



**Uma Revisão Qualitativa Enfatizando Aspectos Climáticos
da Amazônia e da Região Nordeste do Brasil**
A Qualitative Review Emphasizing Climatic Aspects of the
Amazon and Northeast Brazil

Isimar de Azevedo Santos &
Julio Buchmann

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências
Departamento de Meteorologia
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Cidade Universitária
21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mails: isimar@acd.ufrj.br; juliobuch@globo.com
Recebido em: 10/01/2010 Aprovado em: 07/08/2010*

Resumo

O presente trabalho é uma revisão abordando diversos fatores físicos que afetam e definem o comportamento climático das regiões da Amazônia e do Nordeste do Brasil. Evidenciam-se as alterações que podem ser debitadas à presença e atuação do homem, em conjunção com as flutuações que a própria natureza impõe ao clima destas duas regiões em particular, como no caso da Oscilação Sul (El Niño e La Niña). Conclui-se com o entendimento de que é possível atuar de forma inteligente sobre o ambiente tropical sul-americano em favor do bem estar do mesmo homem que até agora foi agente destruidor. Contudo permanece o risco de que se ultrapasse o limiar que tornaria a degradação irremediável.

Palavras-chave: Clima; Meteorologia; Amazônia; Nordeste Brasileiro

Abstract

This paper is a review covering several physical factors that affect and define the behavior of the climate of the Amazonia and Northeastern Brazil. This review show the changes that may be debited to the presence and action of man, in conjunction with the fluctuations that nature imposes on the climate of these two regions in particular. The conclusion is the perception that it is possible to act so smart on the tropical South-American environment for the well being of the same man who until now was a destructive agent. However the risk remains if we exceed the threshold that would make the damage irreparable.

Keywords: Climate; Meteorology; Amazonia; Northeast Brazil

1 Introdução

Nesta revisão serão consideradas como oscilações naturais do clima as teleconexões nas escalas planetária, hemisférica ou regional, e a movimentação de transientes, como as ondas atmosféricas equatoriais. As pesquisas em meteorologia e climatologia apontam várias formas de teleconexão, mas neste trabalho serão enfocadas apenas três especificamente, quais sejam os eventos El Niño – Oscilação Sul (conhecidos como ENSO na literatura internacional), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o dipolo de temperaturas superficiais no Oceano Atlântico. Estes temas da maior importância para a Amazônia e o Nordeste do Brasil foram objeto de estudos numéricos e observacionais nas últimas duas décadas no Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

O sistema ENSO conecta a temperatura das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial/Tropical com o clima, principalmente as chuvas, na Amazônia e no Nordeste do Brasil através de células de Walker (Walker, 1928). Dependendo da posição das águas mais quentes do Pacífico, formam-se células de circulação atmosférica oeste-leste com o seu ramo ascendente posicionado sobre as águas mais quentes e seu ramo subsidente provocando aumento da pressão barométrica e inibindo a precipitação sobre a América do Sul ou próximo dela. O que se

denomina El Niño é o posicionamento das anomalias quentes das águas superficiais do Pacífico e, por conseguinte, do ramo ascendente da célula de Walker, no setor central e leste daquele oceano, fazendo com que o ramo subsidente da célula incida sobre o setor norte da América do Sul. Ao contrário, um evento de La Niña seria quando as águas superficiais do Oceano Pacífico equatorial estão anormalmente frias nos setores central e leste. Neste caso a célula de Walker ainda se forma, mas seu ramo ascendente se posiciona na região próxima aos arquipélagos da Indonésia e assim o ramo subsidente não é capaz de atingir a América do Sul para produzir estiagens (Buchmann *et al.*, 1989).

A título de ilustração, a Figura 1 representa em (a) um evento de El Niño ocorrido em 1998, e em (b) um evento de La Niña ocorrido em 1989.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) se caracteriza por uma faixa com nuvens cumuliformes que se estende sobre os oceanos tropicais. Sua origem se deve à convergência dos ventos alísios dos dois hemisférios, embora alguns chamem esta faixa com intensa nebulosidade de “equador meteorológico”, sugerindo alguma vinculação com os setores mais aquecidos dos oceanos tropicais. A ZCIT tem uma marcante oscilação sazonal, posicionando-se no Atlântico tropical entre 5°S, no outono do hemisfério sul, e 20°N no outono do hemisfério norte. Como é uma faixa de muita nebulosidade convectiva, é responsável por ventos tempestuosos e mar agitado,

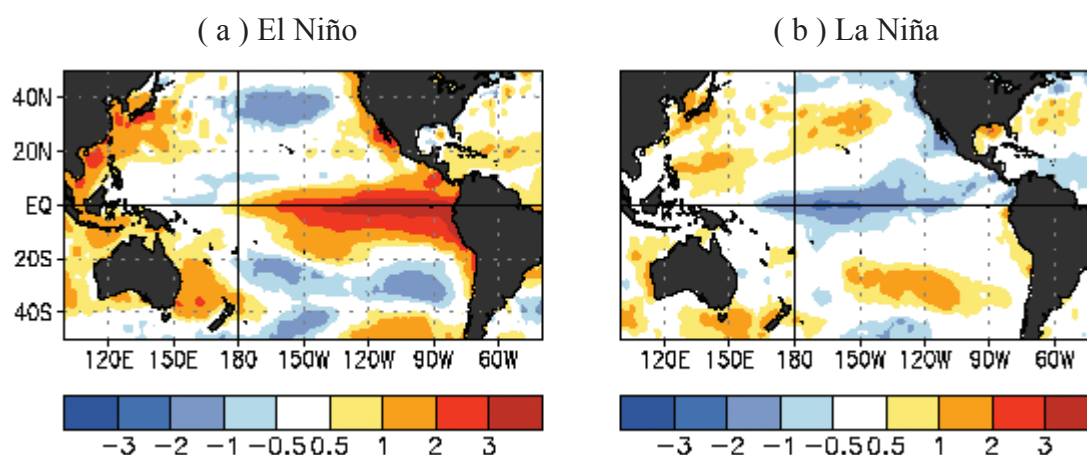


Figura 1 Anomalias da temperatura da superfície do mar representando (a) o evento de El Niño de 1998, e (b) o evento de La Niña de 1989. Os tons avermelhados indicam regiões com temperaturas oceânicas acima da média climatológica e os tons azulados as regiões com temperaturas abaixo da média.

Fonte: NOAA, Climate Prediction Center (http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/ensocycle.shtml, 2010).

trazendo grande risco às embarcações e à navegação aérea. A chegada da ZCIT à sua posição mais ao sul no Oceano Atlântico determina a estação chuvosa no norte do Nordeste do Brasil (Hastenrath, 1991). Moura & Shukla (1981) também analisaram, através de um estudo observacional e de simulação usando um Modelo de Circulação Global Atmosférica (AGCM) disponível na *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), a influencia da ZCIT sobre a dinâmica da seca e seus efeitos na região Nordeste do Brasil.

O dipolo do Atlântico manifesta-se como um oscilador materializado por células de circulação atmosférica sul-norte, denominadas células de Hadley, e que respondem à posição e intensidade das anomalias de temperatura da superfície do mar no setor tropical do Oceano Atlântico. Para a caracterização deste dipolo definem-se duas bacias oceânicas, a bacia norte, formada pelo setor oceânico entre 5° N e 28° N, e a bacia sul no setor entre 5° N e 20° S (Servain, 1991). As anomalias quentes do setor tropical do Atlântico Norte eventualmente promovem subsidência sobre a Amazônia e, mais frequentemente, sobre o Nordeste do Brasil. Assim, dependendo da posição das águas mais quente no Atlântico Norte tropical, podem se formar células de Hadley (Hadley, 1735), cujo ramo ascendente são as nuvens cúmulos ativadas por estas águas aquecidas e o ramo subsidente se posiciona sobre a América do Sul, aumentando a pressão atmosférica e diminuindo as precipitações.

As ondas atmosféricas de leste são uma forma de oscilação natural que afeta o tempo e o clima, trazendo chuvas ao leste do Nordeste. Também na Amazônia, as linhas de instabilidade que se formam no litoral norte e avançam para sudoeste, são manifestações de ondas atmosféricas equatoriais do tipo Rossby-gravidade (Santos, 1998). Considerando que estas ondas são ativadas pela brisa litorânea, o avanço das linhas de instabilidade estabelece um ciclo diurno na precipitação que se observa no interior amazônico (Cohen *et al.*, 1995).

As análises da circulação atmosférica na alta troposfera (entre 10 e 12 km de altitude) no período do verão mostram duas configurações bastante sugestivas sobre a América do Sul, quais sejam um anticiclone que se posiciona tipicamente sobre o Brasil central e sobre o platô boliviano, e que por isto recebe o nome de Alta da Bolívia (Virji, 1981),

e um outro sistema com características ciclônicas, algumas vezes fechado e outras vezes na forma de um cavado, o qual tem sido denominado Vórtice Ciclônico de Altos Níveis. Alguns estudos recentes sugerem que os dois sistemas de pressão da alta troposfera estejam de algum modo vinculados (Satyamurty *et al.*, 1998). A Figura 2 exemplifica estes dois sistemas de vento da alta troposfera, no nível isobárico de 250 hPa que corresponde aproximadamente a 10.800 metros de altitude. A Alta da Bolívia aparece na forma de um vórtice com giro anti-horário nas proximidades da Bolívia. O Vórtice Ciclônico dos Altos Níveis aparece na forma de um amplo cavado cujo eixo se posiciona sobre o setor tropical oeste do Oceano Atlântico. Cabe entender que a Alta da Bolívia é a resposta atmosférica ao aquecimento da média troposfera no Brasil central, enquanto que o Vórtice Ciclônico dos Altos Níveis age sobre a baixa troposfera, inibindo a formação de nuvens e de chuva em seu centro, embora possa trazer chuvas significativas em suas bordas.

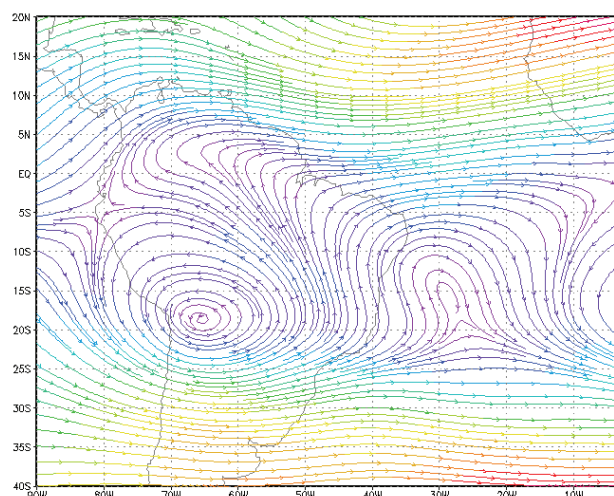
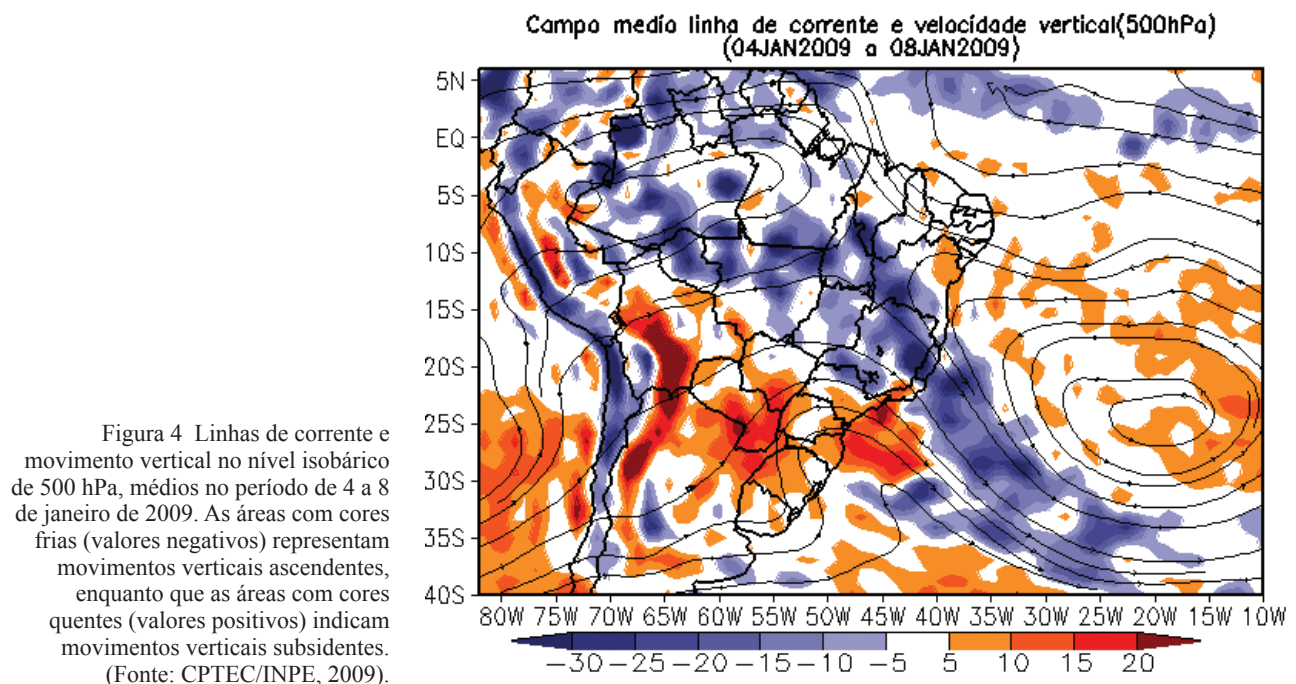
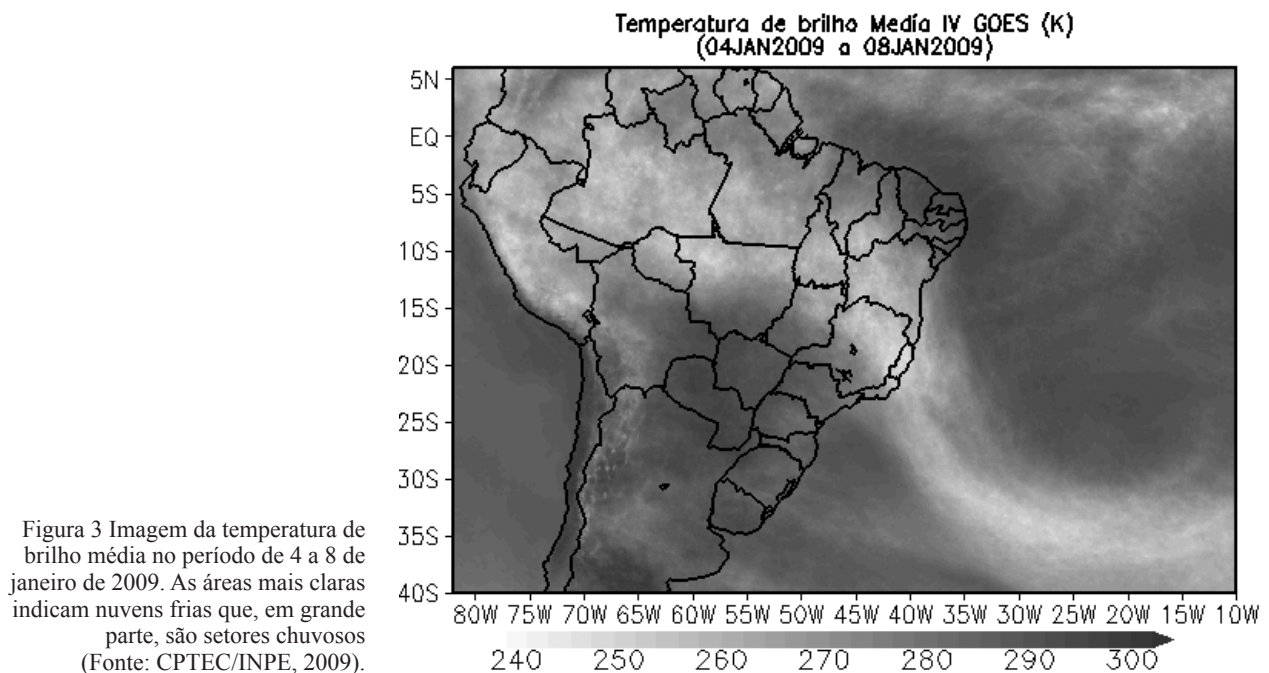


Figura 2 Linhas de corrente no nível isobárico de 250 hPa, com o vento médio climatológico para o mês de janeiro. Fonte: Reanálises do NCEP/NCAR, (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>, 2010)

Acompanhando o ciclo anual das chuvas sobre o setor tropical da América do Sul, observa-se uma das características mais marcantes do clima nesta região durante o verão: é a presença de uma extensa banda de nebulosidade e precipitações, com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde a Amazônia até o Sudeste do Brasil e, frequentemente, sobre o oceano Atlântico Subtropical. A esta

característica climatológica (Figuras 3 e 4), que se associa a um escoamento convergente de umidade da baixa troposfera, convencionou-se chamar Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Embora tais características sejam observadas em todos os verões, importantes variações ocorrem na organização espacial, na intensidade das chuvas e na movimentação ou circulação atmosférica. São essas

variações muitas vezes responsáveis pela ocorrência de eventos severos, alagamentos e deslizamentos de terra (Justi da Silva *et al.*, 2004). Por outro lado, a ausência ou a supressão das chuvas e a descaracterização desse sistema podem representar períodos de seca ou má distribuição das chuvas de verão sobre grandes porções do território brasileiro (Cavalcanti *et al.*, 2009).



Além dos processos naturais, o clima dos trópicos da América do Sul sofre os efeitos antrópicos. Os seres humanos foram os maiores predadores do meio ambiente ao longo da história da humanidade em diversas regiões do globo. Na região Nordeste do Brasil a presença do homem tem deixado marcas predatórias desde o período colonial de nossa história. Na Amazônia temos presenciado nas décadas mais recentes um processo de degradação ambiental inaceitável para os brasileiros e ambientalistas do mundo todo. Os efeitos danosos desta degradação sobre o clima regional e global têm sido objeto de investigação científica, usando tanto modelos numéricos de simulação climática quanto observações em campo.

O aquecimento global que se observa presentemente se deve, em uma fração razoável, ao desequilíbrio imposto pelo desmatamento da Amazônia, que fere a natureza de duas maneiras, a primeira porque a prática naquela região é queimar a biomassa da floresta liberando dióxido de carbono na atmosfera, e a segunda porque a redução da vegetação representa redução da capacidade natural de troca do dióxido de carbono pelo oxigênio na atmosfera, o que acontece na fotossíntese.

Na presente revisão em que o foco é a Amazônia e o Nordeste brasileiro, algumas referências se reportam a resultados de modelos numéricos de simulação do comportamento da atmosfera usados em estudos compreendidos por pesquisadores principalmente da UFRJ, mas também de outros órgãos no Brasil e no exterior. Embora não seja possível modelar com exatidão o comportamento da atmosfera em toda sua extensão e complexidade, tais resultados ajudam no entendimento e racionalização do comportamento do ambiente no setor norte da América do Sul. Também serão abordados nesta revisão alguns resultados observacionais com o mesmo objetivo de trazer mais luz à questão crucial de como o clima da Amazônia e o Nordeste do Brasil têm evoluído até agora e como deverá evoluir no futuro. Esta revisão não pretende ser conclusiva, mas reporta principalmente alguns estudos feitos no Departamento de Meteorologia da UFRJ dentro do tema central proposto.

A justificativa para a utilização de modelos de circulação geral da atmosfera deve-se a que muitas das adversidades climáticas naturais, não permitem uma explicação científica adequada através de

estudos observacionais empíricos apenas. Uma das razões para tal é a grande ausência de informações meteorológicas na América do Sul até o início da década de 1990. Para um melhor entendimento e compreensão do clima no nosso hemisfério naquela época, se procurou modelar a atmosfera, usando modelos determinísticos de equações primitivas visando entender e compreender as relações físicas de causa e efeito entre as regiões onde ocorriam anomalias climáticas e os locais mais afetados no globo e no Brasil em especial. Para estes estudos foram desenvolvidos no *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (INPE) um modelo barotrópico, pelos senhores Marco Antonio Maringolo Lemes e Rosalvo Pinheiro, e um modelo baroclínico de duas camadas por Julio Buchmann. Com a ida dos doutores Antonio Divino Moura e Julio Buchmann para a NASA e para o *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), respectivamente, os mesmos utilizaram-se de AGCMs, disponíveis naquelas instituições de pesquisas, para modelar a atmosfera indicando deste modo como as anomalias climáticas podem influenciar lugares próximos ou remotos das fontes anômalas.

O intuito do presente trabalho é revisar alguns resultados teóricos e algumas análises observacionais de fenômenos meteorológicos que ocorrem na América do Sul, através de uma pequena revisão bibliográfica. Esta revisão pretende mostrar que estes resultados, embora alguns relativamente antigos, foram posteriormente corroborados pelas respostas encontradas com o advento de novas tecnologias observacionais, principalmente os satélites ambientais. A Seção 2 descreve as oscilações naturais, a Seção 3 refere-se aos efeitos antrópicos, a Seção 4 aborda o aquecimento global e na Seção 5 estão as conclusões.

2 As Oscilações Naturais

São mencionados a seguir alguns trabalhos a respeito da Amazônia e do Nordeste do Brasil, regiões que sofrem influências de anomalias climáticas naturais.

2.1 Eventos El Niño – Oscilação Sul

Os resultados simulados numericamente por Buchmann *et al.* (1986c; 1989) mostram que os efeitos dos fenômenos extremos que decorrem das

anomalias quentes e frias nas águas do Pacífico durante os anos de El Niño e La Niña devem-se ao estabelecimento de células latitudinais do tipo Walker, o que tem sido constatado observacionalmente. Esta conceituação do ponto de vista físico e meteorológico está fundamentada na teoria da circulação geral da atmosfera.

Buchmann *et al.* (1986c) simularam uma situação de El Niño no Oceano Pacífico utilizando-se de um modelo atmosférico global (um AGCM) e encontraram como resposta um aumento da precipitação no sul do Brasil e uma diminuição da precipitação no setor norte. Buchmann *et al.* (1989) simularam também uma situação de La Niña, utilizando-se do mesmo modelo, e obtiveram uma situação inversa, isto é, chuvas no setor norte e seca no sul do Brasil. Mais adiante, Buchmann *et al.* (1990) usaram um AGCM para realizar dois experimentos, posicionando uma fonte de calor na latitude 5 °N no primeiro experimento e outra fonte de calor localizada em 5 °S (logo bem próximo da região Nordeste do Brasil) no segundo experimento. O resultado mais contundente destas simulações foi uma similaridade com as respostas do trabalho de Moura & Shukla (1981). Na mesma linha de raciocínio, Buchmann *et al.* (1995a) verificaram, através de um estudo de modelagem climática, o efeito representado por uma fonte fria (representando a La Niña) no Pacífico e uma fonte quente no Oceano Atlântico, concluindo que a influência do Oceano Pacífico é mais dominante sobre a América do Sul, contribuindo para mais precipitação na região Amazônica. Finalmente Buchmann *et al.* (1995b) utilizaram-se de uma fonte quente posicionada no Oceano Pacífico e obtiveram como resposta da simulação três regiões de subsidência em torno da fonte, sendo duas regiões localizadas a 3000 km de distância da fonte, a noroeste e a sudoeste em direção aos pólos, e a terceira região de subsidência sobre a América do Sul. Uma análise dos modos normais associados a este resultado mostrou que as ondas de gravidade são as que mais contribuem para estes movimentos descendentes, quando comparadas com as demais ondas atmosféricas produzidas pela simulação numérica.

Caviedes (1973), Markham & McLain (1977), Moura & Shukla (1981), Buchmann *et al.* (1986c), Paegle *et al.* (1987), Buchmann *et al.* (1989, 1990, 1995a e 1995b) e Buchmann (2008) realizaram trabalhos relacionados em especial com as anomalias

quentes ou frias das águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical, evidenciando particularmente os efeitos do El Niño e da La Niña, e associando-os também às temperaturas da superfície do mar na região equatorial e tropical do Oceano Atlântico. Alguns destes estudos utilizaram simulações climáticas com os modelos globais de Circulação Geral da Atmosfera (AGCMs), disponíveis à época na NASA e no NCAR, e abordaram os efeitos da interação oceano-atmosfera sobre o clima da Amazônia e do Nordeste do Brasil.

Nos trabalhos de Buchmann *et al.* (1986c, 1989, 1990, 1995a e b) a ênfase, do ponto de vista meteorológico e oceanográfico, foi o estudo das anomalias de temperaturas nos oceanos Pacífico e Atlântico e as suas influências no clima da América do Sul, em especial do Brasil, enfatizando a Amazônia e o Nordeste, no tocante às variações no regime de precipitação, associado às situações de anomalias de secas e inundações nestas regiões.

Numa análise mais profunda destas anomalias da temperatura dos oceanos e seus efeitos em regiões remotas do globo, e em especial na América do Sul, Buchmann *et al.* (1995b) usaram um AGCM e constataram, pela decomposição em modos normais das ondas atmosféricas equatoriais (Kasahara & Puri, 1981), que os modos de gravidade, entre os demais existentes, são os que mais contribuem para o movimento vertical atmosférico sobre o continente sul-americano. Mais ainda, Buchmann (2008) constatou que o terceiro modo desta onda de gravidade é o que mais contribui para o ar ascendente ou descendente sobre esta região.

Alguns estudos de simulação mostram como o clima da Amazônia e do Nordeste do Brasil é afetado nos anos de El Niño (Buchmann *et al.*, 1986c) e de La Niña (Buchmann *et al.*, 1989), por meio do processo físico conhecido na literatura meteorológica como teleconexão. Estes estudos ressaltam que os oceanos desempenham um papel regulatório muito importante sobre o clima.

Existem outras pesquisas científicas abordando os fenômenos das secas e das inundações na parte norte do continente, independentes da influência do homem, destacando-se o trabalho de Hastenrath & Heller (1977).

As anomalias de aquecimento ou de resfriamento das águas do Pacífico sobre a

Amazônia e o Nordeste do Brasil têm uma função controladora em grande parte do clima destas regiões, principalmente nos períodos de El Niño e La Niña (Buchmann *et al.* 1986c, 1989) e as suas conseqüências, no tocante ao regime de precipitação acima ou abaixo da normal nestas áreas.

Uma das grandes vantagens das regiões da Amazônia e do Nordeste do Brasil, quanto à produção agrícola, deve-se à intensa incidência da radiação solar, praticamente durante todo o ano, favorecendo com isto boas safras (Buchmann, 1998, 1999).

Em meados do ano de 2008 foi possível perceber o início de um padrão climático que, progressivamente, apresentava o setor tropical do Oceano Pacífico frio (La Niña), enquanto que o Atlântico se mostrava mais quente na região tropical. Isto lembra o estudo de Buchmann *et al.* (1995a) em que a maior contribuição para a precipitação na Amazônia provinha preferencialmente da fonte fria e não da fonte quente, o que de uma certa forma, coincide com as recentes observações, na quantidade de precipitação muito acima da média, como observado na Amazônia e no Nordeste do Brasil. Estudos têm sido feitos, mas até o presente não há resultados confiáveis de que haja uma relação direta entre as temperaturas da superfície do mar nos setores tropicais do Pacífico e do Atlântico, sendo, portanto sugestivo um estudo considerando como condições de contorno o Oceano Pacífico (anomalamente quente ou frio) e o mesmo com o Oceano Atlântico, usando para isto um modelo de circulação geral da atmosfera. Estas simulações permitiriam avaliar os efeitos combinados das quatro situações hipotéticas sobre os padrões da chuva tanto na Amazônia quanto no Nordeste brasileiro.

A situação de La Niña, iniciada no ano de 2008 e que continuou no início de 2009, apontou para um aumento da pluviosidade nas regiões norte, nordeste, central e sudeste do Brasil durante algum tempo. Esta condição climática, contudo, traz prejuízos em vidas e bens materiais pela diminuição da precipitação na região sul do Brasil e na Argentina, provocando uma seca prolongada que causa danos irreparáveis à agricultura e à pecuária. Esta seca estendeu-se anormalmente muito mais para o sul no continente sul-americano, não sendo isto tão costumeiro durante o período de influência do fenômeno meteorológico La Niña (Buchmann *et al.*, 1989). Na Austrália o fenômeno da La Niña de 2008 e 2009 também causou

danos que se fizeram sentir na forma de inundações na região nordeste e secas no sudeste, provocando transtornos semelhantes aos ocorridos na América do Sul.

2.2 Células do Tipo Hadley

As alternâncias quentes e frias nas águas superficiais dos oceanos, conhecidas na literatura meteorológica como dipolos, são observadas na natureza e podem ser estudadas teoricamente através da resposta dos modelos globais de circulação geral da atmosfera, tendo em conta as condições de contorno estipuladas do ponto de vista físico meteorológico no estudo dos parâmetros envolvidos no modelo (Buchmann *et al.*, 1986a).

As águas dos oceanos Atlântico Norte e Atlântico Sul têm significativa influência nas condições climáticas tanto da Amazônia quanto do Nordeste do Brasil (Buchmann *et al.* 1990, 1995a).

Namias (1972) e Buchmann *et al.* (1986a) estudaram o mecanismo de interação existentes entre as faixas extratropicais e tropicais, conectando as áreas da Terra Nova (nordeste do Canadá) e da Groenlândia, com o Nordeste do Brasil, dos pontos de vista tanto sinótico quanto dinâmico. Buchmann *et al.* (1986a) concluíram que a maior (menor) atividade ciclônica na região da Terra Nova pode causar um aumento (diminuição) da precipitação no Nordeste do Brasil, em especial no estado do Ceará.

2.3 Outros Controles Climáticos

Virji (1981) e Buchmann *et al.* (1986b) estudaram a dinâmica da convecção profunda na região amazônica e seu efeito sobre uma situação de seca no Nordeste do Brasil. O primeiro trabalho abordou o entendimento do problema do ponto de vista sinótico, enquanto que o segundo estudo utilizou-se de um modelo baroclínico de duas camadas, não linear, de área limitada, no plano beta equatorial e com uma fonte transiente na Amazônia. No estudo de Buchmann *et al.* (1986b) o modelo numérico foi integrado por acerca de dois dias, tendo como resposta o estabelecimento uma circulação do tipo Walker. Este resultado comprova uma relação de causa e efeito entre a Amazônia e o Nordeste do Brasil.

Kousky (1979) estudou a influência das penetrações das frentes frias e sua relação com o

regime pluviométrico na parte sul do Nordeste do Brasil ao longo do ano.

Santos (1986) mostrou, a partir de dados observacionais, que havia um ciclo diurno na precipitação da Amazônia, sendo que a fase desta oscilação era disposta na forma de linhas paralelas à costa e cuja defasagem era compatível com o avanço de perturbações ondulatórias com velocidade de fase da ordem de 10 m/s. Santos (1998) mostrou que estas perturbações ondulatórias eram ondas equatoriais provenientes do Oceano Atlântico e que, ao passarem pelo litoral norte da América do Sul, entravam em fase com as linhas de instabilidade geradas pela brisa marítima e estas linhas avançavam para o interior da Amazônia. Este resultado explica o ciclo diurno das chuvas na Amazônia, que apresentam um retardo em relação ao ciclo da brisa costeira, retardo este que coincide com a velocidade de fase das ondas mistas Rossy-gravidade, que neste caso é da ordem de 10 m/s.

A conexão de efeitos da região Amazônica também se faz sentir em outras regiões. Os regimes pluviométricos da América Central e do México são afetados pela liberação de calor latente da grande e profunda convecção das nuvens cumulonimbos presentes na atmosfera na região norte do Brasil durante o verão do hemisfério sul, enquanto que no período de inverno, o transporte meridional imposto pela circulação geral da atmosfera em direção ao hemisfério norte carrega umidade para alimentar as tempestades naquelas regiões (Santos & Cerqueira, 2006; Horel *et al.*, 1989).

Segundo Buchmann (1999), a Amazônia teria um papel atenuador das condições de tempo mais adversas provocadas pelos rigorosos invernos que eventualmente ocorrem na faixa temperada da América do Norte. Estudos observacionais associam a quantidade de neve nas montanhas da Europa durante o inverno às chuvas na região amazônica. Esta conexão se deve provavelmente ao transporte trans-equatorial de água na fase gelo pelas nuvens *cirrus* formadas no topo dos cumulonimbos amazônicos (Morel *et al.*, 1978).

A região amazônica pode também influenciar e impactar o clima de outras regiões adjacentes a ela. Por exemplo, uma circulação termicamente direta do tipo Walker se estabelece pela convecção diurna de cúmulos, com um ramo de movimento descendente sobre a região do Nordeste do Brasil, provocando

uma situação de seca (Buchmann *et al.*, 1986b). A literatura por vezes associa esta circulação ao acoplamento da Alta da Bolívia com o Vórtice Ciclônico dos Altos Níveis, estabelecendo deste modo a conexão entre a Amazônia e o Nordeste brasileiro, conforme Virji (1981), Buchmann *et al.* (1986b) e Buchmann (1999). Santos (1986) mostrou que a Alta da Bolívia é a resposta atmosférica à liberação de calor latente nas nuvens cumulonimbos da Amazônia e do Brasil central, não sendo, contudo, clara a razão porque esta resposta fica deslocada para sudoeste na América do Sul.

A convergência de umidade que se observa na ZCAS produz nuvens convectivas e chuvas se estendem desde a Amazônia, passando pela região Sudeste do Brasil e avançando pelo Atlântico Sul. As chuvas associadas à ZCAS são de intensidade moderada a forte e perduram por vários dias, trazendo muitas vezes sérios transtornos às atividades humanas na região Sudeste.

A umidade da Amazônia tem uma grande importância na permanência e manutenção da ZCAS por períodos às vezes de uma quinzena ou mais, principalmente nas estações da primavera e do verão. Por outro lado, se esta zona de convergência não se instala, a umidade da região amazônica é capaz de se deslocar para o sul, com efeitos comprovados sobre o clima de verão no sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e norte da Argentina. Em havendo um aumento do desmatamento na região amazônica, poderia ocorrer um enorme comprometimento na distribuição do regime pluviométrico em grande parte da América do Sul, podendo chegar a causar déficits da precipitação que implicariam num impacto climático indesejável em regiões produtoras de alimentos.

Seria importante pesquisar com mais profundidade estas questões, através de estudos de simulação diagnóstica e mesmo com base observacional, identificando de onde provém a maior quantidade de umidade utilizada para a manutenção das zonas chuvosas do continente, dimensionando as contribuições provenientes da região amazônica e do Oceano Atlântico através da costa leste da América do Sul em especial.

3 Os Efeitos Antrópicos

A Amazônia vem sendo objeto de grande cobiça nacional e internacional, trazendo o temor

dos efeitos de uma exploração desenfreada das riquezas lá existentes, destacando-se em especial a flora (Buchmann, 1999). Esta invasão nociva do homem poderia levar a região amazônica a uma desertificação, com enorme probabilidade de diminuição dos mananciais e alteração conseqüente do clima e da qualidade de vida. Provavelmente aconteceu algo análogo no passado com a Mata Atlântica no Nordeste do Brasil em especial. Segundo Ramos (1975), muito da existência do semi-árido nordestino deve-se à presença de animais domésticos nos pastos desta região. Primeiro o homem e sua a pecuária e mais tarde o estabelecimento de indústrias na região Nordeste podem ter conseqüências que merecem profunda análise através de registros e verificação científica. É preciso identificar os fatores que vêm contribuindo para a savanização, o aumento do albedo e a conseqüente drástica diminuição da precipitação no Nordeste do Brasil.

3.1 A Amazônia

Marques (1978) e Marques *et al.* (1980) mostraram que grande parte do vapor d'água na Amazônia provem do Oceano Atlântico ao norte da região, transportado pelos ventos de norte na baixa troposfera. Buchmann *et al.* (1990, 1995a) também mostraram a influência do Atlântico Norte na Amazônia, uma vez que os ventos alísios têm grande importância em carrear umidade do Oceano Atlântico para a área norte do Brasil.

Nobre (1983a) e Nobre (1983b) concluiu que o clima da Amazônia está em equilíbrio dinâmico com a floresta úmida que o sustenta. Também os altos índices pluviométricos nela observados são em grande parte devidos à extensa floresta que recicla de forma eficiente o vapor d'água de volta à atmosfera. Uma remoção desta floresta úmida em grande escala certamente levaria a uma redução da quantidade de precipitação como resultado da redução da evapotranspiração para a atmosfera. A degradação que se seguiria ao desflorestamento intensivo levaria à erosão do solo e a compactação aumentaria a perda de água pelos rios amazônicos com inundações nos períodos chuvosos e redução de seus níveis nos períodos de estiagem.

Marengo (1991) analisou os mecanismos das anomalias climáticas na Amazônia, motivado pelo fato de que a região contém um dos maiores centros de convecção que move a circulação atmosférica dos

tropicais. Conclui que as modificações nas condições de contorno superficiais resultantes do progressivo desmatamento trarão substanciais conseqüências climáticas. Embora a precipitação amazônica se estenda praticamente pelo ano todo, o período de chuvas mais abundantes especialmente no setor norte ocorre no meio e no fim do verão do hemisfério sul, tornando a Amazônia parte da ZCIT no período em que esta alcança sua posição mais ao sul no ciclo anual. Por outro lado, foram analisadas flutuações na distribuição estacional da chuva que alertam para uma degradação irreversível do vigor da floresta em decorrência da quebra do equilíbrio climático no caso de um desmatamento de grandes proporções.

Zeng *et al.* (1996) pesquisaram o impacto climático do desflorestamento na Amazônia, usando um modelo adequado para desenvolver este estudo. Nobre *et al.* (2007) estudaram as mudanças climáticas e seus efeitos sobre a Amazônia. O desflorestamento da Amazônia já vem atingindo valores altíssimos, algo em torno do tamanho de uma França ou mais, devastação esta que compromete todo o esforço para preservar a floresta. O uso de moto-serras pelos desmatadores vem imprimindo em grande escala um desmatamento absurdo e praticamente inevitável (Buchmann, 1999).

O efeito de uma seca prolongada na Amazônia pode causar um mal menor, no que diz respeito às propriedades do solo, do que um desmatamento desordenado causado pelo homem, com prováveis conseqüências irreversíveis para o cultivo da terra. Isto necessita ser estudado, investigado e analisado com profundidade, o que já vem sendo feito pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) com relação à região amazônica. Ao expor o solo à radiação solar direta, inclemente e calcinante, compromete-se a fertilidade do solo, degradando o mesmo. Isto teria como conseqüência uma redução do nível de aproveitamento para a lavoura ou qualquer outro tipo de plantio que pudesse trazer benefícios ao homem que habita aquelas regiões (Buchmann, 1998, 1999).

Para diminuir o desmatamento da Amazônia e evitar as queimadas que contribuem para o aquecimento global, seria necessário mantê-la o mais intacta quanto fosse possível, preservando o que resta. Então, para que isto possa acontecer, torna-se imperioso que o desenvolvimento desta região seja sustentável, mantendo assim a

biodiversidade, de forma que possamos utilizar a floresta permanentemente em benefício do próprio homem em todos seus aspectos (Buchmann, 1999).

3.2 O Nordeste Brasileiro

Existem evidências da ocorrência de secas na região do Nordeste, pelo menos desde 1614, segundo Sampaio Ferraz (1950). Uma das possíveis formas de se reduzir as adversidades do clima do Nordeste do Brasil seria reverter o desmatamento localmente, ou em outras palavras reflorestar. Este desmatamento foi iniciado logo após a descoberta do Brasil e no início da colonização do Brasil possivelmente pelos portugueses, holandeses e franceses, pois transportavam madeira nobre para a Europa com fins lucrativos (Buchmann, 1998).

Charney (1975), Charney *et al.* (1975) e Berkofsky (1976) estudaram mecanismos físicos decorrentes da presença humana que afetaram muitas regiões desérticas como o Saara localizado no continente africano. Estes estudos apontam o desmatamento, principalmente devido à mudança do albedo superficial, como o fator antrópico que, em associação à dinâmica da circulação geral da atmosfera, afeta conjuntamente o clima de maneira determinante localmente.

Consta em um mapa encontrado num antiquário na França que existia pau-brasil nas proximidades das margens dos rios nordestinos nas primeiras décadas após o descobrimento (Dr. Anselmo S. Paschoa, Comunicação Verbal, 1985).

Oyama & Nobre (2004) estudaram as consequências de uma desertificação em larga-escala no Nordeste do Brasil, utilizando-se para este propósito de um modelo global de circulação geral da atmosfera.

Aragão (1975) considera como causa principal da ausência de precipitação no Nordeste do Brasil, em determinadas épocas, a inexistência de um mecanismo dinâmico que provoque movimento vertical ascendente, uma vez que existe vapor d'água nos níveis baixos. Também Marques & Rao (1984) documentaram a existência de água no estado gasoso na atmosfera da região nordestina.

Quem retratou bem a luta pela sobrevivência do homem nordestino diante das estiagens foi Ra-

mos (2008) em sua publicação *Vidas Secas*. Cunha (2007) também em seu importante e monumental trabalho *Os Sertões*, descreve fielmente os dramas da seca nordestina.

Uma das propostas mais polêmicas no passado para diminuir os efeitos da seca no Nordeste do Brasil, foi o desvio de uma parte das águas do rio São Francisco (Lucena, 1998), dentre outras possibilidades existentes. Questiona-se não só o custo da obra, mas também quem seriam os verdadeiros beneficiários desta estratégia de minimizar as situações de estiagens prolongadas no semi-árido do Nordeste brasileiro, utilizando-se das águas do “velho Chico” (Buchmann, 1998). Todavia, hoje esta obra já se encontra em fase de execução pelo governo federal e espera-se que venha a ajudar milhões de nordestinos em busca de melhores dias, o que significaria procurar e encontrar condições para sobreviver condignamente diante de tantas adversidades climáticas.

Assim sendo, poder-se-ia pensar em replantar aproximadamente um milhão de árvores nativas no Nordeste do Brasil. Esta idéia foi também sugerida similarmente pela Shell Brasileira de Petróleo, segundo o Dr. Paschoa à época. Todavia, o custo seria alto, bem como a insuficiência de água para irrigar esta área estimada em acerca de um milhão de quilômetros quadrados, o que dificultaria a concretização deste objetivo que na realidade nunca se concretizou. Do ponto de vista físico e meteorológico, se fosse factível realizar este experimento e concretizá-lo, teria como uma possível consequência a diminuição do albedo localmente, contribuindo assim em muito para o aumento da precipitação na região, o que viria viabilizar áreas de plantio no Nordeste brasileiro (Gomes Filho, 1979; Buchmann, 1998).

4 O Aquecimento Global

O efeito estufa, observado hoje no planeta Terra, é provocado, em grande parte, pela ação do homem, através do aquecimento doméstico e das atividades produtivas, principalmente as indústrias e os transportes. A queima de combustíveis fósseis aumenta a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, o que vem contribuindo largamente para o aquecimento global. Este aquecimento pode, por sua vez, alterar o regime de chuvas com prejuízos para as lavouras, além de aumentar os níveis de erosão e assoreamento dos rios na Amazônia e no Nordeste do Brasil.

Embora seja um tema atual, a conexão entre as atividades humanas e o aquecimento global é um assunto controverso, isto porque não há certeza de que o aumento de dióxido de carbono na atmosfera que vem sendo observado desde os anos 1950 é o responsável pelo aquecimento do planeta que teve início nos anos 1970. Pesquisadores brasileiros e internacionais têm se dirigido à imprensa apresentando posições opostas com respeito à eventual responsabilidade do homem na perturbação do clima global. Conjectura-se que o fenômeno do El Niño e o aumento do dióxido de carbono na atmosfera estejam se somando e contribuindo desta maneira para o aquecimento da Terra. Tendo em conta as controvérsias sobre o problema do aquecimento global, este ensaio se restringe a uma revisão dos resultados de alguns experimentos numéricos, sem se aprofundar em buscar as causas de possíveis efeitos danosos sobre a estabilidade do clima da Terra nem tampouco buscar soluções.

O desmatamento das florestas tropicais com o objetivo de extração da madeira e os incêndios florestais para fins de cultivo e pecuária certamente têm contribuído para o aumento do efeito estufa global. Na realidade o desmatamento vem sendo apontado como uma das principais causas do aquecimento global que se observa presentemente. De certa maneira as práticas predatórias nas florestas tropicais devem estar afetando o clima da Antártica, levando-se em conta que a conexão se dá pela circulação geral da atmosfera.

A Amazônia pode tanto influenciar o clima da região Antártica quanto ser influenciado por ela devido ao aquecimento global. O pólo sul, por sua vez, sofre as conseqüências do aumento da temperatura, que causa o degelo, podendo com isto alterar-se o regime pluviométrico para menos ou para mais na América do Sul. Isto acontece porque o aquecimento global afeta a frequência e a intensidade das frentes frias que alcançam o continente sul-americano. Haveria também a influência devida ao aumento do nível do mar causado pelo derretimento das calotas polares, podendo assim aumentar a evaporação e conseqüentemente a precipitação no continente.

Um estudo que poderia ser levado a cabo para pesquisar o efeito da Antártica no Brasil, simulando o impacto que provavelmente existe, seria utilizar um modelo global de circulação geral da atmosfera, tendo como hipótese uma diminuição

do gelo existente no pólo sul, com uma redução de aproximadamente de 10% do total, e estudar a resposta para esta suposta condição de contorno no tocante à variabilidade da precipitação no hemisfério sul com ênfase na região amazônica.

O aumento da temperatura na atmosfera pode também ser devido a fenômenos naturais (meteorológicos e oceanográficos) como, por exemplo, os efeitos causados pelas anomalias de aquecimento do Oceano Atlântico (Buchmann *et al.*, 1990, 1995a) e em especial do Oceano Pacífico nos períodos de El Niño (Buchmann *et al.*, 1986c, 1989).

Seria importante simular o impacto climático causado pela superposição dos efeitos do aumento dos teores do dióxido de carbono na atmosfera com os efeitos dos fenômenos La Niña, Buchmann *et al.* (1989) ou El Niño, Buchmann *et al.* (1986c) usando para isto um modelo de circulação geral da atmosfera e analisando as respostas para estas condições de contorno no tocante à variação da temperatura e da precipitação nas regiões da Amazônia e do Nordeste do Brasil.

Pode-se conjecturar também que uma maior quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera poderia conduzir a um efeito inverso ao do aquecimento global, isto é, a um resfriamento onde possivelmente a terra passaria por um período glacial relativamente curto, tendo em conta que um forte aquecimento é acompanhado de maior cobertura de nuvens que reduziriam a penetração da radiação solar através da atmosfera terrestre.

O aquecimento excessivo da atmosfera devido ao efeito estufa vem provocando grandes alterações climáticas na terra. Em decorrência do aumento da temperatura do globo, secas, inundações, degelo nos pólos, aumento do nível dos oceanos e alterações do ciclo biológico de plantas e animais, principalmente os que vivem nas regiões temperadas e frias. É obvio esperar que o aquecimento global também influencie diretamente o clima da Amazônia e do Nordeste do Brasil, bem como outras regiões adjacentes localizadas na faixa tropical e subtropical.

A Divisão de Clima & Dinâmica Global do NCAR por volta da década de 1980, já pesquisava o problema do efeito estufa, usando um AGCM disponível naquela instituição à época (Dr. Stefan Schneider, Comunicação Verbal, 1987). O Dr.

Schneider estudou o efeito do aumento do dióxido de carbono existente na atmosfera, através de uma simulação climática, tendo como resposta uma variação positiva da temperatura global. Todavia, seus resultados suscitaram algumas dúvidas na época no que dizia respeito a esta relação direta, pois esta conclusão derivou de um experimento com um modelo numérico e naquela época ainda não havia a possibilidade de comprovação com dados como os que temos hoje. Esta desconfiança se devia ao problema das parametrizações empíricas das nuvens no modelo do NCAR, o que poderia mascarar e alterar o verdadeiro efeito causado pelo aumento do dióxido de carbono na resposta da simulação climática quanto à variação da temperatura. O aumento da temperatura poderia ter sido devido mais a uma inadequada parametrização das nuvens (do ponto de vista físico e meteorológico) do que propriamente a um incremento do dióxido de carbono.

Evidentemente ocorria nesta mesma época em outros centros de pesquisa o mesmo tipo de investigação a respeito do aquecimento global. Destaca-se o Instituto de Oceanografia da Universidade da Califórnia de San Diego (UCSD) conhecido como SCRIPPS, onde já se investigava o efeito estufa e as suas conseqüências para a atmosfera (Dr. Tim Barnett, Comunicação Verbal, 1987-1989).

Estudos teóricos posteriores e aprofundados, foram desenvolvidos usando-se também um AGCM para simular o efeito do aquecimento global quando se duplicava o dióxido de carbono no modelo, resultando num aumento da temperatura na resposta da simulação. Este aquecimento poderia causar um grande impacto climático na terra como um todo. Estas simulações continuam indicando que as regiões da Amazônia e do Nordeste do Brasil também sofreriam os efeitos do aquecimento global. Dentre estes trabalhos, podemos mencionar o trabalho de França & Silva (2004), entre outros.

Do ponto de vista teórico e experimental, pode-se supor também que as nuvens possam vir a contribuir para o efeito estufa e conseqüentemente para o aumento da temperatura global. Há alguns anos a NASA cogitou a realização de experimentos na atmosfera usando aviões, para avaliar a contribuição da cobertura das nuvens para o aquecimento global.

Em um passado mais remoto, em tempos de grande atividade vulcânica ou sob a ação de

outros fatores (como o impacto de corpos celestes como cometas e asteróides), períodos de maior aquecimento ou de resfriamento afetaram o clima da Terra. Comparando aos dias atuais, estas flutuações climáticas nenhuma influência tiveram da ação do homem. O aumento ou a diminuição das temperaturas globais que a terra já enfrentou são significativamente importantes, quando comparados com as alterações que vêm ocorrendo mais recentemente na atmosfera.

5 Conclusões

O presente trabalho não teve o propósito de apresentar soluções aos problemas relacionados com as alterações climáticas, mas sim mostrar que é preciso se ter uma consciência da preservação do meio ambiente. O clima da Amazônia e do Nordeste do Brasil tem sido modificado e alterado ao longo do tempo, contribuindo assim para a diminuição da qualidade de vida dos habitantes dessas áreas. Relativamente ao grande desmatamento que vem ocorrendo nestas regiões, os seus regimes pluviométricos são afetados pelas alterações ambientais causadas pelo homem. Os efeitos causados pelo homem e pela natureza podem se somar para aumentar a temperatura do planeta e alterar assim o clima nas escalas tanto global quanto regional, trazendo danos muitas vezes irreparáveis para os seres humanos, em especial na Amazônia e no Nordeste do Brasil.

Destruir a flora da Amazônia, em especial, seria destruir um potencial inestimável de recursos naturais que poderiam vir a beneficiar o desenvolvimento desta região e do Brasil. Muitas vezes a natureza se recompõe muito mais rapidamente por si mesmo do que por qualquer outra influência externa. Entretanto, quando o homem destrói, o custo da recuperação pode ser muito oneroso. Todo o equilíbrio do meio ambiente vem sendo alterado, o que pode resultar em um grande desastre ecológico de enormes proporções no futuro, com grandes conseqüências climáticas.

Quando as Américas foram descobertas pelo homem branco, o ar atmosférico, os rios, a flora e a fauna estavam bem preservadas à época. Os indígenas que habitavam a região da Amazônia sempre conservaram a flora que estava praticamente intocada na época do descobrimento. Um dia, pouco poderá restar da vegetação devido aos danos causados pela devastação desta imensa floresta

tropical. O desmatamento é um fator determinante para a diminuição da biodiversidade nesta nova fronteira que é a região Amazônica.

As mudanças climáticas vêm causando mundialmente um impacto muito grande na perda de alimentos e vidas e pode causar desertificação nas escalas global e regional, principalmente na Amazônia e no Nordeste do Brasil.

A grande incógnita que fica em suspenso é: seria a natureza capaz de se recompor apesar da enorme degradação causada pelo homem?

6 Agradecimentos

O primeiro autor agradece o apoio dos professores Dr. Pedro L. S. Dias, Dr. John E. Geisler e Dr. John D. Horel. O apoio financeiro foi provido pelo CNPq.

O segundo autor recebeu apoio financeiro do CNPq, da *United Nations University* e da *National Science Foundation*. Suas pesquisas tiveram apoio dos professores Dr. Miguel H. Hirata, Dr. Antonio D. Moura, Dr. Pedro L. S. Dias, Dr. Jan Paegle, Dra. Julia N. Paegle, Dr. Jerome Namias e Dr. R.E. Dickinson.

Agradecemos aos pesquisadores John D. Horel, Lawrence E. Buja, David P. Baumhefner e Chi D. Zang por suas investigações científicas em tópicos de interesse do Brasil.

Agradecemos ainda ao Dr. Anselmo S. Paschoa, ao Dr. Sergio I. de Araujo e à Dra. Claudine P. *Dereczynski* pelas valiosas sugestões e comentários.

Agradecemos também ao Professor Francisco Raddi Lourenço que possibilitou a ida dos dois autores ao exterior.

7 Referências

Aragão, J.O.R. 1975. *Um estudo das estruturas das perturbações sinóticas do nordeste do Brasil*. Tese de mestrado em Meteorologia, São Jose dos Campos, INPE, 1975(INPE-789-TPT). 51 p.

Berkofsky, L. 1976. The effect of variable surface albedo on the atmospheric circulation in desert

regions. *Journal of Applied Meteorology*, 15: 1139-1144.

Buchmann, J.; Moura, A.D. & Hirata, M.H. 1986 a. A study of the influence of extra-tropical latitudes systems on the climatic variability on Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 1: 11-17.

Buchmann, J.; Dias, P.L.S. & Moura, A.D. 1986 b. Transient convection over the Amazon Bolívia region and the dynamics of droughts over Northeast Brazil. *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, Serie A 34*: 367-384.

Buchmann, J.; Buja, L.E.; Paegle, J.; Zhang, C.D. & Baumhefner, D.P. 1986 c. FGGE forecast experiments for Amazon Basin rainfall. *Monthly Weather Review*, 114: 1625-1641.

Buchmann, J.; Paegle, J.; Buja, L.E. & Dickinson, R.E. 1989. Further FGGE forecasts experiments for Amazon Basin rainfall. *Monthly Weather Review*, 117: 1092-1102.

Buchmann, J.; Paegle, J.; Buja, L.E. & Dickinson, R.E. 1990. The effect of tropical Atlantic heating anomalies upon GCM rain forecasts over Americas. *Journal of Climate*, 3: 189-208.

Buchmann, J.; Paegle, J.; Buja, L.E. & Dickinson, R.E. 1995 a. Further experiments on the effect of tropical Atlantic heating anomalies upon GCM rain forecasts over the Americas. *Journal of Climate*, 8: 1235-1244.

Buchmann, J.; Paegle, J.N.; Buja, L.E. & Paegle, J. 1995 b. The dynamical basis of regional vertical motion fields surrounding localized tropical heating. *Journal of Climate*, 8: 1217-1234.

Buchmann, J. 1998. Aspectos humanos, geográficos e meteorológicos do Nordeste Brasileiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, 21: 21-25.

Buchmann, J. 1999. Influências remotas sobre a Amazônia e dela sobre outras regiões: O homem, a flora e a fauna. *Anuário do Instituto de Geociências*, 22: 92-97.

Buchmann, J. 2008. Contributions from the second and the third internal gravity modes for the vertical motion response. *Anuário do Instituto de Geociências*, 31: 50-52.

Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Justi da Silva, M. G. A. & Silva Dias, M. A. F. (Organizadores) 2009. *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos, 463 p.

Caviedes, C.N. 1973. Secas and El Nino: Two simultaneous climatical hazards in South

- America. *Proceedings Association American Geographers*, 5: 44-49.
- Charney, J.G. 1975. Dynamics of desert and drought in Sahel. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 101: 193-202.
- Charney, J.G.; Stone, P.H. & Quirk, W.J. 1975. Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science*, 187: 434-435.
- Cohen, J. C. P.; Silva Dias, M. A. F. & Nobre, C. A. 1995. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. *Monthly Weather Review*, 123: 3163-3174.
- CPTEC/INPE. 2009. *Boletim Climanalise*, volume 24 número 1, janeiro de 2009.
- Cunha, E. 2007. *Os Sertões (Campanha de Canudos)*. Rio de Janeiro, Record, 600p.
- Dereczynski, C. P. 2004. *Limites da Previsibilidade Sazonal da Precipitação na Região Nordeste do Brasil*. Tese de doutoramento apresentada na COPPE/UFRJ. 172 p.
- França, J.R.A. & Silva, F.N.R.S. 2004. Impacto da duplicação do CO₂ no clima global simulado por um modelo de circulação geral da atmosfera. *Anuário do Instituto de Geociências*, 12: 27-52.
- Gomes Filho, M.F. 1979. *Um estudo da influencia do albedo e da orografia na circulação atmosférica: uma aplicação para o Nordeste brasileiro*. Tese de mestrado apresentada ao INPE, 1640. TDL/015, 85 p.
- Hadley, G. 1735. Concerning the cause of the general trade winds. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 39: 58-73.
- Hastenrath, S. & Heller, D. 1977. Dynamics of hazards in Northeast Brasil. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*. 103: 77-92.
- Hastenrath, S. 1991. *Climate Dynamics of the Tropics*. Kluwer Academic Publishers, 488 p.
- Horel, J. D.; Hahmann, A. N. & Geisler, J. E. 1989. An Investigation of the Annual Cycle of Convective Activity over the Tropical Americas. *Journal of Climate*, 2: 1388-1403.
- Justi da Silva, M. G. A.; Santos, I. A.; Coelho, D. G. & Silva, A. S. 2004. Estudo de Eventos Meteorológicos Extremos na Costa Sul Fluminense Através de Simulações Numéricas. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza, CE. Anais em CDROM.
- Kasahara, A. & Puri, K. 1981. Spectral representation of the three-dimensional global data by expansion in normal mode functions. *Monthly Weather Review*, 109: 37-61.
- Kousky, V.E. 1979. Frontal influences on Northeast Brasil. *Monthly Weather Review*, 107: 1140-1135.
- Lucena, F.A.C. 1998. *Perenização dos rios*. *Revista do Clube Militar*, 348: 1-32.
- Marengo, J. A. O. 1991. *Extreme climatic events in the Amazon basin and their associations with the circulation of the global tropics*. University of Wisconsin-Madison Tese de doutoramento (PhD). 147 p.
- Markhan, C.G. & McLain, D.R. 1977. Sea surface temperature related to rain in Ceara, North-Eastern Brasil. *Nature*, 265: 320-323.
- Marques, J. 1978. *A transferência horizontal de vapor d'água na troposfera e hidrologia da bacia Amazônica*. Tese de Doutorado, ESALQ, USP, Piracicaba. 112 p.
- Marques, V.S. & Rao, V.B. 1984. Water vapor characteristics over northeast Brasil during contrasting years. *Journal of Climate*, 23: 440-444.
- Marques, J.; Santos, J.M. & Salati, E. 1980. A divergência no campo do fluxo do vapor d'água e as chuvas na região Amazônica. *Acta Amazônica*, 1: 133-140.
- Morel, P.; Debois, M. & Szejwach, G. 1978. A New Insight into the Troposphere with the Water Vapor Channel of Meteosat. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 59: 711-714.
- Moura, A.D. & Shukla, J. 1981. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal Atmospheric Sciences*, 38: 2653-2675.
- Namias, J. 1972. Influence of Northern Hemisphere general circulation on drought in Northeast Brasil. *Tellus*, 24: 336-343.
- Nobre, C.A. 1983a. *Tropical Heat Sources and Their Associated Large-Scale Atmospheric Circulation*. Massachusetts Institute of Technology. Tese de Doutoramento (PhD). 297 p.
- Nobre, C.A. 1983b. The Amazon and Climate. World Climate Program, WMO, Proceedings of the Climate Conference for Latin America and the Caribbean. Paipa, Colombia. p. 409-416.
- Nobre, C.A.; Sampaio, G. & Velásquez, L.F.S. 2007. Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura* (SPBC), 59: 22-27.
- Oyama, M.D. & Nobre. C.A. 2004. Climatic

- consequence of a large-scale desertification in Northeast of Brazil: GCM simulation study. *Journal of Climate*, 17: 3203-3213.
- Paegle, J.; Zhang, C.D. & Baumhefner, D.P. 1987. Atmospheric response to tropical thermal forcing in real-data integrations. *Monthly Weather Review*, 115: 2975-2995.
- Ramos, G., 2008. *Vidas Secas*. Rio de Janeiro, Record, 176 p.
- Ramos, R.P.L. 1975. *Viabilidade da modificação do clima região semi-árida do Nordeste Brasileiro pela absorção da energia solar por partículas de carbono*. São José dos Campos. CTA.
- Satyamurty, P.; Nobre C. & Silva Dias, P. L. 1998. South America. In: *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Boston, MA, American Meteorological Society, p. 119 – 139.
- Sampaio, F. J. 1950. Iminência duma grande seca nordestina. *Revista Brasileira de Geografia*, 12: 3-15.
- Santos, I. A. 1986. *Variabilidade da Circulação de Verão da Alta Troposfera na América do Sul Tropical*. Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado. 132 p.
- Santos, I.A. 1998. *Controles de Larga e Mesoescala na Precipitação Amazônica no ABLE2B*. Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado. 119 p.
- Santos, I.A. & Cerqueira, F.A. 2006. An Evaluation of the Inter-Hemispheric Mass and Humidity Transport Around South America. Proceedings of 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Foz do Iguaçu, Brasil: p. 991–994.
- Servain, S. 1991. Simple Climatic Indices for the Tropical Atlantic Ocean and Some Applications. *Journal of Geophysical Research*, 96, (C8): 15137-15146.
- Virji, J. 1981. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America from clouds winds. *Monthly Weather Review*, 14: 599-610.
- Zeng, N.; Dickinson, R.E. & Zeng, X. 1996. Climatic impact of Amazon deforestation: A mechanistic model study. *Journal of Climate*, 9: 859-883.
- Walker, G.T. 1928. Ceara (Brazil) famines and the general circulation movements. *Beitraege zur Physik der Frein Atmosphaere*, 14: 88-93.

Webgrafia

- NOAA, Climate Prediction Center 2010. (http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/ensocycle.shtml, acesso em Janeiro de 2010).