanças na rotação da Terra e variações na incidência da radiação solar, além de outros fatores ainda desconhecidas.

Geralmente se aceita que as glaciações Quaternárias, ou seja, as últimas, tenham sido causados pelas pequenas variações cíclicas na rotação da Terra em torno do sol, que são causadas pelas mudanças nas forças de atração gravitacional entre os planetas ao se aproximarem e se afastarem. Estas mudanças, chamados de Ciclos de Milankovitch, são, porém, fracas e insuficientes para causarem sozinhos um resfriamento expressivo. Entretanto, as pequenas variações na radiação solar ocasionam um reação em cadeia, em conjunção com outros fatores e que conduzem à uma glaciação.

Mudança climática global antrópica e as incertezas científicas

Os climas passados e futuros podem ser simulados e previstos. As previsões parecem sombrios. Segundo os relatórios do IPCC, parece claro que o homem está produzindo o aumento de gases de efeito-estufa na atmosfera e que isto está causando o aquecimento global. Este é o motivo de uma preocupação internacional e se estuda medidas para reduzir as emissões destes gases. Porém, o comércio de taxas de carbono e a recusa dos EUA em adotar mesmas medidas ameaçam quaisquer efeitos positivos à questão.

Porém, estas simulações e as previsões nelas baseadas tem problemas: são baseadas em suposições e não conhecemos todos os fatores e interações que influenciam o clima. Existem várias incertezas científicas sobre a questão da mudança climática atual. Por exemplo, não se sabe ao certo qual é o papel do vapor d’água, nuvens e a vegetação no ciclo do carbono, dissipação do calor e reflexão da radiação solar. Segundo muitos autores, estas

incertezas apontam justamente para grandes lacunas no nosso conhecimento sobre a Terra e desafios às geociências (Taipale & Saarnisto 1991, Skinner & Porter 2000).

Os dados de medições meteorológicas de temperaturas existentes cobrem um período de apenas aproximadamente cem anos, ou seja, parte do período industrial. Porém, cem anos é um período completamente desprezível do ponto de vista geológico. Vivemos atualmente em um período posterior à glaciação que terminou somente há 10.000 anos atrás. Estamos caminhando rumo à uma nova glaciação que ocorrerá daqui a 23.000 anos. Portanto, estamos em um período interglacial, quando as temperaturas podem oscilar ciclicamente entre mais altas e mais baixas. Esta alternância é completamente natural. Porém, levando-se em conta estas medições, existem dois fatos sobre a mudança climática: a temperatura média e o teor de dióxido de carbono estão em ascensão mundialmente. Isto é apontado também pelos anéis de crescimento das árvores, isótopos de oxigênio das geleiras e o recuo de geleiras alpinas (Murck et al. 1996, Merritts et al. 1997, Skinner & Porter 2000). Porém, o resto é pura especulação. Ao não se conhecer outras fontes naturais de dióxido de carbono ativas ao mesmo tempo, a conclusão lógica ao que os pesquisadores chegaram, foi que estes aumentos devem ser provocados pelo homem (vide Murck et al. 1996, Merritts et al. 1997, Skinner & Porter 2000). De fato, os teores pré-industriais de dióxido de carbono, medidos de geleiras continentais são 280 000 ppbv. O nível atual é de 366 000 ppbv, ou seja, o teor de dióxido de carbono sofreu um aumento nunca antes visto, demonstrando que algo de muito incomum está acontecendo atualmente (Skinner & Porter 2000). Teores tão altos não são conhecidos da história recente da Terra. Mesmo assim, existem evidências de que estes teores em ascensão não são devidos apenas à atividade antrópica. Existe uma correlação forte com algumas outras fontes de dióxido de carbono e o aumento de temperaturas globais, como os oceanos e atividade vulcânica, por exemplo. De qualquer modo, ao que parece, o homem está contribuindo à ascensão natural de dióxido de carbono. Isto é causado pela indústria, desmatamento e desertificação. A ação do homem aumenta também a quantidade de outros gases de efeito estufa na atmosfera. Estes gases são ainda mais eficazes no aquecimento global do que o dióxido de carbono: o CFC é produzido somente pelo homem, o cultivo de arroz e criação de gado aumentam o teor de metano e tráfego de automóveis aumenta o teor de ozônio. Óxidos de nitrogênio são produzidos pela utilização de fertilizantes e fabricação de nylon.

Comparadas de modo separado, as atividades humanas podem ser considerados como desprezíveis dentro de uma perspectiva global e de tempo geológico, mas a ação conjunta destas, juntamente com outros agentes atmosféricos, podem ser significantes (Merritts et al. 1997). Os processos geológicos são lentos, ao serem comparados com a influência do homem. Apesar de a influência humana ocorrer dentro de um período de tempo geológico relativamente curto, o seu efeito acumulado e “repentino” pode ser mais forte do que o de agentes naturais, mais lentos (ibid., Skinner & Porter 2000).

Diante das incertezas apresentadas, não sabemos ao certo se o aquecimento global é provocado por homem, ou se estamos vivendo em um período de aumento de temperatura natural de um período interglacial. Estas incertezas podem ser, por si só, consideradas como ameaças por décadas (Eerola 2002b). Ao se iniciar, uma mudança climática é difícil de ser impedida ou interrompida. A transição a um período de efeito-estufa pode ocorrer de repente e não aos poucos. As conseqüências disto ao homem e ao meio ambiente podem ser catastróficas.

Assim sendo, estamos diante do conceito de sociedade de risco de Anthony Giddens (1991) e Ulrich Beck (1992): estamos à mercê de perigos e do imprevisível. Não sabemos ao certo o que vai acontecer. Tudo influencia tudo e a teoria do caos pode também ser válida na questão das mudanças climáticas. Apesar de as nossas emissões de gases de efeito estufa possam ser consideradas insignificantes na escala do planeta, somos, mesmo assim, um agente geológico. A alteração da atmosfera e do meio ambiente por um agente pode alterar a totalidade de modo surpreendente, ou seja, mesmo um único agente pode provocar

conseqüências imprevisíveis e indesejadas de efeito retardado e de longo prazo (Giddens 1991, Koskiah 1994). Infelizmente temos aprendido muitas vezes a conhecer os efeitos colaterais de certos fenômenos justamente quando estes resultaram em conseqüências danosas, ou até em catástrofes (Maula 1994).

Laissez faire?

“*Laissez faire, laissez passer*” significa deixai fazer, deixai passar. Esta foi a máxima do economista inglês Adam Smith, que viveu durante o primeiro século da Revolução Industrial. De acordo com este, o livre mercado corrige, por si mesmo, as distorções econômicas autoprovocadas, como as desigualdades sociais. A liberdade de mercado tem também sido aplicado ao meio ambiente desde a revolução industrial, geralmente com conseqüências desastrosas. No atual debate sobre o meio ambiente e mudanças climáticas a máxima de Smith pode ser traduzida literalmente como “*deixai queimar!*”

Os combustíveis fósseis foram formados durante milhões de anos, pela deposição e soterramento de matéria orgânica em lagos, pântanos e oceanos. Neste momento o homem está liberando este carbono à atmosfera pela queima em questão de alguns séculos. Isto traz uma considerável quantidade de dióxido- e monóxido de carbono, enxôfre, fuligem, poeira, etc. à circulação atmosférica.

A segurança com que os oponentes da redução de emissões ignoram o problema parece significar uma atitude de querer continuar da mesma forma como até agora (*laissez-faire*), ou seja, emitindo crescentes quantidades de dióxido de carbono, acompanhado por um crescimento econômico ilimitado e a qualquer custo, pois nada vai acontecer – para estes isto é melhor do que usar bilhões de dólares para conter uma ameaça inexistente. Este otimismo positivista é similar à autosegurança arrogante de especuladores financeiros.

Conclusões

No passado da Terra houve várias mudanças climáticas naturais. Estas foram causadas por forças geológicas, inerentes à dinâmica da Terra. Estes fatos devem ser tornados conhecidos a todos através da popularização da geologia.

Apesar de o homem ser apenas mais um agente geológico dentre muitos outros, somos a espécie, que pela primeira vez na história da Terra, pode ter o poder de contribuir à uma mudança global. Porém, na falta de provas suficientes, é difícil de dizer se teremos um aquecimento global provocado pelo homem ou não. Diante de um assunto desta importância, é importante termos humildade e reconhecermos a nossa ignorância a respeito. De qualquer modo, é bastante arriscado continuarmos da mesma maneira como tem se feito até agora, ou seja, emitindo gases de efeito estufa sem preocupações. Para Merritts et al. (1998), não podemos assumir este risco. O preço das conseqüências em assumir este risco pode ser mais alto do que medidas de prevenção a serem adotadas. Jogar com o risco combina com a especulação financeira, mas muito mal com o bem-estar de todos.

Pensando de maneira otimista, a ameaça do efeito estufa pode ser uma ótima oportunidade de aprendermos a atuar de maneira econômica e solidária e adaptarmos às novas condições. Provavelmente algumas espécies vão ser fatalmente extintas e outras continuarão a sua luta pela sobrevivência e evoluir, como tem ocorrido tantas vezes durante a história geológica. De qualquer forma, a história geológica vai continuar o seu rumo sem se importar com o homem que apareceu na Terra há apenas 4 milhões de anos.

Entretanto, se houver um aquecimento global devido à ação do homem, Taipale & Saarnisto (1991), Merritts et al. (1997) e Skinner & Porter (2000) reconfortam-nos: quando os combustíveis fósseis tiverem sido totalmente consumidos, o efeito estufa e as suas conseqüências durarão por cerca de um milênio, ou seja, serão um fenômeno passageiro e

imperceptível na escala de tempo geológico. Após disto, o clima da Terra novamente esfriará, ao vir uma nova glaciação.

A nossa evolução também foi influenciada pelas mudanças climáticas. Esta ocorreu durante a alternância de períodos glaciais e interglaciais. Enquanto aguardamos por uma nova glaciação, chegou ao homem o tempo de tentar usar a sua inteligência, gerada e moldada pelos processos biológicos e geológicos (vide Leakey & Lewin 1978), e tentar atuar de modo a reduzir a possibilidade da influência antrópica e dos seus efeitos com as suas próprias ações. Estas ações são as reduções no consumo de combustíveis fósseis, pesquisa de fontes energéticas alternativas, pesquisa interdisciplinar de mudanças climáticas, reciclagem e maior respeito ao meio ambiente. Isto depende de todos nós, incluindo os geólogos.

Referências bibliográficas

- Almeida, F.F.M. de & Carneiro, C.D.R.* 1995. Geleiras no Brasil. *Ciência Hoje* 19 (112): 24-31.
- Beck, U.* 1992. *The risk society. Towards a new modernity.* London: Sage.
- Carneiro, C.D.R.* 1996. A informação geológica e o ambiente: bases para uma sociedade sustentável. *Terra em Revista* 2 (2): 12-18.
- Eerola, T.* 1994. Problemas da popularização e divulgação de geociências no Brasil (com sumário em inglês). *Revista Brasileira de Geociências* 3, 160-163.
- Eerola, T.* 1995. From ophiolites to glaciers? Review on geology of the Neoproterozoic-Cambrian Lavras do Sul region, southern Brazil. In: Autio, S. (ed.) *Geological Survey of Finland Current Research 1993-1994.* Geological Survey of Finland, Special Paper 20: 5-16.
- Eerola, T.* 2001a. Climate changes at the Neoproterozoic-Cambrian transition. In: Zhuravlev, and Riding, R. (Eds.) *The Ecology of the Cambrian Radiation.* Columbia University Press, New York, pp. 90-106.
- Eerola, T.* 2001b. Fluxos de lama, erupções vulcânicas e/ou glaciação há 600 milhões de anos atrás em Lavras do Sul, RS? Pesquisas geológicas no sul do Brasil. *Revista Xaman* 1/2001 (http://www.helsinki.fi/hum/ibero/xaman/articulos/2001_01/eerola.html)
- Eerola, T.* 2001c. Mining, environment and the public image of geology. Abstracts of the EUG XI Meeting, Strasbourg, France (<http://www.campublic.co.uk/EUGXI/OS02.pdf>)
- Eerola, T.* 2002a. The educational role of geology in the debate on climate changes (em finlandês, com sumário em inglês). *Geologi* 3, 61-64.
- Eerola, T.* 2002b. Geology educates about the climate changes – or does it? (em finlandês) *Geologi* 9-10, 152-154.
- Eerola, T.* 2003a.** Geology, environment and NGOs in a changing society (em finlandês, com sumário em inglês). *Geologi* 6 (submetido)
- Eerola, T.* 2003b. Let it burn? More emissions for the debate on climate change (em finlandês, com sumário em inglês). *Geologi* 4-5, 124-127.
- Eerola, T.* 2003c. The old face of the New World Order: the geopolitics of oil and the “War Against the Terrorism” (em finlandês). *Geologi* 4-5, 128-129.
- Eerola, T. & Eronen, M.* 1998. Was the Earth a snowball planet? (em finlandês) *Tiede* 2000, 6, 23-26.
- Eerola, T. & Öhberg, J.* 1995. Some methods used in public geological education in Finland. In: Autio, S. (ed.) *Geological Survey of Finland Current Research 1993-1994.* Geological Survey of Finland, Special Paper 20: 59-65.
- Giddens, A.* 1991. *As conseqüências da modernidade.* Tradução de Raul Fiker. São Paulo: Editora UNESP, 177 p.
- Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P. and Schrag, D.P.* 1998. A Neoproterozoic snow-ball Earth. *Science*, v. 281, pp. 1342-1346.
- Hyde, W.T., Crowley, T.J., Baum, S.K. and Peltier, W.R.* 2000. Neoproterozoic “snowball Earth” simulations with acoupled climate/ice-sheet model. *Nature*, v. 405, pp. 425-429.

- Klare, M.T.* 2001. Resource Wars – The new landscape of global conflict. New York: Metropolitan Books, 461 p.
- Koskiahio, B.* 1994. O controle da complexidade na pesquisa do meio ambiente. Considerações da perspectiva da filosofia da ciência (em finlandês). In: Vilkkka, L. (ed.) Problemas ambientais e a ciência. Filosofia da pesquisa ambiental. Helsinki, Yliopistopaino, pp. 135-159.
- Leakey, R.E. & Lewin, R.* 1978. O povo do lago. O homem: suas origens, natureza e futuro. Brasília, Editora UnB, Melhoramentos, 257 p.
- Maula, R.* 1994. O conhecimento é poder na pesquisa ambiental? Uma perspectiva da filosofia transcendental (em finlandês). In: Vilkkka, L. (ed.) Problemas ambientais e a ciência. Filosofia da pesquisa ambiental. Helsinki, Yliopistopaino, pp. 87-106.
- Merritts, D., De Wet, A. & Menking, K.* 1997. Environmental geology. An Earth system science approach. New York: W.H. Freeman and Company, 452 p.
- Murck, B.W., Skinner, B. & Porter, S.C.* 1996. Environmental geology. New York: John Wiley & Sons, Inc., 535 p.
- Sgarbi, G.N.C.* 2001. Geologia introdutória: base para o novo conhecimento. Revista de Ciências Humanas, 1 (2): 153-162.
- Skinner, B.J. & Porter, S.C.* 2000. The dynamic Earth. An introduction to physical geology. Fourth edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 112 p.
- Taipale, K. & Saarnisto, M.* 1991. De vulcões a glaciações. A evolução geológica da Finlândia (em finlandês). Porvoo: WSOY, 416 s.
- Young, G.M.* The geologic record of glaciation: relevance to the climatic history of Earth. Geoscience Canada 18, 100-106.
- Zhuravlev, A.Y. & Riding, R.* 2001. The ecology of the Cambrian radiation. New York: Columbia University Press, 525 p.

Texto das figuras

Figura 1. Superfície da rocha polida e estriada por geleira em Leppävaara (Espoo), Finlândia. Foto do autor.

Figura 2. Bloco errático transportado e depositado por geleira em Leppävaara (Espoo), Finlândia. Foto do autor.

Figura 3. Seixo pingado de iceberg em rocha sedimentar que representa um fundo de lago glacial da Formação Urkkavaara, com a idade de 2,4 bilhões de anos no leste da Finlândia. Foto de Jukka Marmo. Compare com a Figura 6.

Figura 4. Depósito glacial Neoproterozóico da Formação Smalfjord em Bigganjargga, *fjord* de Varanger, no norte de Noruega. O afloramento é protegido por lei na qualidade de um monumento geológico (geótopo). Foto do autor.

Figura 5. O autor pesquisando uma seqüência de rochas sedimentares com influência supostamente glacial em Lavras do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Foto de Mauro Reis.

Figura 6. Seixo pingado por ice-berg em rochas sedimentares de um antigo lago glacial da Formação Rio do Sul, Carbonífero da Bacia do Paraná em Trombudo Central, Santa Catarina, Brasil. Foto do autor. Compare com a Figura 3.