

Conceito de Temperatura Global Média

Guido N. Lopes
Doutor em Ciências pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura da USP,
Membro Titular Fundador da Academia Roraimense de Ciências,
Docente do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da UFRR,
guido@query.in

Cristina A. F. Acevedo, Palmira L. de Souza, Mónica M. Martínez e Giane M. P. de Aguiar
Discentes de doutoramento do Programa DINTER (UnB, UFRR e FLACSO) em Relações Internacionais

Frederico F. da Silva
Docente da Escola Agrotécnica da UFRR
fredfonseca@rogers.com

Palavras-Chave: Políticas públicas, modelos climáticos, temperatura global média.

Um dos mais polêmicos conceitos na Ciência contemporânea é o conceito de temperatura global média, razão pela qual dedicamos essa divulgação científica.

O conceito de temperatura global média (TGM) tem contribuído para redesenhar as ações internacionais em defesa do meio ambiente, da elaboração das políticas públicas nas quatro esferas (local, regional, nacional e internacional) e do fomento as pesquisas climáticas e ambientais.

Descreve-se brevemente a contribuição do Grupo de Trabalho I para o IV Relatório de Avaliação do IPCC¹ publicado em 2007 sobre os avanços feitos na compreensão dos fatores humanos e naturais que causam a mudança do clima no planeta, assim como as observações das mudanças² e conseqüências das variações climáticas obtidas por simulação computacional, ver Figura 3.

Desde a publicação do III Relatório de Avaliação do IPCC em 2001, foram feitos avanços na compreensão de como o clima está mudando em termos espaciais e temporais, por meio da melhoria das medições e da ampliação dos numerosos conjuntos de dados e das análises dos dados, uma cobertura geográfica mais ampla, uma melhor compreensão das incertezas e uma maior variedade de medições.

Hoje, há observações mais abrangentes da dinâmica das geleiras, da cobertura de neve desde a década de 60, e para o nível do mar e os mantos de gelo, desde a década de 90, ver Figura 2. Contudo, a abrangência dos dados ainda é limitada, principalmente na América do Sul, América

Central, África, grande parte da Ásia e Oceania.

O aquecimento da Terra é inequívoco? Por certo que sim! Como está agora sendo evidenciado nas observações dos aumentos das TGMs do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e da elevação do nível global médio do mar, conforme ilustrado nas Figuras 2 e 3.

O que é a temperatura global média - TGM será uma grandeza termodinâmica, um número-índice associado ao conceito de temperatura, ou um indicador? Segundo CHRISTOPHER *et al.* (2007) a comunidade científica diverge ao responder essa pergunta.

Resultado de décadas de debate sobre o aquecimento global, o IV Relatório de Avaliação do IPCC (2007) de 1.600 páginas, assinado por 2.500 pesquisadores de 130 países, afirma que há 90% de chances de que o aumento de temperatura verificado na Terra seja causado pela ação do homem.

As divergências entre os cientistas começam justamente na definição da TGM, que presume reunir em um único número todas as temperaturas de todo o planeta.

A TGM é obtida tomando-se a temperatura do ar e dos oceanos medida por inúmeras estações meteorológicas ao redor do mundo, atribuindo um peso a cada uma correspondente à área que elas representam; a seguir é calculada a média ponderada desses valores de temperatura com seus respectivos pesos.

A temperatura termodinâmica, sendo um parâmetro extensivo, somente pode ser definida para um sistema homogêneo (ESSEX, 2005; CHRISTOPHER *et al.*, 2007).

Será que o clima é governado por uma única temperatura? Ou ao contrário, são diferenças temperaturas que dirigem os processos climáticos e criam as fenomenologias associado ao clima, tais como: furacões, tempestades de granizo, correntes marítimas, correntes gerais de circulações atmosféricas, etc.

Outro problema com o conceito da TGM é que há vários métodos matemáticos para se calcular uma média, a saber:

¹ Sigla do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*, painel intergovernamental sobre mudanças climáticas.

² O termo mudança do clima usado pelo IV Relatório de Avaliação do IPCC (2007) refere-se a qualquer mudança no clima ocorrida ao longo do tempo, quer se deva à variabilidade natural, ou seja, decorrente da atividade humana. Esse uso difere do da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em que o termo mudança do clima se refere a uma mudança no clima que seja atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, alterando a composição da atmosfera global, e seja adicional à variabilidade natural do clima observada ao longo de períodos comparáveis de tempo.

média aritmética, geométrica, harmônica e quádrica. Na Figura 1, ilustram a evolução temporal dessas médias (BULLEN, 2003).

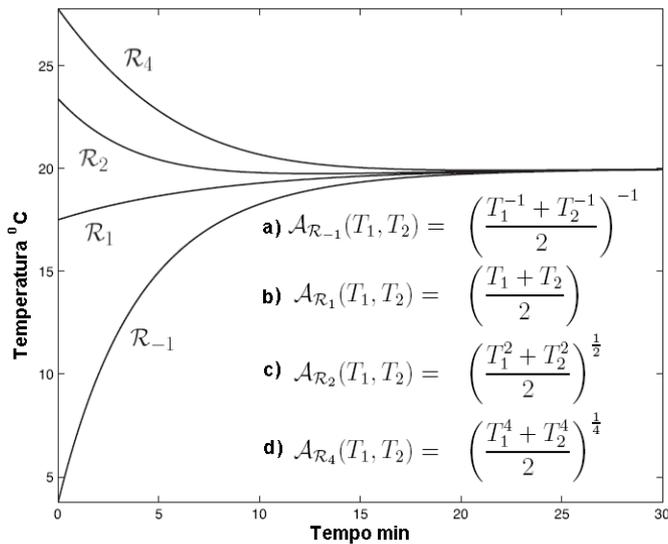


Figura 1: Evolução temporal de várias médias. Em a) temos a média harmônica; em b) a média aritmética; em c) a média geométrica e em d) a média quádrica.

Fonte: (CHRISTOPHER et al., 2007)

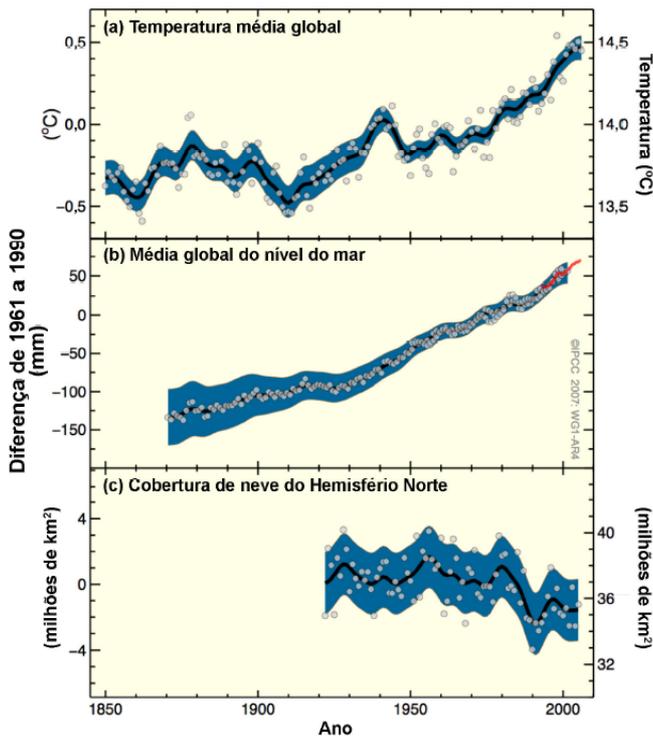


Figura 2: Mudanças observadas na (a) temperatura média global da superfície terrestre; (b) média global da elevação do nível do mar a partir de dados de marégrafo (azul) e satélite (vermelho) e (c) cobertura de neve do Hemisfério Norte para março-abril. Todas as mudanças são relativas às médias correspondentes para o período de 1961 a 1990. As curvas suavizadas representam valores médios decenais, enquanto que os círculos indicam valores anuais. As áreas sombreadas são os intervalos estimados com base em uma análise abrangente das incertezas conhecidas (a e b) e nas séries temporais (c).

Fonte: (GLOBAL TEMPERATURE RECORD, 2007; GLOBAL TEMPERATURE (METEOROLOGICAL STATIONS), 2007; SURFACE TEMPERATURE: Station data, 2007; IPCC, 2007)

Afirmações do IV Relatório de Avaliação do IPCC

Descreveremos, brevemente, com base no IV Relatório de Avaliação do IPCC (2007) sobre as mudanças observadas na temperatura média global da superfície terrestre³, ver Figuras 2; e as implicações na média global da elevação do nível do mar e na dinâmica da cobertura de neve do Hemisfério Norte.

Onze dos últimos doze anos (1995 a 2006) estão entre os 12 anos mais quentes do registro instrumental da temperatura da superfície global, desde 1850.

A tendência linear atualizada de 100 anos (1906 a 2005) da TGM é $(0,74 \pm 0,18) \text{ }^\circ\text{C}$, com intervalo de confiança de 0,56 a $0,92 \text{ }^\circ\text{C}$.

Portanto, mais elevada do que a tendência linear correspondente para o período de 1901 a 2000, apresentada no III Relatório de Avaliação do IPCC, de $TGM = (0,60 \pm 0,20) \text{ }^\circ\text{C}$, com intervalo de confiança de 0,4 a $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

A tendência linear de aquecimento ao longo dos últimos 50 anos $TGM = (0,13 \pm 0,03) \text{ }^\circ\text{C}$ por década é quase o dobro da dos últimos 100 anos.

O aumento total de temperatura de 1850-1899 a 2001-2005 é de $(0,76 \pm 0,19) \text{ }^\circ\text{C}$.

Os efeitos das ilhas de calor urbano são reais, mas locais, exercendo uma influência insignificante⁴ nesses valores da TGM.

Novas análises de medições feitas por balão e satélite da temperatura da baixa e média troposfera mostram taxas de aquecimento similares às do registro de temperatura da superfície, condizentes com as suas respectivas incertezas, harmonizando bastante uma discrepância observada no III Relatório de Avaliação do IPCC.

O teor médio de vapor d’água na atmosfera aumentou desde pelo menos a década de 80 sobre a Terra e o oceano, bem como na alta troposfera. O aumento é bastante coerente com a quantidade extra de vapor d’água que o ar mais quente consegue carregar.

Observações desde 1961 mostram que a temperatura média do oceano global aumentou em profundidades de até pelo menos 3000 m e que o oceano tem absorvido mais de 80% do calor acrescentado ao sistema climático.

Esse aquecimento faz com que a água do mar se expanda, o que contribui para a elevação do nível do mar.

As geleiras de montanha e a cobertura de neve diminuíram, em média, nos dois hemisférios.

Reduções generalizadas das geleiras e calotas de gelo⁵ contribuíram para a elevação do nível do mar.

Novos dados obtidos após a publicação do III Relatório de Avaliação do IPCC indicam ser muito provável que as perdas dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica tenham contribuído para a elevação do nível do mar ao longo do período de 1993 a 2003.

³ A média da temperatura do ar próximo à superfície sobre a terra e a temperatura da superfície do mar.

⁴ Menor que $0,006 \text{ }^\circ\text{C}$ por década sobre a superfície terrestre e zero sobre os oceanos.

⁵ As calotas de gelo não abrangem as contribuições dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica.

A velocidade do fluxo aumentou em algumas geleiras de descarga da Groenlândia e da Antártica, as quais drenam o gelo do interior dos mantos de gelo.

O correspondente aumento da perda de massa dos mantos de gelo com frequência se seguiu ao afinamento, redução ou perda de plataformas de gelo ou a perda de línguas de geleiras flutuantes.

Essa perda dinâmica de gelo é suficiente para explicar a maior parte da perda líquida de massa da Antártica e aproximadamente metade da perda líquida de massa da Groenlândia.

O restante da perda de gelo da Groenlândia ocorreu porque as perdas resultantes do derretimento excederam o acúmulo de neve.

As temperaturas árticas médias aumentaram a quase o dobro da taxa global média dos últimos 100 anos.

As temperaturas árticas têm uma alta variabilidade decenal, e um período quente também foi observado de 1925 a 1945.

Em geral, as temperaturas no topo do *permafrost*⁶ aumentaram desde a década de 80 no Ártico em até 3°C.

A área máxima coberta por solo congelado sazonalmente diminuiu em cerca de 7% no Hemisfério Norte desde 1900, com uma redução na primavera de até 15%.

A precipitação apresenta grande variabilidade em termos espaciais e temporais, e os dados são limitados em algumas regiões. Tendências de longo prazo não foram observadas para as outras vastas regiões avaliadas.

Mudanças na precipitação e evaporação sobre os oceanos podem ter ocorrido pelo fato de se tornarem doces as águas das latitudes médias e altas e pelo aumento da salinidade das águas das latitudes baixas.

Os ventos do oeste em latitude média se tornaram mais fortes em ambos os hemisférios desde a década de 60.

Secas mais intensas e mais longas foram observadas sobre áreas mais amplas desde 1970, especialmente nos trópicos e subtropicais.

O aumento do clima seco, juntamente com temperaturas mais elevadas e uma redução da precipitação, contribuíram para as mudanças na seca.

As mudanças nas temperaturas da superfície do mar, nos padrões de vento e a redução da neve acumulada e da cobertura de neve também foram relacionadas com as secas.

A frequência dos eventos de forte precipitação aumentou sobre a maior parte das áreas terrestres, de forma condizente com o aquecimento e os aumentos observados do vapor d'água atmosférico.

Mudanças generalizadas nas temperaturas extremas foram observadas ao longo dos últimos 50 anos. Dias frios, noites frias e geadas se tornaram menos frequentes, enquanto que dias quentes, noites quentes e ondas de calor se tornaram mais frequentes.

Há evidências, obtidas com base em observações, de um aumento da atividade intensa dos ciclones tropicais no Atlântico Norte desde cerca de 1970, correlacionado com

os aumentos das temperaturas da superfície do mar nos trópicos.

Também se sugere um aumento da atividade intensa dos ciclones tropicais em algumas outras regiões, embora com maior preocupação sobre a qualidade dos dados.

A variabilidade multidecadal e a qualidade dos registros dos ciclones tropicais antes das observações de satélite rotineiras iniciadas em torno de 1970 complicam a detecção das tendências de longo prazo na atividade dos ciclones tropicais.

Não há uma tendência clara nos números anuais dos ciclones tropicais.

Não foram observadas mudanças em alguns aspectos do clima.

Uma redução da amplitude diurna da temperatura foi relatada no III Relatório de Avaliação do IPCC, mas os dados disponíveis na época cobriam apenas o período de 1950 a 1993.

Observações atualizadas revelam que a amplitude diurna da temperatura não mudou de 1979 a 2004, uma vez que tanto a temperatura durante o dia quanto a temperatura durante a noite aumentaram praticamente na mesma taxa.

As tendências variam muito de uma região para outra.

A extensão do gelo marinho antártico continua a apresentar variabilidade interanual e mudanças localizadas, mas sem nenhuma tendência média estatisticamente significativa, de forma condizente com a falta de aquecimento refletida na média das temperaturas atmosféricas da região.

Não há evidência suficiente para determinar se existem tendências na célula de revolvimento meridional da circulação oceânica global ou em fenômenos de pequena escala, tais como tornados, granizo, relâmpagos e tempestades de poeira.

Para saber mais consulte no Portal de Periódicos da CAPES

BULLEN, P. S., Handbook of Means and Their Inequalities, 2nd ed., 537 pp., Mathematics and Its Applications, Vol.560, Springer, New York 2003.

CHRISTOPHER E., ROSS M., BJARNE A. *Does a Global Temperature Exist?* Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics. Vol. 32, p. 1-27, 2007.

ESSEX C., KENNEDY D., BLUDMAN S. A., The nonequilibrium thermodynamics of radiation, Part II, Ch. 12, pp. 603-626 In: Variational and Extremum Principles in Macroscopic Thermodynamics, SIENIUTYCZ S., FARKAS H., eds., Elsevier, 2005.

GLOBAL TEMPERATURE (METEOROLOGICAL STATIONS), Goddard Institute of Space Studies web site, disponível em <<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>>, acessado em dezembro de 2007.

GLOBAL TEMPERATURE RECORD, Climatic Research Unit web site, disponível em <<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/>>, acessado em dezembro de 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, disponível em <<http://www.ipcc.ch/>>, acessado em dezembro de 2007.

SURFACE TEMPERATURE: Station data, Goddard Institute of Space Studies, disponível em <[http://www.giss.nasa.gov/data/update/gistemp/station data/](http://www.giss.nasa.gov/data/update/gistemp/station_data/)>, acessado em dezembro de 2007.

⁶ Solo e subsolo permanentemente congelados.

Cenário vislumbrado por simulações computacionais

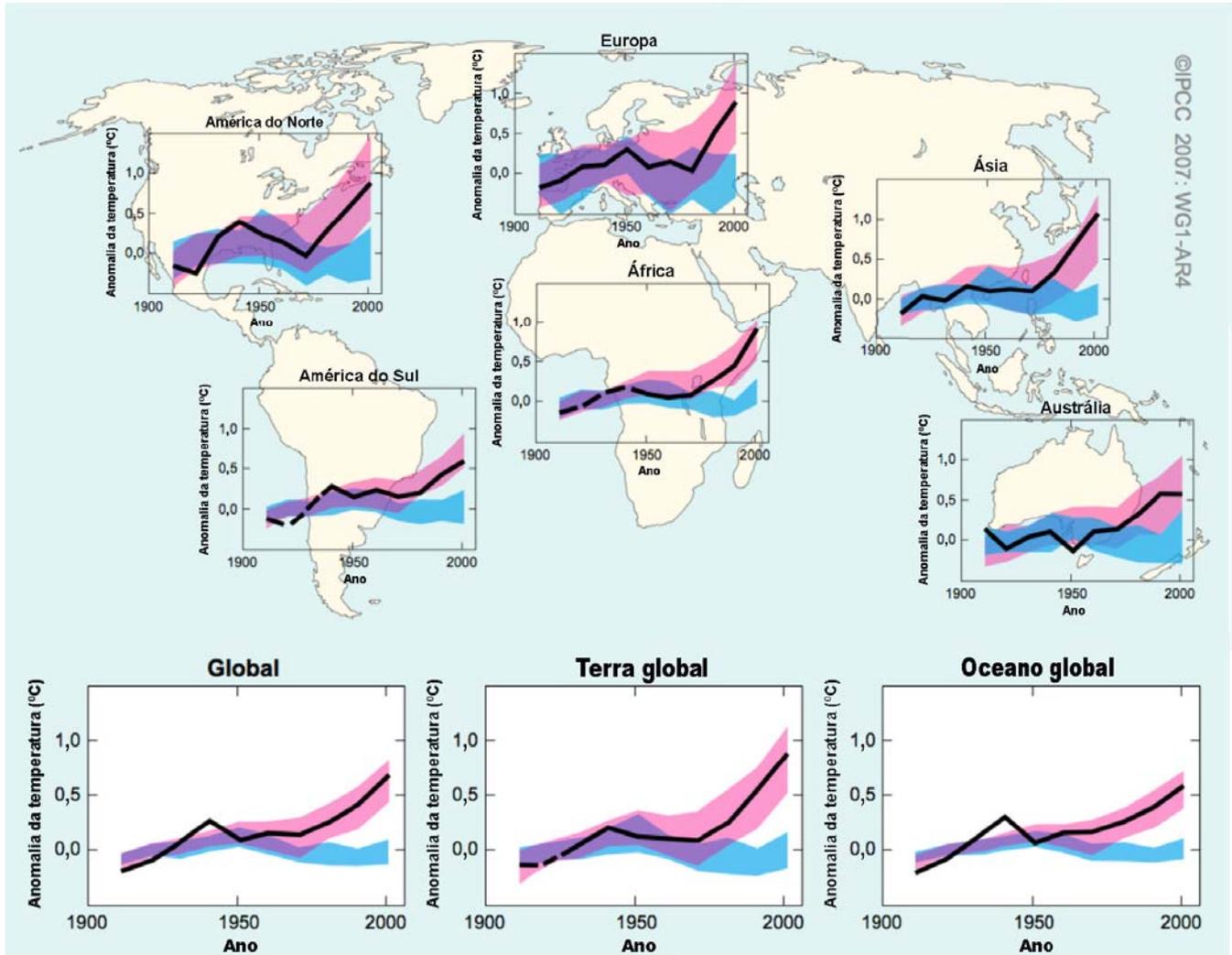


Figura 3: Comparação das mudanças observadas de escalas continental, global na temperatura da superfície com resultados simulados por modelos climáticos, usando-se forçamentos naturais e antrópicos. As médias decenais das observações são apresentadas para o período de 1906 a 2005 (**linha preta**) plotadas sobre o centro da década e relativas à média correspondente para 1901-1950. As linhas são tracejadas quando a cobertura espacial é inferior a 50%. As **zonas azuis** indicam a faixa de 5 a 95% para as 19 simulações dos 5 modelos climáticos com o uso apenas dos forçamentos naturais devidos à atividade solar e aos vulcões. As **zonas vermelhas** mostram a faixa de 5 a 95% para as 58 simulações dos 14 modelos climáticos com o uso dos forçamentos natural e antrópico.

Fonte: (IPCC, 2007)

Recebido e aceito para publicação em 06/05/08