



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Aquecimento global: conceituação e repercussões sobre o Brasil

Francis Lacerda <sup>1</sup>, Paulo Nobre <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Pesquisadora do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco-LAMEPE / Instituto Tecnológico de Pernambuco-ITEP. Av. Prof. Luiz Freire, 700. Cidade Universitária. CEP: 50.740-540. Recife-PE. PABX: 81 3272.4399. FAX: 81 3272.4272.

<sup>2</sup> Pesquisador do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

Artigo recebido em 01/06/2010 e aceito em 22/06/2010

### RESUMO

Desde a década de 1950, evidências científicas apontam para a possibilidade de mudanças no clima global devido ao aumento da concentração atmosférica de gases de efeito estufa, sendo o principal entre eles o dióxido de carbono, mas dentre os quais também se encontram o metano e os óxidos nitrosos. Neste artigo pretende-se apresentar conceituações e repercussões do aquecimento global sobre o a América do Sul, com especial atenção para o Brasil. Aqui, foram apresentados diversos estudos relacionados ao aquecimento global: conceituações e repercussões sobre o Brasil. Sobre as precipitações, as análises observacionais não indicam mudança significativa nos padrões para o Brasil. Por outro lado, é possível observar variações interdecadais dos períodos relativamente mais secos ou chuvosos no País, como um todo. Entretanto, na Região Sul, observa-se aumento das precipitações, especificamente na bacia do Paraná. Para o Nordeste, como um todo, e Região Amazônica as precipitações não apresentam tendências marcantes de redução ou aumento. Porém, variações interdecadais, de períodos de 25 a 30 anos, que pode ser explicado pela variabilidade climática natural. Alguns estudos afirmam que o Brasil é um país vulnerável às mudanças climáticas, especialmente quanto à ocorrência de extremos climáticos (secas e enchentes). As regiões Amazônica e Nordeste do Brasil são as mais vulneráveis.

Palavras-chave: Amazônia, Nordeste, mudanças climáticas, evidências científicas.

### Global warming: concepts and impact on Brazil

### ABSTRACT

Since the 1950s, scientific evidence points of the possibility of changes in global climate due to increasing atmospheric concentration of greenhouse gases, being the chief among them carbon dioxide, but among them are also methane and nitrous oxides. This article is intended to present concepts and consequences of global warming on him to South America, with special attention to Brazil. Here, we presented several studies related to global warming: concepts and implications for Brazil. On rainfall, the observational analysis indicates no significant change in the patterns for Brazil. Moreover, it is possible to observe variations interdecadais periods of relatively dry or rainy in the country as a whole. However, in the South, there is increased rainfall, specifically in the Parana basin. For the Northeast as a whole, and the Amazon region the precipitation trends do not show marked reduction or increase. However, interdecadais variations, periods 25-30 years, which can be explained by natural climate variability. Some studies say that Brazil is a country vulnerable to climatic changes, especially regarding the occurrence of climatic extremes (droughts and floods). The Amazon and northeastern Brazil are the most vulnerable.

Keywords: Amazonia, Northeast, climate change, scientific evidence.

### Introdução

O aquecimento global é o aumento da temperatura terrestre, causado pela intensificação do efeito estufa, i.e., a retenção parcial da radiação infravermelha termal emitida pela Terra por constituintes da atmosfera. A origem do aquecimento global de origem antropogênica está relacionada com o aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, dos quais o dióxido de carbono – CO<sub>2</sub> é o mais

abundante, gerado, principalmente, por atividades humanas.

Desde a década de 1950, evidências científicas apontam para a possibilidade de MUDANÇA NO CLIMA GLOBAL devido ao aumento da concentração atmosférica de gases de efeito estufa, sendo o principal entre eles o dióxido de carbono, mas dentre os quais também se encontram o metano e os óxidos nitrosos. O vapor d'água também é um poderoso gás de efeito estufa. Seu aumento é uma decorrência de uma

\* E-mail para correspondência: [pnobre@cptec.inpe.br](mailto:pnobre@cptec.inpe.br) (P. Nobre), [francis@itep.br](mailto:francis@itep.br) (F. Lacerda).

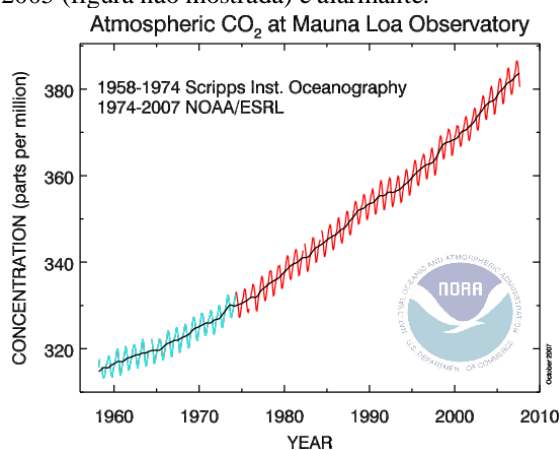
atmosfera mais aquecida e, por sua vez, contribui para seu maior aquecimento. Não somente isso, mas o aumento da umidade específica da baixa troposfera influencia todo o ciclo hidrológico, favorecendo a ocorrência de precipitações pluviométricas mais intensas e episódicas, não raro com a produção de grande volume de precipitação líquida e na forma de granizo.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM), juntamente com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), que tem por missão “avaliar as informações científicas, técnicas e sócio-econômica relevantes para entender os riscos induzidos pela mudança climática, seus potenciais impactos e opções para adaptação e mitigação”.

O objetivo desta revisão é apresentar os conceitos e repercussões do aquecimento global no Brasil.

### Concentração de CO<sub>2</sub> do século passado até o presente

De fato, desde meados do século XVIII, com a Revolução Industrial, a emissão de dióxido de carbono de origem antrópica tem aumentado significativamente. Com uma economia mundial estruturada no fornecimento de energia por meio da queima de combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão mineral, a humanidade presentemente produz um excesso de aproximadamente 3,8 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, além da parte do CO<sub>2</sub> de origem antropogênica que é absorvido pela atividade fotossintética das plantas e pelos oceanos. Como resultado desse excesso anual de CO<sub>2</sub>, a concentração desse gás vem aumentando anualmente. A Figura 1 mostra a série temporal das medidas de concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico no observatório de Mauna Loa, no Havaí, desde meados do século passado até o presente. Além do notável crescimento monotônico da concentração de CO<sub>2</sub>, que em 2007 já se aproximava de 400 ppm (o máximo geológico registrado em amostras de gelo Antártico durante os últimos 400.000 anos nunca ultrapassou a marca de 300 ppm (Fedorov et al., 2006), o aumento da taxa de crescimento, que passou de 1ppm em meados da década de 1960 para 2ppm em 2005 (figura não mostrada) é alarmante.



**Figura 1.** Concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico no observatório de Mauna Loa, no Havaí. Série de dados

de 1958 a 1974 do Scripps Institution of Oceanography e de 1974 a 2007 da NOAA/ESRL. Fonte: NOAA/EUA.

Os ecossistemas terrestres (vegetação e solo) são muito importantes no ciclo do carbono. A vegetação retira CO<sub>2</sub> da atmosfera através do processo fotossintético. O carbono é devolvido para atmosfera através dos processos biológicos, tais como: a respiração e decomposição da matéria morta. Esse balanço entre a retirada de carbono da atmosfera (fotossíntese) e o retorno (respiração e decomposição) é desequilibrado pelo desmatamento ou desflorestamento.

A biota da terra absorve, anualmente, aproximadamente 102 Gt\* de carbono da atmosfera sob a forma de CO<sub>2</sub>, devolvendo 50 Gt via respiração e outras 50Gt sob a forma de decomposição. Entre os oceanos e a atmosfera ocorrem trocas com saldo líquido a favor dos oceanos. A contabilidade global estaria próximo do equilíbrio se não houvesse mais incremento, pois a absorção líquida de carbono pela biosfera e pelos oceanos é compensada ao longo do tempo pela entrada de dióxido de carbono, na atmosfera, oriundo de atividades vulcânicas.

Ao longo dos últimos 200 anos a emissão de crescentes quantidades de CO<sub>2</sub> antropogênico passou a desequilibrar os fluxos naturais. Até meados do século XX, poucos cientistas acreditavam que atividades humanas pudessem provocar mudanças na composição química da atmosfera que, por sua vez, poderiam ser capazes de alterar significativamente o clima do planeta.

O químico Svante Arrhenius (1859-1927) foi um dos pioneiros na formulação da hipótese e tomou como ponto inicial as idéias do matemático e físico francês Jean-Baptiste Fourier (1768-1830); para Jean a atmosfera terrestre funcionaria semelhante a uma estufa, mantendo o ar em seu interior aquecido; Arrhenius estudou o que poderia acontecer com o clima da terra caso o CO<sub>2</sub> aumentasse (Arrhenius, 1896).

Foi nesse contexto que, em 1957, Roger Revelle e Hans Suess, do Instituto Scripps de Oceanografia dos Estados Unidos, publicaram um trabalho (Revelle e Suess, 1957) que revolucionou o modo de ver a questão. Nesse artigo os cientistas Revelle e Suess mostraram, pela primeira vez, evidências que descrevia e explicava o comportamento do CO<sub>2</sub> antropogênico, em larga escala. Em síntese, foi sugerido que os oceanos, cujo estoque de 36 mil Gt de carbono é cerca 50 vezes maior que o estoque atmosférico (730 Gt) não seriam um escoadouro para o excesso de gás (CO<sub>2</sub>) que se encontra na atmosfera. Não obstante, tanto a capacidade dos oceanos em absorver CO<sub>2</sub>, ambos por dissolução química na água e alteração de sua acidez, quanto pelo bombeamento biológico de carbono nas carapaças de microorganismos que se precipitam para o fundo dos oceanos, tem-se representado como um retardador dos efeitos de aquecimento troposférico devido ao CO<sub>2</sub> de origem antropogênica lançado anualmente na atmosfera. Resultados recentes de pesquisa indicam, contudo, que a capacidade dos

oceanos de dissolver CO<sub>2</sub> atmosférico tem diminuído ao longo dos últimos 50 anos (Canadell et al., 2007).

Em 2001, o IPCC publicou 3 volumes sobre mudanças climáticas. No primeiro volume, Mudança do Clima 2001, a base científica indica que a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera está em seu nível mais elevado nos últimos 400 mil anos. Esses volumes fornecem uma revisão atualizada dos estudos nas áreas de clima, oceanografia, ecologia, entre outras áreas afins às mudanças climáticas.

O Third Assessment Report (TAR) é o nome dado para o terceiro relatório do IPCC e indica que a maior parte do aquecimento global observado, nos últimos 50 anos, está relacionada, principalmente, a causas antropogênicas.

O quarto relatório (IPCC Assessment Report No. 4 - AR4), divulgado em quatro partes durante 2007, foi categórico em relação às mudanças climáticas, particularmente sobre os impactos dos extremos climáticos nos países menos desenvolvidos e região Tropical. Ressalta-se que, neste quarto relatório do IPCC, novos modelos com versões acopladas dos oceanos e a atmosfera e a melhoria nas representações de nuvens e de aerossóis foram implementados. Outro detalhe importante é a ênfase para a variabilidade interdecadal e a simulação de extremos climáticos. Nesse relatório, uma das principais conclusões é que o aquecimento global observado durante os últimos 50 anos é devido, em grande parte, ao acúmulo de gases de efeito estufa gerados pelas atividades humanas.

#### Eventos extremos na América do Sul

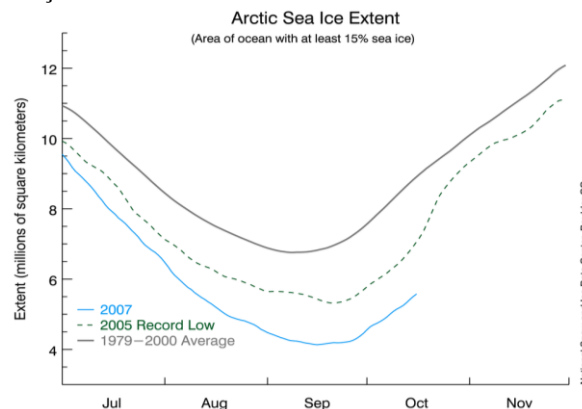
Análises mais detalhadas de eventos extremos sobre a América do Sul foram realizadas por Marengo (2007), onde fez uso de índices de extremos climáticos estabelecidos pela OMM. Este trabalho considera bases de dados observados e resultados dos modelos globais do IPCC AR4, dos cenários climáticos futuros e modelos regionais. Em destaque o recente Furacão Catarina em 2004 e a seca na Amazônia em 2005, onde as análises e projeções futuras foram consideradas como uma mostra do que poderá ocorrer com a continuidade do processo de aquecimento global.

Nobre et al. (2007) estudaram as potenciais projeções na alteração dos biomas da América do Sul, como consequência das mudanças climáticas. Os autores utilizaram as simulações de 16 modelos climáticos globais do IPCC AR4 e modelo de vegetação potencial do CPTEC/INPE para gerar cenários de precipitação e temperatura mensais para um período que vai de 2070 até 2099, considerando dois cenários de emissões de CO<sub>2</sub>. Os resultados indicaram altas probabilidades de ocorrência de mudanças dos biomas principalmente no leste da Amazônia e Nordeste do Brasil, com o processo de substituição da floresta amazônica por vegetação de cerrado e a substituição da vegetação de caatinga no sertão do Nordeste por vegetação de regiões áridas.

Uma análise das evidências observacionais, para o território brasileiro, indica um aumento das temperaturas médias e máximas, tanto para valores anuais quanto sazonais. A temperatura global média da superfície terrestre, considerando ambos os continentes

e os oceanos, aumentou, no século XX, aproximadamente 0,6°C. Destacam-se, nesse contexto, os anos de 1998 e 2005 como os mais quentes desde 1861 e a década de 90 como a mais quente desde 1860. Outro destaque é que os 10 anos mais quentes do registro histórico instrumental fazem parte do período de 1994 até 2006, com recordes para os anos de 1998 e 2005.

Ainda sobre extremos climáticos globais, nos anos de 2002, 2005 e 2007 foram registrados valores recordes sucessivos de degelo da calota polar do Ártico (Figura 2), tendo o recorde de 2007 representado uma perda de 1,1 milhões de quilômetros quadrados em relação ao recorde de 2005.



**Figura 2.** Extensão da cobertura de gelo marinho do Ártico (em milhões de quilômetros quadrados) para a média histórica (período de 1979 a 2000 – linha cinza contínua), e para os anos de 2005 (linha tracejada verde) e 2007 (linha contínua azul). Fonte: *National Snow and Ice Data Center/NOAA/EUA*.

Sobre as precipitações, as análises observacionais não indicam mudança significativa nos padrões para o Brasil. Por outro lado, notam-se variações interdecadais dos períodos relativamente mais secos ou chuvosos no País, como um todo. Entretanto, na Região Sul, observa-se aumento das precipitações, especificamente na bacia do Paraná (Marengo, 2007). Para o Nordeste, como um todo, e Região Amazônica as precipitações não apresentam tendências marcantes de redução ou aumento. Nota-se, porém, variações interdecadais, de períodos de 25 a 30 anos, que pode ser explicado pela variabilidade climática natural (Marengo, 2007). O Brasil é presentemente o quarto país mais poluidor do planeta, sendo 75% de todo o dióxido de carbono emitido pelo Brasil devido às queimadas e ao desmatamento.

Em relação às vazões dos rios, as tendências observadas seguem o mesmo padrão da precipitação. Na América do Sul, as análises das vazões dos rios indicam um aumento, para a bacia do Rio Paraná entre 2 a 30%. Nos rios da Amazônia e bacia do São Francisco, tendências relevantes não foram detectadas. Na Amazônia, no Nordeste e outras Regiões não foram observadas tendências a condições de situações mais seca ou chuvosa. Importante, parece ser, as variações interanuais e interdecadais, associados à variabilidade climática natural.

Além dessas evidências, as projeções indicam outras tendências importantes como o agravamento do

aquecimento, devido a poluição, o aumento das temperaturas médias globais, como resultado da duplicação de CO<sub>2</sub>, entre 2°C e 4,5°C, e, entre outras, que a mudança climática deve continuar por décadas e, provavelmente, por séculos, mesmo se as emissões de gases-estufa parassem no intervalo de uma década. Os cenários gerados pelo IPCC indicam que o nível médio dos oceanos continuará se elevando, devido à expansão térmica da água e degelo das calotas polares, pelos próximos mil anos.

between the atmosphere and ocean and the question of an increasing atmospheric CO<sub>2</sub> during past decades. *Tellus*, 9, 18-27.

### Considerações finais

Segundo Marengo (2007), o Brasil é um país vulnerável às mudanças climáticas, especialmente quanto à ocorrência de extremos climáticos (secas e enchentes). As regiões Amazônica e Nordeste do Brasil são as mais vulneráveis (Marengo, 2006).

As florestas provêm muitos e importantes serviços para a vida no Planeta Terra: são morada para mais da metade de todas as espécies vivas continentais, assim como ajudam a desacelerar o aquecimento global através do seqüestro de carbono. Elas ajudam a regular o regime pluviométrico local e regional, são fontes cruciais de alimentos, remédios, água potável, além de proporcionarem benefícios recreacionais, estéticos e espirituais imensos para milhões de pessoas.

### Referências

- Arrhenius, S. 1896. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine*, 41, 237-276.
- Canadell, J.G.; Quéré, C.L.; Raupach, M.R. Field, C.B.; Buitenhuis, E.T.; Ciais, P.; Conway, T.J.; Gillett, N.P.; Houghton, R.A.; Marland, G. 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Nat. Acad. Sci. USA, Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 10.1073/pnas.070273104.
- Nobre, C.A. 2007. Mudanças Climáticas Globais e o Brasil: Porque Devemos nos Preocupar. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, 30, 7-11.
- Fedorov, A.V.; Dekens, P. S.; Mccarthy, M.; Ravelo, A.C.; De Menocal, P.B.; Barreiro, M.; Pacanowski, R.C.; Philander, S.G. 2006. The Pliocene Paradox (Mechanisms for a Permanent El Niño). *Science*, 312, 1485-1489.
- Marengo, J.; Alves, L.; Valverde M.; Rocha, Laborbe, R. 2007. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade - DCBio Mudanças Climáticas Globais Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.
- Marengo, J. 2006. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI, Ministério do Meio Ambiente - MMA, 212p.
- Marengo, J. 2007. O quarto relatório do IPCC (IPCC AR4) e projeções de mudança de clima para o Brasil e América do Sul. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, 30, 23-28.
- Revelle, R.; Suess, H.E. 1957. Carbon dioxide Exchange