

**Direto**  
Mais que revistas, conhecimento.



## Reportagem

# Quando os humanos começaram a alterar o clima?

**Uma hipótese ousada sugere que as práticas agrícolas dos nossos ancestrais dispararam o aquecimento global milhares de anos antes de nós começarmos a queimar carvão e usar automóveis**

O consenso científico de que as atividades humanas começaram a ter efeito no aumento da temperatura da Terra durante o último século virou também parte da percepção pública. Com o surgimento de fábricas e usinas termelétricas movidas a carvão mineral, as sociedades industriais passaram a liberar no ar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases-estufa. Mais tarde, veículos a motor deram sua contribuição para essas emissões. Nesse cenário, as pessoas que viveram na era industrial são responsáveis não só pelo acúmulo de gases na atmosfera, mas também por pelo menos uma parte da tendência ao aquecimento que o acompanha. Agora, no entanto, parece que nossos ancestrais agricultores podem ter começado a lançar esses gases milênios atrás, alterando o clima do planeta muito antes do que se imaginava até então.

Novas evidências sugerem que as concentrações de CO<sub>2</sub> começaram a subir há cerca de 8.000 anos, mesmo que tendências naturais indicassem que elas deveriam estar caindo. Cerca de 3.000 anos mais tarde a mesma coisa aconteceu com o metano, outro gás com a propriedade de aprisionar na atmosfera o calor irradiado pela Terra. As consequências desses aumentos surpreendentes têm sido profundas. Sem eles, as temperaturas atuais de partes da América do Norte e Europa seriam de três a quatro graus Celsius mais baixas — o bastante para tornar a agricultura difícil. Além disso, uma era glacial incipiente — marcada pela aparição de pequenas calotas de gelo — provavelmente teria começado milhares de anos atrás em partes do nordeste do Canadá. Em vez disso, o clima terrestre tem se mantido relativamente quente e estável ao longo dos últimos milênios.

Até poucos anos atrás, essas reversões anômalas nas tendências de concentração dos gases de efeito estufa tinham escapado à atenção. Mas, após ter estudado o problema por algum tempo, me dei conta de que, cerca de 8.000 anos atrás, as tendências desses gases pararam de

Georg Gerster photo researchers inc



Terraços agrícolas são cultivados há pelo menos 2.000 anos. Província Guizhou, na China

acompanhar o padrão que seria previsível por seu comportamento de longo prazo no passado, marcado por ciclos regulares. Concluí que atividades humanas ligadas à agricultura — primariamente o desmatamento e a irrigação de lavouras— devem ter jogado CO<sub>2</sub> e metano extras à atmosfera. Essas atividades explicam tanto a reversão na tendência de concentração quanto o aumento constante até o início da era industrial. A partir de então, inovações tecnológicas modernas provocaram aumentos ainda mais acelerados nos níveis de gases-estufa.

Minha proposição de que atividades humanas vêm alterando o clima do planeta há milênios é confessadamente provocativa. Outros cientistas reagiram a essa proposta com uma mistura de entusiasmo e ceticismo, o que é típico quando novas idéias são lançadas. Agora, a hipótese começa a ser testada.

#### A visão atual

Esta nova idéia se baseia em décadas em avanços no conhecimento das mudanças climáticas de longo prazo. Os cientistas sabem desde a década de 1970 que três variações previsíveis na órbita da Terra em volta do Sol têm controlado o clima global a longo prazo por milhões de anos. Como consequência desses ciclos orbitais (que operam a cada 100 mil, 41 mil e 22 mil anos), a quantidade de radiação solar que chega a diferentes partes do globo numa dada estação do ano podem diferir em mais de 10%. Ao longo dos últimos três milhões de anos, essas mudanças regulares na quantidade de luz solar que incide sobre o planeta têm produzido uma série de eras glaciais (durante as quais vastas porções dos continentes no Hemisfério Norte foram cobertas por gelo), separadas por períodos interglaciais curtos e quentes.

Dezenas de seqüências climáticas desse tipo aconteceram durante os milhões de anos em que os hominídeos primitivos evoluíram lentamente para humanos anatomicamente modernos. No fim do período glacial mais recente, as calotas de gelo que haviam branqueado o norte da Europa e a América do Norte durante os 100 mil anos anteriores encolheram, desaparecendo há cerca de 6.000 anos. Logo após isso, nossos ancestrais construíram cidades, inventaram a escrita e fundaram religiões. Muitos cientistas creditam boa parte do progresso da civilização a esse intervalo naturalmente quente entre as glaciações, mas, a meu ver, essa está longe de ser a história completa.

Nos últimos anos, testemunhos de gelo obtidos em perfurações nas calotas polares da Antártida e da Groenlândia forneceram pistas valiosas sobre como era o clima da Terra no passado, incluindo mudanças nas concentrações de gases de efeito estufa. Uma amostra de dois quilômetros de comprimento extraída nos anos 1990 da estação Vostok, na Antártida, continha bolhas de ar antigo aprisionadas no gelo que revelaram a composição da atmosfera na época em que as camadas de gelo se depositaram. O gelo de Vostok confirmou que as concentrações de CO<sub>2</sub> e metano subiram e desceram segundo um padrão regular durante os últimos 400 mil anos.

Um fato particularmente notável é que esses aumentos e quedas nos níveis de gases-estufa ocorreram nos mesmos intervalos que as variações na intensidade da radiação solar e a extensão das capas de gelo. Por exemplo, as concentrações de metano flutuam principalmente no ritmo de 22 mil anos de um ciclo orbital chamado precessão. À medida que a Terra gira em torno de seu eixo, ela bamboleia como um pião, balançando lentamente o Hemisfério Norte para mais perto do Sol, depois afastando-o outra vez. Quando esse bamboleio precessional traz os continentes setentrionais para mais perto do Sol durante o verão, a atmosfera recebe uma grande injeção de metano de sua fonte natural primária: a decomposição de matéria vegetal nas áreas alagadas.

Depois que a vegetação de pântanos e charcos floresce, no final do verão, ela morre, se decompõe e emite carbono na forma de metano. Períodos de aquecimento máximo no verão aumentam a produção de metano de duas formas básicas: no sul da Ásia, o calor traz do oceano Índico para o continente quantidades adicionais de ar úmido, movimentando fortes monções tropicais que inundam regiões até então secas. No extremo norte da Ásia e da Europa, verões quentes derretem áreas alagadas boreais por períodos mais longos do ano. Ambos os processos permitem que mais vegetação cresça, se decomponha e emita metano a cada 22 mil anos. Quando o Hemisfério Norte se vira para mais longe do Sol, as emissões de metano começam a declinar. Elas chegam ao mínimo 11 mil anos mais tarde — o ponto do ciclo no qual os verões do Hemisfério Norte recebem a menor quantidade de radiação solar.

#### Reversões inesperadas

Examinando de perto os registros do testemunho de gelo de Vostok, percebi uma coisa estranha na parte mais recente do registro. As concentrações de metano nos períodos interglaciais prévios alcançavam tipicamente um pico de quase 700 partes por bilhão (ppb) à medida que a precessão trazia a radiação solar para o máximo. A mesma coisa havia acontecido 11 mil anos atrás, bem no começo do período interglacial atual. Ainda em concordância com os ciclos prévios, a concentração

de metano, então, dedinou em 100 ppb à medida que a luz solar do verão foi diminuindo. Tivesse a tendência recente continuado a imitar interglaciais anteriores, ela teria caído para um valor próximo de 450 ppb durante o atual aquecimento mínimo de verão. Em vez disso, no entanto, essa tendência trocou de direção há cerca de 5.000 anos e subiu gradualmente de volta a 700 ppb pouco antes do começo da era industrial. Em resumo, as concentrações de metano subiram quando deveriam ter caído, e terminaram até 250 ppb mais altas do que seu ponto equivalente em ciclos passados.

Assim como o metano, o CO<sub>2</sub> se comportou de maneira inesperada ao longo dos últimos milhares de anos. Embora uma combinação complexa dos três ciclos orbitais controle as variações no CO<sub>2</sub>, as tendências durante os períodos interglaciais anteriores eram todas parecidas. As concentrações desse gás atingiam seu pico em 275 ou 300 partes por milhão (ppm) no começo de cada período quente, mesmo antes de os últimos remanescentes das grandes capas de gelo terminarem de derreter. Então, os níveis de CO<sub>2</sub> caíam paulatinamente durante os 15 mil anos seguintes, para uma média de cerca de 245 ppm. Durante o interglacial atual, as concentrações de CO<sub>2</sub> alcançaram o pico esperado cerca de 10.500 anos atrás, e, como se antecipava, começaram aí a declinar. Mas em vez de continuarem a cair sistematicamente até os tempos modernos, a tendência se reverteu há 8.000 anos. No começo da era industrial, a concentração havia subido para 285 ppm – 40 ppm a mais do que se esperava, a julgar pelo comportamento anterior.

O que poderia explicar essas reversões inesperadas na concentração do metano e do CO<sub>2</sub>? Alguns pesquisadores sugeriram que a resposta estivesse em fatores naturais. O aumento no metano foi atribuído à expansão das áreas alagadas no Ártico, e o do CO<sub>2</sub>, a perdas de vegetação rica em carbono nos continentes, assim como a mudanças na química do oceano. Mesmo assim, essas explicações me pareciam destinadas ao fracasso, por uma razão simples. Durante os quatro períodos interglaciais anteriores, os principais fatores a influenciar as concentrações de gases-estufa na atmosfera eram quase os mesmos que nos milênios recentes. As calotas de gelo do norte haviam derretido, as florestas boreais haviam retomado as terras descobertas pelo gelo, a água produzida pelo degelo havia elevado o nível do mar e a incidência de radiação solar determinada pela órbita da Terra havia crescido e depois começado a diminuir da mesma maneira.

Por que, então, as concentrações de gases-estufa teriam caído nos quatro períodos interglaciais anteriores para subir só neste? Concluí que um elemento novo deveria ter entrado em operação na Terra nos últimos milhares de anos.

#### A conexão humana

O “fator novo” mais plausível operando no sistema climático durante o interglacial atual é a agricultura. A linha do tempo básica das inovações agrícolas é bem conhecida. A agricultura se originou na região do Crescente Fértil, a leste da bacia do Mediterrâneo, há cerca de 11.000 anos. Logo depois, apareceu no norte da China, e poucos milênios mais tarde, nas Américas. Através dos milênios posteriores, se espalhou para outras regiões e se sofisticou. Há cerca de 2.000 anos, todos os alimentos conhecidos hoje já eram cultivados em algum lugar do mundo. Várias atividades agropecuárias produzem metano. Terraços de arroz alagados geram metano pelas mesmas razões que os pântanos – a vegetação se decompõe na água parada. O gás também é liberado quando lavradores queimam vegetação de campos para atrair animais de caça e promover o crescimento de arbustos frutíferos. Além disso, homens e animais domésticos emitem metano nas fezes e nos gases intestinais. Todos esses fatores provavelmente contribuíram para o aumento gradual nos níveis de metano enquanto as populações humanas cresciam lentamente. Mas um processo parece ter sido o responsável pela forma abrupta em que ocorreu a reversão na tendência de concentração desse gás — do declínio contínuo a um aumento súbito —, há 5.000 anos: o início da agricultura irrigada no sul da Ásia.

Nessa época agricultores do sul da China começaram a inundar terras baixas perto de rios para plantar variedades de arroz adaptadas ao charco. Com extensas planícies alagáveis ao redor de grandes rios, faz sentido que vastas porções de terra pudessem ter sido alagadas tão logo a técnica fosse descoberta, o que explicaria a virada rápida na curva do metano. Registros históricos também indicam uma expansão sistemática no cultivo de arroz irrigado enquanto os níveis de metano subiam. Há 3.000 anos, a técnica já havia se espalhado para o sul, na Indochina, e para o oeste, no vale do rio Ganges, na Índia, aumentando as emissões do gás. Após 2.000 anos, os agricultores passaram a construir terraços de arroz nas encostas escarpadas do sudeste asiático.

Pesquisas futuras poderão fornecer estimativas da quantidade de terras irrigadas e de metano

produzido nesse intervalo de 5.000 anos. Entretanto, provavelmente será difícil obter esses dados, porque a repetida irrigação dessas mesmas áreas nos dias de hoje provavelmente perturbou grande parte das evidências anteriores. Por enquanto, minha argumentação se apóia principalmente no fato básico de que a curva do metano virou na “contramão”, e que os agricultores começaram a criar áreas alagadas por meio de irrigação no tempo certinho para explicar essa mudança.

Outra prática comum ligada à agricultura – o desmatamento – fornece uma explicação plausível para o início da anomalia na curva do CO<sub>2</sub>. O cultivo em áreas naturalmente florestadas requer a derrubada de árvores, e os agricultores começaram a cortar florestas com esse objetivo na China e na Europa há cerca de 8.000 anos, primeiro com machados de pedra, depois de bronze e finalmente de ferro. Quer as árvores caídas fossem queimadas, quer fossem deixadas para apodrecer no local, seu carbono logo teria sido oxidado, indo parar na atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>.

Os cientistas têm evidências datadas com precisão de que os europeus começaram a cultivar plantas não-nativas como trigo, cevada e ervilha em áreas naturalmente florestadas há cerca de 8.000 anos. Restos dessas plantas, inicialmente cultivadas no Oriente Médio, fazem sua primeira aparição em sedimentos lacustres no sudeste europeu e, então, espalham-se para o oeste e o norte durante os milhares de anos seguintes. Nesse intervalo, areia e argila provenientes de colinas desmatadas começaram a se depositar nos rios a taxas cada vez maiores, como testemunhas do desflorestamento vigente.

A evidência mais inequívoca do desmatamento extensivo está em um documento histórico único — o Doomsday Book (Livro do Fim do Mundo). Essa panorâmica da Inglaterra, encomendada por Guilherme, o Conquistador, relata que 90% das florestas naturais em terras baixas agricultáveis haviam sido eliminadas até o ano 1086. A pesquisa contou ainda 1,5 milhão de habitantes na Inglaterra naquela época, indicando que uma densidade populacional de 10 pessoas por quilômetro quadrado bastaria para acabar com as florestas. Como as civilizações avançadas dos vales dos principais rios da Índia e da China haviam alcançado densidade demográfica maior milhares de anos antes, muitos ecologistas históricos concluíram que essas regiões foram amplamente desflorestadas há 2.000 ou mesmo 3.000 anos. Em suma, Europa e sul da Ásia foram desmatados muito antes do início da era industrial, e esse processo estava em andamento na época do aumento anormal de CO<sub>2</sub>.

Uma era glacial evitada?

Se os agricultores foram responsáveis por anomalias tão grandes nos níveis de gases-estufa —de 250 ppb no metano e 40 ppm no CO<sub>2</sub> até o século XVIII— o efeito de suas práticas no clima da Terra teria sido substancial. Com base na sensibilidade média de uma gama de modelos climáticos, o efeito combinado dessas anomalias teria sido um aumento médio nas temperaturas globais de 0,8°C pouco antes da era industrial. Tal valor é mais alto que o aquecimento de 0,6°C medido no último século – o que implicaria que o efeito da agricultura no clima rivaliza com as mudanças combinadas registradas durante o período de industrialização rápida, ou até as excede.

Como um efeito tão dramático de aquecimento passou tanto tempo sem ser reconhecido? O principal motivo é o fato de ele ter sido mascarado por mudanças climáticas naturais na direção oposta. Os ciclos orbitais da Terra estavam causando uma tendência simultânea a um resfriamento natural, especialmente nas altas latitudes do norte. A mudança líquida na temperatura foi um resfriamento gradual durante o verão que durou até o século XIX.

Se os gases-estufa tivessem continuado sua tendência natural de declínio, o resfriamento resultante teria sido amplificado pelo resfriamento provocado pela queda na radiação solar no verão, e a Terra teria se tornado consideravelmente mais fria do que é hoje. Para explorar essa possibilidade, eu me uni a Stephen J. Vavrus e John E. Kutzbach, da Universidade de Wisconsin-Madison, para usar um modelo climático a fim de prever as temperaturas atuais na ausência de todos os gases de efeito estufa gerados por atividades humanas. O modelo simula o estado médio do clima na Terra, incluindo temperatura e precipitação, em resposta a diferentes condições iniciais.

Em nosso experimento, reduzimos os níveis de gases-estufa na atmosfera até os valores que eles teriam alcançado hoje sem a agricultura primitiva ou as emissões industriais. A simulação resultante mostrou que nosso planeta seria quase 2°C mais frio do que ele é hoje – uma diferença significativa. Só para comparação, a média global na última máxima glacial, há 20.000 anos, era apenas 5 a 6°C mais baixa do que hoje. Como consequência, as temperaturas atuais estariam no caminho das glaciais típicas se não fossem as contribuições de gases-estufa da

agricultura primitiva e da posterior industrialização.

Eu também havia proposto inicialmente que novas calotas glaciais poderiam ter começado a se formar no extremo norte caso essa tendência natural ao resfriamento houvesse continuado. Outros pesquisadores mostraram previamente que partes do nordeste canadense poderiam estar cobertas de gelo hoje mesmo, se o mundo fosse apenas 1,5°C mais frio – o mesmo resfriamento que, segundo nossos experimentos, fora compensado pelas anomalias nos níveis de gases-estufa. O esforço de modelagem mais recente, em parceria com colegas de Wisconsin, mostrou que duas áreas do Canadá teriam neve até o fim do verão: a ilha Baffin, perto da costa leste, e o Labrador, mais ao sul.

Uma vez que a neve que sobrevive ao verão acaba se acumulando em pilhas mais espessas ano após ano até se transformar em gelo, esses resultados sugerem que uma nova Idade do Gelo teria começado no nordeste do Canadá alguns milênios atrás, ao menos em pequena escala.

Essa conclusão é marcadamente diferente da visão tradicional de que a civilização floresceu num período de aquecimento providenciado pela natureza. A natureza, do meu ponto de vista, teria resfriado o clima do planeta, mas nossos ancestrais o mantiveram quente descobrindo a agricultura.

#### Implicações para o futuro

Concluir que os homens evitaram o resfriamento global e interromperam o início de uma glaciação tem implicações no debate a respeito do que nos reserva o clima no futuro próximo. Parte do motivo pelo qual os tomadores de decisão tiveram dificuldade em abraçar as previsões iniciais de aquecimento global nos anos 1980 é que muitos cientistas haviam passado a década anterior dizendo exatamente o oposto: que uma nova Idade do Gelo estava a caminho.

Com base na confirmação de que variações orbitais controlam o crescimento e a retração das capas de gelo, alguns cientistas que estudavam essas mudanças em longa escala concluíram, razoavelmente, que a próxima era glacial estaria a poucas centenas ou no máximo poucos milhares de anos de ocorrer.

Nos anos seguintes, no entanto, pesquisadores descobriram que as concentrações de gases-estufa cresciam depressa e que o clima estava esquentando. Isso convenceu a maioria dos cientistas de que o futuro relativamente próximo (o próximo século ou dois) seria dominado pelo aquecimento. Essa previsão revista, baseada num melhor entendimento do sistema climático, levou alguns formuladores de políticas públicas a descartar toda e qualquer previsão – fosse ela de aquecimento ou de glaciação iminente –, considerando-as indignas de confiança. Minhas descobertas acrescentam um novo desdobramento a cada um desses cenários. As previsões sobre uma glaciação “iminente”, se pecaram, foi por excesso de modéstia: novas calotas glaciais teriam começado a crescer há milênios. O gelo só não se espalhou porque o aquecimento global induzido pelo homem foi anterior ao que se imaginava – bem antes da era industrial.

Na discussão desse tipo de tópico quente e cheio de controvérsias em que ciência e políticas públicas se tocam, resultados científicos são freqüentemente usados para fins opostos. Céticos do aquecimento global poderiam citar meu trabalho como uma evidência de que os gases-estufa gerados por atividades humanas tiveram um papel benéfico durante milhares de anos, mantendo o clima da Terra mais hospitaleiro do que teria sido não fosse por eles. Outros poderiam argumentar que, se tão poucos humanos com tecnologias relativamente primitivas já foram capazes de alterar o curso do clima de forma tão significativa, então nós temos razões de sobra para nos preocupar com a escalada atual dos gases-estufa para níveis e velocidade sem precedentes.

O aquecimento rápido dos últimos séculos está provavelmente destinado a durar pelo menos 200 anos, até os combustíveis fósseis economicamente acessíveis se tornem escassos. Quando isso acontecer, o clima da Terra deve começar a esfriar progressivamente, à medida que o oceano absorve o pulso do CO<sub>2</sub> em excesso produzido pelas atividades humanas. Se o clima global vai esfriar o bastante a ponto de produzir a glaciação há muito adiada ou se vai se manter quente o suficiente para adiá-la mais ainda é impossível prever.

© Duetto Editorial. Todos os direitos reservados.

