

# ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS GLOBAIS; UMA REALIDADE EM PERNAMBUCO

FRANCINETE FRANCIS LACERDA<sup>1</sup>  
PAULO NOBRE<sup>2</sup>  
MARIA DO CARMO SOBRAL<sup>3</sup>  
GERALDO MAJELLA BEZERRA LOPES<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Agronômico de Pernambuco, Recife, Pernambuco.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, São Paulo.

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco.

<sup>4</sup>Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, Pernambuco.

Autor para correspondência: francis.lacerda@ipa.br

---

Resumo: As alterações do clima no planeta decorrentes do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, com destaque para o gás carbônico, representam desafios pela forma, abrangência e velocidade com que estão acontecendo e suas consequências para a vida no planeta. Estudos recentes identificaram tendências de diminuição das chuvas anuais em localidades de Pernambuco, evidenciando diminuição da quantidade de chuvas em grande parte do Nordeste brasileiro, que possui como característica natural alto potencial para evaporação d'água em função da grande disponibilidade de energia solar e altas temperaturas. Ações de adaptação às mudanças climáticas, a exemplo do aumento da capacidade de realizar previsões climáticas sazonais, deve, obrigatoriamente, melhorar o conhecimento das pessoas em relação a essas novas realidades econômicas, naturais e sociais.

Termos para indexação: extremos de temperatura; detecção e cenários de alterações climáticas; região semiárida.

## GLOBAL CLIMATE CHANGE; A REALITY IN PERNAMBUCO

Abstract: Climate changes resulted from greenhouse gas emissions in the atmosphere, where carbon dioxide stands out, pose challenges especially by the way, scope and speed they are happening and the consequences for life on Earth. Recent studies have identified decreasing trends of annual rainfall in locations in Pernambuco, Northeastern Brazil which already has this natural feature of the high potential for evaporation of water due to the solar energy huge availability and high temperatures. Adaptation and mitigation actions to climate change, such as improved ability to make seasonal climate predictions should necessarily lead to a better understanding of people to these new economic, natural and social realities.

Index terms: temperature extremes; climate change scenarios; semi-arid region.

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS NO AMBIENTE

Os atuais reflexos ambientais, sociais, econômicos e políticos advindos das mudanças climáticas são os maiores já enfrentados pela humanidade. As alterações do clima no planeta decorrentes do acúmulo de gases de efeito estufa (GEF) na atmosfera, onde se destaca o gás carbônico, representam desafios, principalmente, pela forma, abrangência e velocidade com que estão acontecendo e suas consequências para a vida no planeta. O Quinto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC, 2013), divulgado em outubro de 2013, apresentou uma síntese sobre o tema mudança global na temperatura do sistema terrestre fato que vem ocorrendo desde o último século, com o aumento médio da temperatura do ar da ordem de 0,78 °C se comparado com os períodos 1850-1900 e 2003-2012, que tiveram variação, em média, entre 0,72 °C a 0,85 °C. Os extremos diários de temperatura na terra têm aumentado desde 1950 e, desde então, pode-se observar que o sistema climático como um todo acumulou mais energia do que perdeu (IPCC, 2013). O aumento nas temperaturas médias, juntamente com a nova composição química da atmosfera, desencadeou alterações significativas no sistema climático planetário, afetando o padrão das chuvas, com impactos no ciclo hidrológico, produzindo enchentes intensas, secas severas e frequentes ondas de frio e calor com consequências na segurança alimentar, saúde e segurança hídrica.

Estudos recentes sobre aquecimento global indicam que as mudanças climáticas poderão afetar a produção agrícola nacional e causar aumento das áreas de risco na região Nordeste do Brasil (ASSAD; PINTO, 2008). Sob esta ótica, as análises das variações de chuva e temperatura, bem como seus impactos no balanço hídrico, servirão de base para detecção dos efeitos do aquecimento global, mudanças climáticas locais e seus consequentes impactos. Outro destaque é o aumento da evapotranspiração com a elevação da temperatura. Esse aumento tende a ser especialmente danoso às atividades agrícolas, pois reduziria a água disponível às plantas, no solo, onde se encontram as raízes, agravando-se nos casos das culturas com raízes pouco profundas.

Nobre e Assad (2005) sugeriram que, em se confirmando o aumento das temperaturas, o atual zoneamento agrícola brasileiro deverá sofrer modificações para contemplar uma nova realidade de clima. Os autores

concluíram que o calendário de plantio em algumas localidades poderá ser modificado como ação mitigadora. Também, foram levantadas outras prováveis consequências, tais como a redução do ciclo das culturas, que poderia tornar algumas plantas mais eficientes em termos de assimilação e transformação energética, porém mais susceptíveis à deficiência hídrica, devido ao aumento da evapotranspiração.

A região Nordeste do Brasil, em geral, e o Estado de Pernambuco, em especial, estão vulneráveis aos processos de desertificação, à ocorrência de eventos extremos do clima tais como secas e enchentes e avanços do mar. Segundo o “Relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas” (PBMC, 2013), é provável que o semiárido nordestino tenha precipitação reduzida em até 20% por volta de 2040, com aumento de temperatura até 1 °C. Esse relatório, também, indicou que todo o Brasil deverá ficar ao menos 3 °C mais quente até o fim do século, que as precipitações aumentarão em 30% nas regiões Sul e Sudeste e diminuirão em até 40% nas regiões Norte e Nordeste.

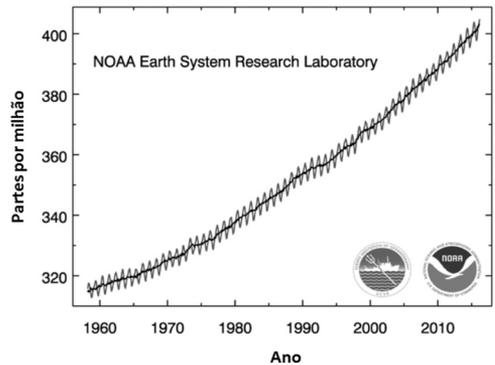
O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC (formado por especialistas em assuntos relativos às mudanças climáticas) foi criado em setembro de 2009, resultado de ação conjunta entre os Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Sua função é fornecer avaliações científicas sobre as mudanças climáticas para o Brasil, incluindo os impactos, vulnerabilidades e ações de adaptação e mitigação. Em fevereiro de 2009, o Governo de Pernambuco, por intermédio do Decreto nº 33.015, instituiu o “Fórum Pernambucano de Mudanças Climáticas” e, em 2011, lançou o “Plano Estadual de Mudanças Climáticas”, pela Lei Estadual nº 14.090/10, com o objetivo de conscientizar a população sobre a vulnerabilidade do estado às mudanças climáticas.

Na visão popular, frequentemente, a mudança climática está associada a variações do tempo, algo como ter um dia de sol e de forma brusca, surgir um temporal. É comum associar o termo “mudança climática” a ocorrências de temporais, trovões, rajadas de ventos e deslizamentos, algo que tem a ver com suas vidas e que, de certa forma, pode se relacionar com a mudança do clima. Entretanto, desde a realização da “Conferência Mundial de Meio Ambiente”, no Rio de Janeiro, em 1992, a expressão “mudança climática” ganhou refinamento. Com a criação em 1992 da UNFCCC (United Nations

Framework Convention on Climate Change) e, em especial, com o Protocolo de Kyoto, em 1997, o termo vem ganhando complexidade. Na sua formulação mais recente, passou a ser visto como resultado de uma cadeia de fenômenos complexos de longo prazo. É curioso ver na mídia, em geral, tendência a enfatizar o lado científico, político e econômico da mudança climática, sem, contudo, relacioná-la ao cotidiano das pessoas. De forma geral, o fenômeno Mudança Climática - MC é visto como algo que cabe aos governos e às empresas poluidoras resolverem. Mas questiona-se se realmente um problema apenas de governos ou de negociações abstratas entre empresas que compram direitos de poluir plantando árvores na Amazônia? Essa forma de entendimento tem pouco a ver com o cotidiano das pessoas e, provavelmente, contribui para desinformação sobre o assunto (LACERDA et al., 2014).

A Figura 1 mostra a curva de *Keeling*, ícone das alterações climáticas, com destaque para os últimos quatro anos, medidos no observatório de Mauna Loa, no Havaí, que indicou um aumento sistemático nas concentrações globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera. Os valores ultrapassaram o recorde global de 400 partes por milhão (ppm), em abril de 2015, em consequência, principalmente, de atividades humanas (queima de combustíveis fósseis tais como carvão e petróleo, associados ao desmatamento). Atingir esse patamar de 400 ppm, indica que o acúmulo de CO<sub>2</sub> aumentou em mais de 120 ppm desde a era pré-industrial e mais de 50 % desse total se deu a partir da década de 1980. Os dados em Mauna Loa são obtidos a uma altitude de 3400 m no norte da ilha.

As evidências científicas acerca das alterações climáticas exigem uma resposta global. Sir Nicholas Stern (STERN et al., 2007), conselheiro para assuntos econômicos do governo britânico escreveu sobre os impactos das alterações do clima seus custos e riscos econômicos. A revisão feita leva a uma conclusão simples - os benefícios da ação superam os custos econômicos de não agir. As mudanças climáticas afetarão os elementos básicos da vida para as populações do mundo; acesso à água, produção de alimentos, saúde e meio ambiente. Centenas de milhares de pessoas poderão ser atingidas pela fome, escassez de água e inundações. Vários países já enfrentam períodos incertos e irregulares de chuvas e as previsões para o futuro indicam que as mudanças climáticas vão tornar a oferta de água cada vez menos previsível e confiável. Economizar água para o futuro é fato objetivo e certo.

**Figura 1.** Concentração média mensal de CO<sub>2</sub> - 1960-2015.

(Fonte: [www.co2now.org](http://www.co2now.org) <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>)

Por várias questões técnicas os modelos climáticos referenciados pelo IPCC limitam suas projeções até o ano de 2100 e, ainda assim, são análises globais e não oferecem detalhes. Embora este fato gere incertezas no que diz respeito às previsões, as tendências locais e globais estão bem estabelecidas, são robustas e confiáveis. Os modelos usam para seus cálculos diferentes possibilidades (cenários) de evolução futura das emissões de gases de efeito estufa de acordo com tendências de consumo, produção, aumento da população e uso de recursos naturais. As probabilidades estimadas, com razoável segurança, atualmente indicam que as temperaturas globais subirão entre 1,1 °C e 6,4 °C, até 2100, numa faixa de variação que depende do cenário selecionado e da sensibilidade dos modelos utilizados nas simulações. No geral espera-se uma elevação em torno de 4 °C até o fim do século.

Nos oceanos, o aumento das temperaturas provoca elevação do nível médio do mar, mudanças nas correntes marinhas e na composição química da água, induzindo à acidificação. É fato que nenhuma região planetária será poupada de alterações e muitas serão penalizadas pesadamente, especialmente as mais pobres, caso das regiões Norte e Nordeste do Brasil (hotspots – locais onde as evidências de alterações climáticas serão mais fortes). Mesmo que as concentrações de gases efeito estufa parem de crescer, os efeitos deste nível tão alto já foram desencadeados não podendo mais ser evitados, já sob o efeito cumulativo retardado desde a década de 1970. Como a mudança do modelo

econômico não acontecerá de imediato, a humanidade deve se preparar para grandes dificuldades, ou seja, maiores do que as que vivem hoje, como é o caso da falta de adaptação ao ambiente do semiárido do Brasil.

Estudos de detecção de mudanças climáticas em Pernambuco, revelaram aumento de 4°C na temperatura máxima diária no período de 1961 a 2009, com base em dados obtidos na estação meteorológica de do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, em Araripina (LACERDA et al., 2010; NOBRE, 2011) e de diminuição média da ordem de 275 mm (57%) dos totais pluviométricos anuais, com base em dados obtidos de um conjunto de oito postos pluviométricos (localizados no Vale do rio Pajeú, em Pernambuco), para o mesmo período. A diminuição anual das chuvas esteve acompanhada do aumento dos períodos máximos de estiagem que passaram de 20 para 35 dias e do aumento da frequência de eventos de precipitação intensa (por exemplo, superior a 50 mm em 24 horas), que passou de cinco para nove ocorrências por ano. Tais sinais constituem evidências de que processos de desertificação estão em curso nas áreas estudadas dessa parte do semiárido de Pernambuco. Nota-se que a diminuição dos totais pluviométricos anuais é observada globalmente nas regiões tropicais entre 10S e 10N, assim como o aumento da frequência da ocorrência de precipitações episódicas intensas associadas às mudanças climáticas globais (TRENBERTH et al., 2007). O cenário climático brasileiro acompanha a mesma tendência de aquecimento global, em que as mudanças mais significativas são o aumento de temperatura, modificações nos padrões de chuvas e alterações na distribuição de extremos climáticos, tais como secas, enchentes e inundações (MARENGO et al., 2007).

### **POLÍTICA NACIONAL DE MUDANÇA DO CLIMA**

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC, 2008) visa ao desenvolvimento e ao aprimoramento de ações de mitigação no Brasil, colaborando com o esforço mundial para redução das emissões de gases de efeito estufa, bem como promover condições para adaptação aos impactos das mudanças climáticas. O Plano apresenta metas de redução do índice de desmatamento anual da Amazônia (redução de 80 % até 2020, de acordo com o Decreto 7390/20101), ampliar em 11 % ao ano, nos próximos dez anos, o consumo interno de etanol, dobrar a área de florestas plantadas para

11 milhões de hectares em 2020, sendo 2 milhões de ha com uso de espécies nativas, trocar 1 milhão de geladeiras antigas por ano, em 10 anos, aumentar a reciclagem de resíduos sólidos urbanos em 20 % até 2015, aumentar a oferta de energia elétrica de cogeração, principalmente a de bagaço de cana-de-açúcar, para 11,4 % da oferta total de eletricidade no país em 2030 e reduzir as perdas na distribuição de energia elétrica à taxa de 1.000 GWh por ano, nos próximos 10 anos.

### **POLÍTICA ESTADUAL DE MUDANÇA DO CLIMA**

A Lei nº 14.090, criada em 17 de julho de 2010, estabeleceu a Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas e contemplou o desenvolvimento de várias especialidades científicas (PERNAMBUCO, 2010).

Dentre os objetivos dessa lei está a promoção de capacitação e fortalecimento institucional do Estado de Pernambuco em ciência, tecnologia e meio ambiente, para o estudo das causas e efeitos das mudanças climáticas, criando condições para estabelecimento de uma Agência ou Instituto Pernambucano para Mudanças Climáticas, conforme descreveu o artigo nº 3, bem como o incentivo a iniciativas e projetos, públicos e privados, que favoreçam a mitigação de emissões de gases de efeito estufa e adaptação às mudanças climáticas e, ainda, apoiar as pesquisas sobre fatores climáticos naturais e antrópicos, em especial sobre o sistema climático urbano e regional (PERNAMBUCO, 2011).

Com esta Lei, o poder público deverá estabelecer a obrigatoriedade da avaliação da dimensão climática nos processos decisórios referentes às suas políticas públicas e programas, de forma a estimular e controlar a adoção de ações de pesquisa, adaptação e mitigação das emissões dos referidos gases, de acordo com o artigo oitavo. Portanto, caberão às secretarias e outras entidades públicas estaduais os devidos encaminhamentos para obter o respectivo êxito.

O Estado de Pernambuco tem um papel relevante em relação às mudanças climáticas e às adaptações aos seus efeitos sendo altamente vulnerável, em especial, nas áreas litorâneas de baixa declividade. Igualmente, está sujeito à desertificação e aos eventos extremos de seca e chuva (PERNAMBUCO, 2011).

Segundo o conteúdo do Plano Estadual de Mudanças Climáticas de Pernambuco e de acordo com os critérios nacionais, o Estado possuiu 135 municípios nas áreas suscetíveis à desertificação (ASD), onde vivem, de acordo com o último censo demográfico, mais de 2,6 milhões de habitantes, conformando uma densidade demográfica acima de 35 hab./km<sup>2</sup>. Esse quadro poderá levar a processos migratórios, deslocando populações afetadas para centros urbanos, agravando ainda mais a condição socioeconômica.

### **A METEOROLOGIA EM PERNAMBUCO**

A variabilidade climática no semiárido do Nordeste do Brasil sempre foi vista como desvantagem regional. A seca, que é fenômeno natural do clima semiárido, sempre foi relacionada às mazelas dos nordestinos, que ocupam aquele espaço geográfico. Também é tida como causa principal da pobreza e do subdesenvolvimento regional. A seca, tal qual um flagelo influenciou a criação de políticas de enfrentamento com a criação de órgãos federais a exemplo do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. Esses órgãos implantaram grande parte da rede observacional meteorológica e hidrológica da região, como também, realizaram obras de armazenagem das águas pluviais no Nordeste.

A partir de 1989, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e a Fundação Cearense de Meteorologia - FUNCEME passaram a utilizar informações oriundas do monitoramento atmosférico e oceânico globais para elaborar e fornecer previsões climáticas para o Governo do Ceará. Em 1991, o então Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT criou, em parceria com os estados da região Nordeste, o Programa Nordeste, com a finalidade de capacitar os estados para monitorar e prever o tempo. À época foram criados Centros Estaduais de Meteorologia e Recursos Hídricos - CMRH, para cada um dos Estados nordestinos. Este projeto veio a crescer, se tornando nacional, sob o nome de Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos - PMTCRH, o qual, no entanto, após período de mais de uma década foi descontinuado pelo Governo Federal, em 2006. O Laboratório de Meteorologia de Pernambuco - Lamepe, foi criado em 1992, na então Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária-IPA, com o objetivo de implementar, sob a égide do Ministério de Ciência e Tecnologia - MCT, a

ação de implantação e modernização de centros estaduais de monitoramento de tempo, clima e recursos hídricos - PMTCRH, com a função de ampliar, consolidar e modernizar a base operacional e de pesquisa na área de meteorologia, climatologia e recursos hídricos, além de monitorar, produzir conhecimentos e gerar previsões hidrometeorológicas. É importante destacar que toda a rede de observação hidrometeorológica da Sudene, no âmbito de Pernambuco, foi repassada ao Estado, por meio de convênio. Essa junção das redes de observação, tanto da Sudene quanto do IPA, incluiu Pernambuco como um dos estados líderes na coleta e disseminação de informações hidrometeorológicas do Nordeste do Brasil.

Em 1992, o Lamepe e o INPE passaram a utilizar informações oriundas do monitoramento atmosférico e oceânico para elaborar e fornecer previsões climáticas para o Governo de Pernambuco (INPE, 2006). O estabelecimento de convênios e parcerias, nas áreas de meteorologia e climatologia com o Governo Federal foi coordenado e executado pelos pesquisadores do Lamepe que por quase duas décadas foi o único órgão com capacidade técnica e observacional para realizar o monitoramento atmosférico, as previsões do tempo e do clima, alertas e vigilância meteorológica em todas as bacias hidrográficas e mesorregiões de Pernambuco (INPE, 2006). Também, foi além e associou-se à Rede Nacional de Mudanças Climáticas - Rede Clima e a de Monitoramento de CO<sub>2</sub>, a fim de estudar os impactos dos efeitos do aquecimento global sobre o clima de Pernambuco. O Lamepe foi criado pelo estado, com o apoio da União, para prestar serviços de utilidade pública, tanto ao estado quanto à região, colaborando em nível federal e contribuindo para o monitoramento nacional (INFOCLIMA, 2002). Na época, a rede de coleta de dados continha mais de 200 unidades de observação meteorológica, espalhadas por todo o espaço geográfico do estado, incluindo o arquipélago de Fernando Noronha. Com essas unidades coletoras, se monitoravam variáveis meteorológicas do tipo: precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, ventos, temperatura do ar etc. (BARROS et al., 1994). Esses dados eram utilizados para o *input* dos modelos atmosféricos para geração de diversos produtos, dentre os quais as previsões meteorológicas que incluíam previsões de curto e longo prazos, caso dos eventos extremos de chuva, secas e enchentes.

## VARIABILIDADE E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS EM PERNAMBUCO

Para compreender melhor as mudanças climáticas globais sobre Pernambuco e o Nordeste, foi necessário conceituar os processos que influenciam o padrão espacial e temporal das distribuições das precipitações pluviométricas no estado. A irregularidade na distribuição dos índices de chuva é uma característica da alta variabilidade interanual na região tropical, com anos secos, muito secos e chuvosos. Diversos fatores podem contribuir para explicar a alta variabilidade da precipitação sobre o Nordeste do Brasil, dentre os quais a flutuação nos valores da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico Tropical e do Atlântico (MARENGO et al., 2011). O *El Niño* e a Oscilação do Sul são fenômenos globais conhecidos como ENOS, responsáveis pela variabilidade interanual da precipitação. As anomalias climáticas relacionadas ao fenômeno são persistentes e podem durar vários meses. Episódios de *El Niño* são cíclicos e podem reaparecer a cada 2 a 7 anos (ARAGÃO, 1986).

O clima da região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta, em média, precipitação acumulada que pode variar em valores inferiores a 600 mm/ano e superiores a 2.000 mm/ano. No norte da região, área que abrange o semiárido, o período chuvoso ocorre entre os meses de fevereiro a maio. O setor norte do NEB, por sua vez, se caracteriza pela ocorrência de secas periódicas e no setor leste pela ocorrência de cheias e enchentes, ciclos de estiagens e enchentes que costumam acontecer em intervalos que podem variar de anos a décadas (MARENGO, 2006). A estação seca, na maior parte da região, ocorre nos meses de setembro e outubro. O déficit hídrico acumulado ocorre praticamente durante todo o ano e o percentual de dias com déficit hídrico (relação entre o número de dias com déficit hídrico e o número total de dias), para o período 1970-90, pode ser utilizado como critério para avaliar a sua vulnerabilidade climática (MARENGO et al., 2010). Essa análise indicou que em 70% do ano o semiárido apresenta déficit hídrico.

O NEB também é vulnerável às enchentes nos anos mais chuvosos. Em destaque, os anos de 1964; 1967; 1974; 1985; 1986; 1988; 1989; 1994; 2004; 2009 e 2010. Outra característica marcante da precipitação é a alta variabilidade no tempo e espaço. A ocorrência de chuvas, por si, não garante que as atividades agrícolas de sequeiro tenham sucesso (MARENGO et al., 2011). No semiárido é frequente a ocorrência de períodos secos durante a estação chuvosa que,

dependendo da intensidade e da duração, provocam impactos nas culturas. O semiárido inclui diversos microclimas com características próprias, com alternância de anos secos, muitos secos e chuvosos. Os dados obtidos (Tabela 1) mostram a ocorrência de secas em: 1710-11; 1723-27; 1736-57; 1744-45; 1777-78; 1808-09; 1824-25; 1835-37; 1844-45; 1877-79; 1982-83; 1997-98 e de chuvas intensas em: 1924; 1974; 2004 e 2009 (MARENGO et al., 2010).

**Tabela 1.** Anos de seca no Nordeste do Brasil e de ocorrência de El Niño nos últimos cinco séculos.

Século XVII	Século XVIII	Século XIX	Século XX	Século XXI
1603	1711	1804	1900	2001
1614	1721	1809	1902	2002-03
1692	1723-24	1810	1907	2004-05
	1736-37	1816-17	1915	2006-07
	1744-46	1824-25	1919	2009-10
	1754	1827	1932-33	2015
	1760	1830-33	1936	
	1772	1845	1941-44	
	1776-77	1877-79	1951	
	1784	1888-89	1953	
	1790-94	1891	1958	
	1790-94	1898	1970	
			1979-80	
			1981	
			1982-83	
			1986-87	
			1991-92	
			1997-98	

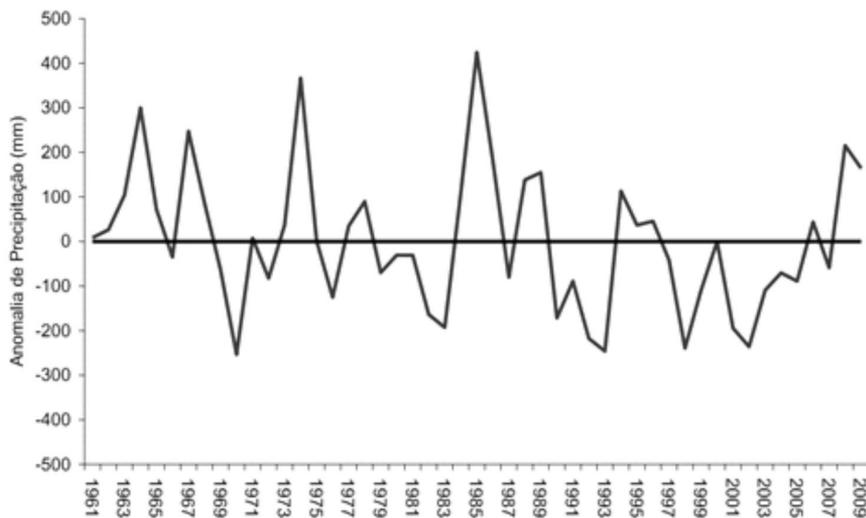
Fonte: MAGALHÃES et al., 1988; Caviedes, 2001; atualizado pela autora para 2015.

A variabilidade temporal e espacial das precipitações pluviométricas constitui característica marcante do clima de Pernambuco e em particular do Semiárido, onde as irregularidades das chuvas constituem fator importante, principalmente, em relação à agricultura praticada, na maioria de sequeiro e, portanto, totalmente dependente da manutenção da umidade do solo (Figura 2).

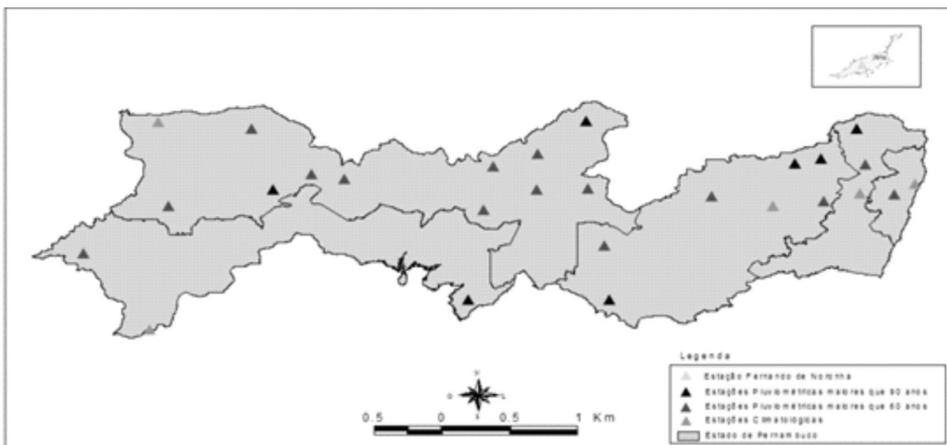
O estado de Pernambuco (Figura 3) é predominantemente semiárido em cerca de 80 % do seu espaço geográfico. No extremo oeste, a precipitação

acumulada, em média, é inferior a 700 mm/ano, setor que abrange as mesorregiões do Sertão do São Francisco, de Petrolina, até Araripina, tendo como principal período chuvoso os meses de janeiro a abril sempre afetado por secas e enchentes. Relatos de secas em Pernambuco podem ser encontrados a partir do século dezoito, apresentando ocorrências de anos muito secos, sempre objeto de preocupação da sociedade e dos órgãos de governo. Essa preocupação está refletida na ação de construção de reservatórios hídricos,

**Figura 2.** Ilustração da alta variabilidade da precipitação no NEB.



**Figura 3.** Mapa de Pernambuco com a localização dos postos pluviométricos.



perfuração e instalação de poços, construção de canais e, atualmente na interligação de bacias hidrográficas, caso do projeto de transposição do rio São Francisco. Lacerda et al. (2010) mostraram, com séries históricas, que remontam à década de 1950, que a década de 2000, apresentou recordes históricos nos totais diários de chuva, especificamente na Região Metropolitana do Recife e nas Zonas das Matas Meridional e Setentrional de Pernambuco.

Um dos mais importantes sistemas meteorológicos causador de chuva no Semiárido e parte do Agreste de Pernambuco é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que apresenta convergência dos ventos alísios do Norte e do Sul, com movimentos ascendentes, baixas pressões, nebulosidade e chuvas abundantes, seguindo preferencialmente as áreas onde a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é mais elevada (KAYANO et al., 2009). No geral, é nos meses de janeiro a abril, no semiárido pernambucano, que ocorre a máxima precipitação que está relacionada à atuação da ZCIT sobre o Oceano Atlântico Tropical em sua posição mais ao sul (4-5 °S). Este fato revela que a ZCIT é o principal mecanismo responsável pelas chuvas no semiárido, principalmente, entre os meses de fevereiro a maio. Por outro lado, os mínimos de chuva acontecem entre junho a setembro, quando a ZCIT alcança posição climatológica, mais ao norte do equador, entre 4-5 °N.

No Atlântico Tropical o padrão espacial predominante do ciclo anual e da variabilidade interanual das TSM e dos ventos à superfície apresentam estrutura meridional mais articulada do que a estrutura zonal. As anomalias de TSM no Atlântico, no sentido meridional, são conhecidas como o dipolo do Atlântico (UVO et al., 1998). Esse dipolo propicia ocorrência de gradientes meridionais de anomalias de TSM, os quais afetam fortemente a posição da ZCIT, influenciando a distribuição sazonal de precipitação pluviométrica, da parte norte do Nordeste do Brasil até a parte central da Amazônia (NOBRE; SHUKLA, 1996, UVO et al., 1998, MARENGO, 2004, SILVA et al., 2004). As anomalias climáticas relacionadas às variações da pressão ao nível médio do mar, no Pacífico Tropical leste e no Atlântico Tropical, constituem o ajustamento de massa de grande escala associadas ao fenômeno ENOS.

Saravanan e Chan (2000) propuseram que as teleconexões do ENOS têm papel importante na variabilidade climática do Atlântico Tropical que, por sua vez, afeta o clima do Nordeste do Brasil. Wagner (1996), Nobre e Shukla (1996), estudaram tendências decadais (períodos de dez em dez anos) nos

mecanismos que controlam o gradiente meridional de TSM sobre o Atlântico Tropical. Posteriormente, Hastenrath (2001) identificou tendência de longo prazo na chuva do Nordeste, caracterizada por um deslocamento da ZCIT mais ao sul da sua posição climatológica. Segundo Nobre et al. (2003), a variabilidade interanual da pluviometria representa uma das características meteorológicas mais importantes nas regiões tropicais. Sua previsibilidade é alta e as anomalias pluviométricas sobre os trópicos, na escala de tempo sazonal, são maiores do que sobre as de latitudes temperadas. A temperatura da superfície do mar (TSM), sobre os oceanos tropicais, é um dos parâmetros que mais influencia sua previsibilidade.

O regime pluviométrico da Região Nordeste do Brasil (NEB) é fortemente afetado pelas anomalias de TSM sobre o Atlântico (HASTENRATH; HELLER, 1977; MOURA; SHUKLA, 1981; NOBRE; SHUKLA, 1994) e também sobre o Pacífico (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; ACEITUNO, 1988; HAMEED; MEINSTER, 1993). A região Nordeste do Brasil é uma das regiões que apresenta alta previsibilidade da precipitação sazonal (NOBRE et al., 2003). Evidências observacionais e modelos de circulação geral da atmosfera mostram que as condições oceânicas e atmosféricas no oceano Atlântico Tropical influenciam a variabilidade interanual do clima sobre as Américas (HASTENRATH; HELLER, 1977; MOURA; SHUKLA, 1981; HASTENRATH, 1984; CHU, 1984; HASTENRATH, 1990; NOBRE; SHUKLA, 1996). Na América do Sul, as regiões mais influenciadas são o setor leste da Amazônia (MOLION, 1987; MOLION, 1993; NOBRE; SHUKLA, 1996) e Nordeste do Brasil (NAMIAS, 1972; HASTENRATH; HELLER, 1977; MARKHAM; MCLAIN, 1977; MOURA; SHUKLA, 1981; HASTENRATH, 1984; HASTENRATH, 1990; ALVES et al., 1993; NOBRE, 1993; RAO et al., 1993; NOBRE; SHUKLA, 1996).

Os Vórtices Ciclônicos em Níveis Superiores de Ar (VCAS) têm grande influência sobre o clima do Nordeste brasileiro e de Pernambuco. A circulação de verão nos trópicos, particularmente sobre a América do Sul, desenvolve-se numa circulação, em altos níveis da atmosfera, chamada de Alta da Bolívia (AB) que se apresenta associada a um cavado, que pode eventualmente se fechar, dando surgimento ao fenômeno chamado de VCAS do Nordeste, suas variações de intensidade e posicionamento estão relacionadas com o total de precipitação, principalmente, nos meses de janeiro a março sobre a

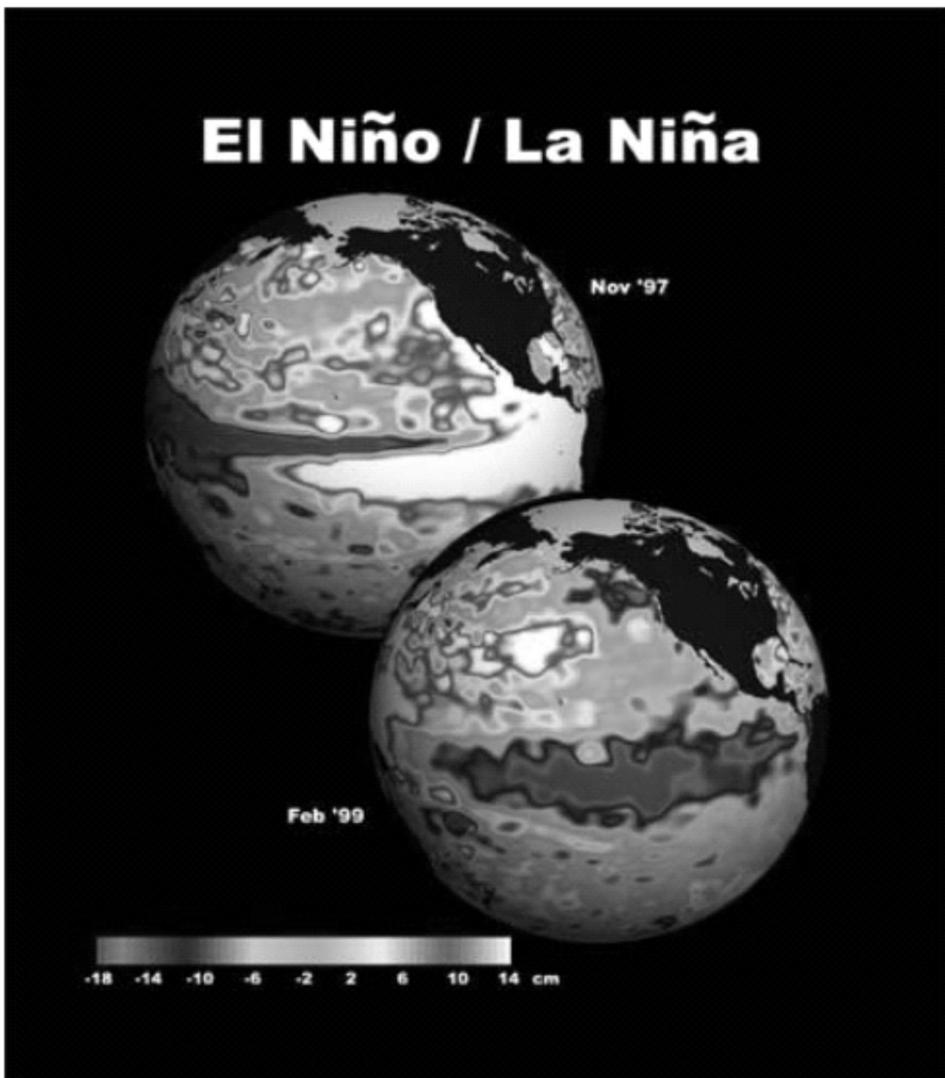
região (MARENGO, 2011; LACERDA et al., 2010).

O *El Niño* é um fenômeno de escala global e de interação oceano-atmosfera que causa impactos significativos na precipitação sobre o Nordeste do Brasil, principalmente, no semiárido (ARAGÃO, 1986). O *El Niño* se caracteriza pela alteração nos padrões das TSM, ou seja, anomalias positivas de TSM e alteração nos padrões dos ventos alísios no Pacífico Equatorial Tropical, entre a Costa do Peru e o setor oeste do Pacífico Equatorial, próximo à Austrália. O *El Niño* modifica a circulação geral da atmosfera, causando movimentos descendentes anômalos sobre o leste da Amazônia e Nordeste do Brasil, gerando secas recorrentes (MARENGO et al., 2011). Ropelewski e Halpert (1987; 1989), Xavier (2001) e Xavier et al. (2003) entre outros autores, mostraram que os episódios de *El Niño* e *La Niña* (Figura 4) causam impactos sobre a precipitação do Nordeste principalmente na quadra chuvosa (Fev/Mar/Abr/Maio). Registros de eventos de *El Niño* anteriores indicaram que os episódios 1982/83 e 1997/98 (TRENBERTH, 1998) foram os mais intensos desde o início das medições, com anomalias das TSM chegando a 4°C e causando impactos significativos na região semiárida do Nordeste. Assim como o *El Niño*, a *La Niña* também pode variar em intensidade causando excesso de precipitação como os eventos ocorridos em 1984/85 e 1988/89 (MARENGO et al., 2011).

Os episódios do fenômeno *El Niño* iniciam-se normalmente (classicamente) em meados de um determinado ano e atingem o ápice no final do mesmo ano, podendo levar meses para se dissipar totalmente (MARENGO et al., 2011). Em alguns anos, o fenômeno ENOS pode acontecer na época da estação chuvosa, período de fevereiro a maio. Embora as distribuições de TSM sobre o Pacífico Equatorial tenham efeito decisivo na pluviometria sobre o norte do Nordeste e leste da Amazônia, os fenômenos atmosféricos e oceânicos sobre o Atlântico Tropical são estatisticamente significativos ao influenciar a variabilidade interanual das precipitações sobre o Nordeste do Brasil (CHU, 1984; HASTENRATH et al., 1987). As relações entre os padrões anômalos de TSM no Atlântico com o clima do NEB foram documentadas por Hastenrath e Heller (1977).

O fenômeno *La Niña* caracteriza-se por apresentar resfriamento anômalo das TSMs do Oceano Pacífico Equatorial (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; ROPELEWSKI; HALPERT, 1989). No geral, as anomalias associadas

**Figura 4.** Temperatura da Superfície do Mar em anos de *El Niño* e *La Niña*.



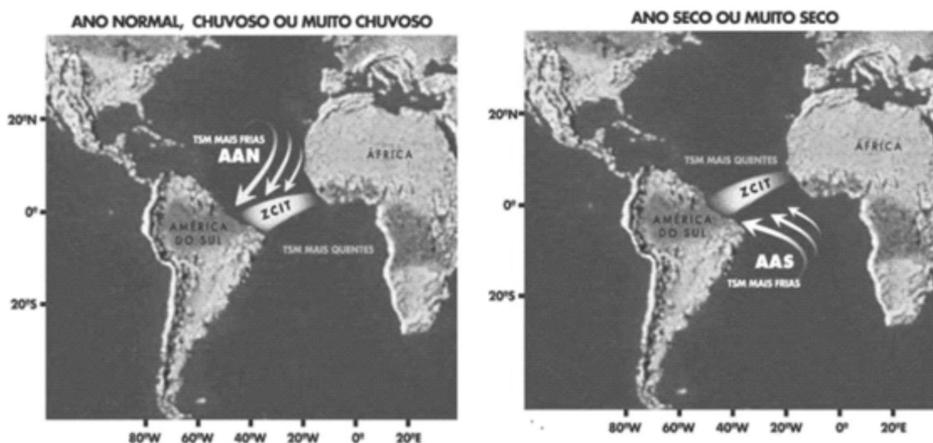
Fonte: Lacerda et al. (2010)

ao fenômeno *La Niña* são contrárias as de anos de *El Niño*, ou seja, excesso de chuva nas regiões Norte e Nordeste do Brasil e redução nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (ARAGÃO, 1986).

Na literatura, essas disposições das anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical estão normalmente associadas às anomalias pluviométricas sobre o Nordeste e são chamadas de “padrão de dipolo” (Figura 5); apresentam

anomalias de TSM, com sinais opostos ao norte e ao sul do equador (MOURA; SHUKLA, 1981). Este padrão propicia a ocorrência de gradientes meridionais de anomalias de TSM que impactam fortemente na posição latitudinal da ZCIT, modulando a distribuição sazonal das precipitações pluviométricas sobre o Atlântico Equatorial, parte norte do Nordeste do Brasil, até a parte central da Amazônia (NOBRE; SHUKLA, 1996).

**Figura 5.** Esquema do padrão de dipolo sobre o Oceano Atlântico em anos normais, chuvosos, muito chuvosos, secos e muito secos.



Fonte: Lacerda et al. (2010).

Em anos nos quais as TSM sobre o Atlântico Tropical Sul (entre a linha do equador e 15 S) estão mais altas do que a média nos meses de março-abril-maio (MAM) e o Atlântico Tropical Norte (entre 5 N e 20 N) está menos aquecido do que a média, há formação de um gradiente meridional de anomalias de TSM, no sentido norte-sul (HASTENRATH 1984, 2001). Segundo Molion (1993), Nobre e Shukla (1996) há evidências observacionais de que o padrão espacial das anomalias pluviométricas que causam secas ou inundações sobre o Nordeste do Brasil têm escala espacial muito maior do que o próprio Nordeste, englobando também o Atlântico Equatorial, até a parte central da Amazônia. Além disto, o excesso ou deficiência de precipitação ao sul do equador está associado não somente ao deslocamento latitudinal anômalo da ZCIT, mas principalmente à duração do período da incursão da

ZCIT ao sul do equador (NOBRE; SHUKLA, 1996).

Desse modo, as variações interanuais da precipitação do Nordeste são principalmente devido à variabilidade do Oceano Pacífico Tropical (ENOS) com dois modos principais: Pacífico quente (*El Niño*) correspondendo a episódios de seca; Pacífico frio (*La Niña*) correspondente a anos com excesso de chuva (KOUSKY et al., 1984; ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; ROPELEWSKI; HALPERT, 1989). Contudo, as anomalias de chuvas no Nordeste não se devem somente ao ENOS. Estudos observacionais e de modelagem numérica indicaram que o Oceano Atlântico Tropical desempenha um papel significativo na chuva do Nordeste (MARENGO et al., 2010). Fica aqui esclarecida e evidenciada a relação da precipitação do semiárido brasileiro com as anomalias de TSM no Atlântico Tropical e Pacífico Equatorial.

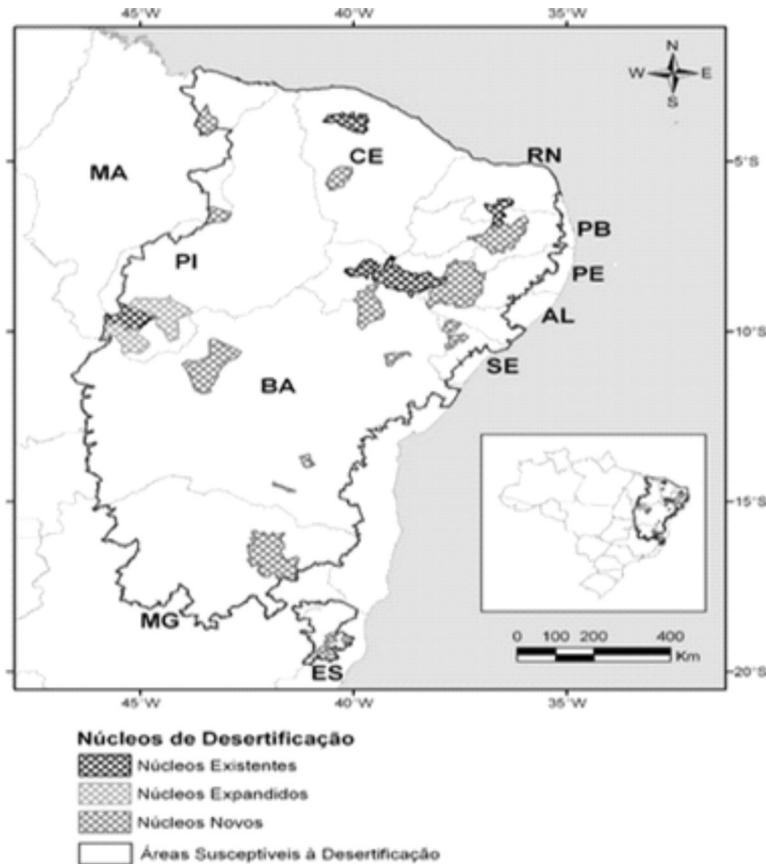
### PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO EM PERNAMBUCO

A desertificação é definida como um processo de degradação ambiental causado pelo manejo inadequado de recursos naturais nas áreas subúmidas secas, semiáridas e áridas, onde há comprometimento dos sistemas produtivos, dos serviços ambientais e da conservação da biodiversidade (BRASIL, 2004).

No Brasil, as áreas em processo e/ou suscetíveis à desertificação estão localizadas no Nordeste e em parte do Sudeste, nas áreas de clima semiáridos e subúmidos secos. Cerca de 1,13 milhão de km<sup>2</sup>, dos quais 710 mil km<sup>2</sup> (62,8 %) são caracterizados como semiáridos e 420 mil km<sup>2</sup> (37,2 %) como subúmidos secos (BRASIL, 2007). Essas áreas se espalham por 1.480 municípios susceptíveis e esse processo pode ser agravado pela variabilidade climática (Figura 6). A desertificação significa a destruição da base de recursos naturais, como resultado da ação do homem sobre o meio ambiente e de fenômenos naturais (BRASIL, 2007).

Relacionada a fatores humanos, destacam-se desmatamento, extração excessiva de produtos florestais, incêndios florestais, sobrecarga animal, uso demasiadamente intensivo do solo e manejo inadequado. Por último, tem-se o emprego de tecnologias não apropriadas para os ecossistemas frágeis (SÁ et al., 1994). As áreas suscetíveis ao processo de desertificação representam 16% do território brasileiro e 27% dos municípios envolvendo uma população de mais de 31 milhões de habitantes.

**Figura 6.** Mapa do Nordeste do Brasil delineando a área susceptível ao processo de Desertificação.



Fonte: SEMAS/PE

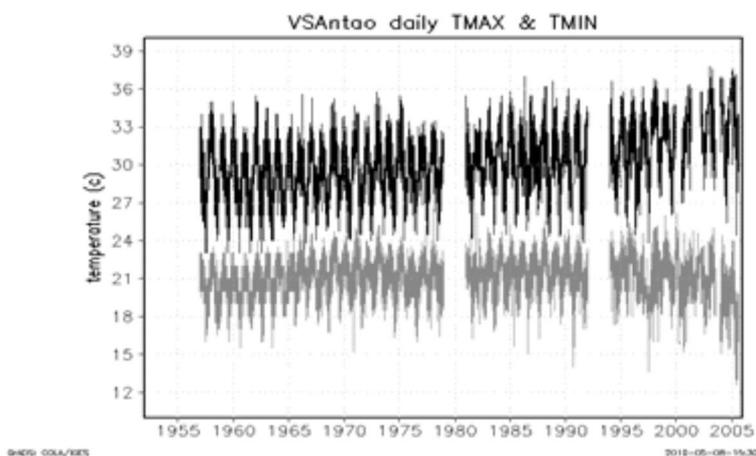
Segundo Giongo (2011), a história do semiárido passa pelo entendimento do bioma Caatinga e pela necessidade de se trabalhar com medidas mitigatórias e adaptativas, no atual contexto das mudanças climáticas globais – também inferidas pelo balanço de carbono – fazendo resgate das relações sociais, econômicas e políticas, que se estabeleceram no Nordeste, descritas por Euclides da Cunha, Manuel Correia Andrade, Vasconcelos Sobrinho, entre outros.

Considerando as variações climáticas do NEB, ante os cenários de mudança do clima atual e futuro, sendo a região altamente vulnerável em termos de reduções de chuva e aumento das temperaturas, é essencial prever a ocorrência de grandes períodos de seca no semiárido e apontar as áreas susceptíveis ao

processo de desertificação desencadeado por mudanças climáticas. De acordo com Marengo (2008), a área mais afetada no Nordeste será o Oeste do Piauí, Sul do Ceará, Norte da Bahia e Oeste de Pernambuco, onde se encontram os municípios com menor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Nesses locais, as projeções de clima para o futuro indicam riscos de secas de 10 anos ou mais. Dados do extinto Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (Lamepe) revelaram que a temperatura máxima do ar teve aumento substancial nos últimos 45 anos, ultrapassando os 3 °C, nas estações experimentais do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, localizadas nos municípios de Vitória de Santo Antão e de Araripina conforme mostra a Figura 7 (NOBRE, 2011).

No caso de Araripina (Figura 8), a distribuição temporal das temperaturas

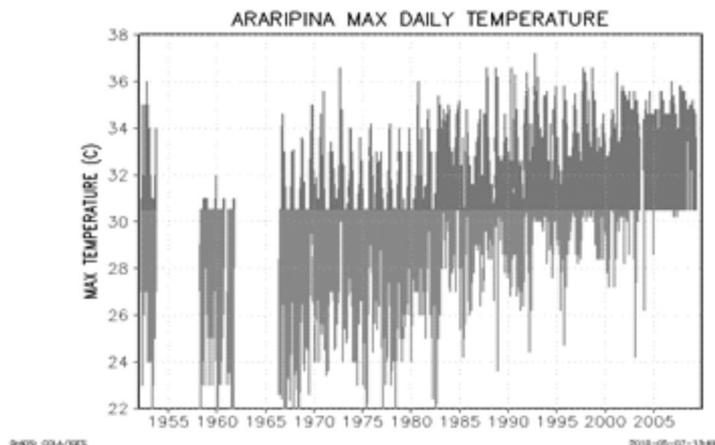
**Figura 7.** Evolução temporal das temperaturas (°C) máximas e mínimas em Vitória de Santo Antão, Pernambuco.



Fonte: Nobre (2011)

extremas, mostra aumento significativo dos valores extremos das temperaturas máximas diárias. Por outro lado, a distribuição das séries temporais das temperaturas máximas e mínimas, em Vitória de Santo Antão, sugere um padrão de amplitude térmica característico de regiões em processo de desertificação, onde as temperaturas máximas aumentam enquanto que as mínimas diminuem (LACERDA et al., 2010). Com a crescente influência do aquecimento global nos processos dinâmicos e termodinâmicos atmosféricos, oceânicos e dos biomas, torna-se imprescindível aumentar o conhecimento

**Figura 8** Evolução temporal das temperaturas (°C) máximas em Araripina; evolução temporal dos valores máximos e mínimos diários da temperatura máxima em Araripina, Pernambuco.



Fonte: Nobre (2011).

sobre esses processos e suas interações.

No caso da desertificação, mais de 90% do território semiárido de Pernambuco pode estar ameaçado (BRASIL, 2007) e as inundações decorrentes do aumento do nível do mar podem afetar grande parte da região metropolitana do Recife. Nas áreas identificadas como susceptíveis à desertificação, no Nordeste e em Pernambuco, foi constatado que o fator antropogênico é o que mais contribui para a intensa degradação, de maneira geral, com a destruição do bioma Caatinga por práticas agrícolas inadequadas, pela pecuária e desmatamento objetivando uso da madeira para produção de lenha e carvão.

Estudos dos impactos das mudanças climáticas na estabilidade dos biomas brasileiros (OYAMA; NOBRE, 2003), revelaram que o bioma Caatinga está entre os mais vulneráveis num cenário de aumento das temperaturas globais, o que coloca a região em alerta, uma vez que os efeitos das mudanças climáticas representam fatores a mais em relação à pressão de origem antrópica à desertificação. Esses fatores somados aos efeitos das mudanças climáticas fazem do Nordeste uma região factível a um rápido aumento das áreas que estão em processo de desertificação. De fato, há essa tendência de desertificação da porção semiárida, até final do século XXI, como consequência do aumento

da temperatura do ar e redução das chuvas (OYAMA et al., 2004) com a prática agrícola de sequeiro de alto risco, ainda mais marginal.

No semiárido de Pernambuco há evidências no aumento das chuvas torrenciais e concentradas em curtos espaços de tempo (LACERDA et al., 2010). Espera-se, também, maior frequência de dias secos consecutivos e de ondas de calor decorrente do aumento na frequência de veranicos na região (MARENGO et al., 2011). Este processo, além de ameaçar espécies (vegetais e animais) e os ecossistemas, ameaça à segurança hídrica das populações, podendo levá-las, principalmente aquelas que habitam o semiárido, a se tornarem refugiados do clima, indo em direção aos grandes centros urbanos. Isso resultará em aumento das áreas com altos riscos climáticos na região (LACERDA et al., 2014).

Enquanto a questão dos impactos das mudanças climáticas nas economias locais, no meio ambiente e nas estruturas políticas e sociais, não for equacionada o conhecimento científico evolui lentamente sobre suas causas e efeitos mitigatórios. Um desses efeitos é o das florestas tropicais estabilizando o clima (NOBRE et al., 2009).

### TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS E VARIABILIDADE HÍDRICA

Neste tópico foram levantados vários estudos de tendências climáticas e impactos da mudança do clima, principalmente no que diz respeito aos recursos hídricos no Nordeste do Brasil. Um dos principais impactos conhecidos do aquecimento global é a alteração do ciclo hidrológico em grande escala (PBMC, 2013). Essas alterações podem ser observadas pelo aumento do vapor d'água na atmosfera; alteração nos padrões de chuva (intensidade e frequência); redução dos glaciais e derretimento da cobertura de gelo, mudança no padrão da umidade do solo.

O Nordeste possui apenas 3 % de água doce. Em Pernambuco, existem apenas 1.320 litros de água por ano por habitante (MARENGO, 2008). A Organização das Nações Unidas (ONU) recomenda um mínimo de 2.000 litros. Segundo os relatórios do IPCC (MAGRIN et al., 2007) e do INPE (MARENGO et al., 2007; AMBRIZZI et al., 2007), o semiárido tenderá a tornar-se mais árido. Está previsto o aumento, frequência e intensidade das secas e, com impactos na redução da disponibilidade dos recursos hídricos, na vegetação, na biodiversidade e outras atividades que dependam dos recursos

naturais (MARENGO, 2008).

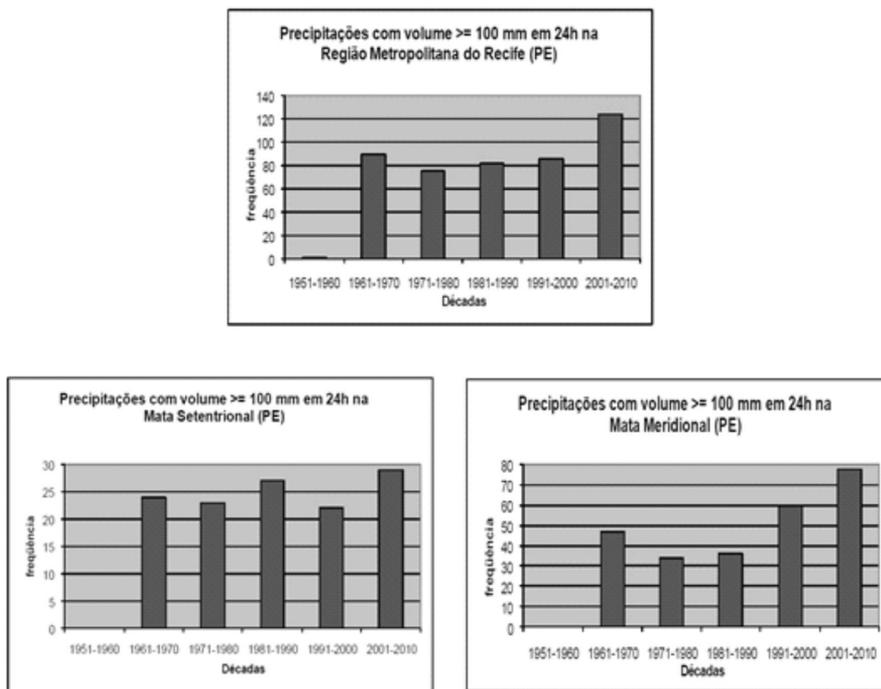
As mudanças climáticas ameaçam intensificar as dificuldades de acesso à água. A combinação das alterações do clima, na forma de diminuição da chuva acompanhada por extremos de temperatura e altas taxas de evaporação, além da alta competição pelos recursos hídricos, podem gerar uma crise sem precedentes. Nesse caso, os mais vulneráveis serão os agricultores e a população do semiárido no Nordeste do Brasil. Considerando um semiárido mais árido, as atividades humanas estarão comprometidas (MARENGO et al., 2011). Os impactos oriundos das alterações do clima sobre a água dos rios, lagos etc., agravam-se com crescimento populacional, mudança de atividade econômica, uso da terra e urbanização (PBMC, 2013).

Os cenários brasileiros indicam maior frequência e intensidade na ocorrência dos eventos extremos de curta duração, associados ao aquecimento global tais como secas, chuvas intensas, ondas de frio e calor, vendavais, furacões, inundações e ressacas (MARENGO et al., 2007). Observações históricas (Figura 9) mostram associação entre o aumento da temperatura do ar e das temperaturas do oceano com alteração na circulação geral da atmosfera contribuindo para a formação dos eventos extremos no setor leste de Pernambuco (LACERDA et al., 2010).

As modificações causadas pela ação humana sobre o planeta tem alterado a estrutura química da atmosfera e dos oceanos (NOBRE et al., 2008). O desmatamento e a irrigação também causam alterações no ciclo hidrológico. No caso do desmatamento há diminuição nos fluxos de vapor d'água para a atmosfera de aproximadamente 4 % (GORDON et al., 2005). O conhecimento da disponibilidade hídrica é importante para quantificar os impactos da mudança do clima, viabilizando a adaptação. A disponibilidade hídrica está associada a diversos setores econômicos, fazendo com que eventuais alterações climáticas aumentem as pressões antrópicas sobre o uso sustentável da água (BATES et al., 2008).

Estudos da Fundação de Desenvolvimento Sustentável (SALATI et al., 2009) mostraram que os cenários climáticos irão provocar redução de excedente hídrico em todas as grandes bacias brasileiras. Estudos de tendências em bacias hidrográficas do Nordeste brasileiro mostraram tanto o aumento quanto a redução das precipitações pluviométricas (SANTOS et al., 2009; MONCUNILL, 2006, LACERDA et al., 2009), no longo prazo.

**Figura 9.** Frequências das precipitações maiores do que 100 mm, ocorridas em 24 horas, na Região Metropolitana do Recife, Zona da Mata Setentrional e Zona da Mata Meridional de Pernambuco.



Fonte: Lacerda et al. (2010)

Lacerda et al. (2009a) mostraram que na microrregião do Pajeú, no Sertão de Pernambuco, há aumento dos dias secos, do tamanho médio dos veranicos e dos máximos veranicos. Além disso, as análises de tendências das séries pluviométricas evidenciaram que precipitações extremas estão aumentando. Para o Sertão de Pernambuco, Lacerda et al. (2009b) identificaram diminuição da precipitação em oito postos pluviométricos, no período de 1965 a 2004, instalados na área da bacia do Pajeú.

Marengo (2007a) mostrou que desde a década de 1970 há uma queda sistemática nas vazões do Rio São Francisco, utilizando as séries históricas de pluviosidade em Sobradinho. As variabilidades das precipitações e das vazões são mais significativas do que as tendências de aumento ou redução (SOUZA FILHO, 2003; MARENGO 2007b).

A região Nordeste possui como característica natural alto potencial para

evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas. Aumentos da temperatura do ar associados à mudança de clima, decorrente do aquecimento global, independente do que possa vir a ocorrer com o padrão de chuva, já seria suficiente para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evaporativa das plantas. A menos que haja aumento de chuvas, a água se tornará mais escassa (MARENGO et al., 2010; LACERDA et al., 2010; ASSAD et al., 2008). Reduções de volumes de chuvas aparecem na maioria dos modelos globais do IPCC AR5, até segunda metade do século XXI, com áreas mais secas e aumento do déficit hídrico (IPCC, 2013). Isso pode significar reduções nas vazões do rio São Francisco de 15-20 % (MARENGO et al., 2007).

Haylock et al. (2006) identificaram tendência de diminuição das chuvas anuais em localidades no Ceará, evidenciando que há de fato tendências que indicam que a diminuição das chuvas em grande parte do Nordeste brasileiro, está prevalecendo. Estudos posteriores para vários estados do Nordeste brasileiro mostraram tendência de diminuição em 27 localidades do Ceará, levando em conta a série histórica para período de 1974 a 2003 (MONCUNILL, 2006).

### MODELOS DE PREVISÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Os modelos globais de previsão climática são ferramentas para prever o clima passado, presente e futuro (PBMC, 2013). O uso de modelos tem sido a forma mais eficiente para explicar alterações do clima no planeta. A sua precisão depende da qualidade (quantidade e qualidade das séries históricas) dos dados de entrada e eficiência da capacidade de predição.

Uma das principais limitações dos modelos é a sua resolução espacial, que pode ser da ordem de centenas de quilômetros, deixando escapar detalhes importantes como, por exemplo, topografia, hidrologia, cobertura vegetal entre outros que acarreta erros nas simulações, impactando a qualidade das previsões em escala regional (NOBRE; MALAGUTTI, 2004).

A técnica utilizada para melhorar a resolução espacial dos modelos climáticos globais para escalas menores é a regionalização (*downscaling*) das projeções usando modelos climáticos regionais de maior resolução sobre a área de interesse. A técnica de regionalização tem sido usada para previsões sazonais de clima no CPTEC/INPE (Modelo Eta/CPTEC/CPTEC 20 40

e 80 km de resolução espacial), FUNCEME (modelo RSM), SENAMHI e IGP-Peru (modelos RSM e MM5) e USP (RegCM3). Experiências com utilização da técnica de regionalização ou *downscaling* para previsão de tempo e clima foram detalhadas em Ambrizzi et al. (2007). A utilização dessas técnicas tem permitido compreender melhor os processos dinâmicos e a física da atmosfera e dos oceanos, suas interações com os vários componentes do sistema climático e avanços têm sido feitos para a melhoria da qualidade das previsões de tempo e clima (CHOU et al., 2002; 2005; 2011; ALVES et al., 2004).

Segundo PBMC (2013), as incertezas nas projeções das mudanças do clima são inerentes ao sistema climático da terra, inicialmente devido às interações não lineares e complexidades próprias aos fenômenos naturais. Para diminuir essas incertezas fazem-se necessários múltiplos tratamentos em modelagem e observações aplicadas em conjunto. Embora na última década tenha havido melhorias nas projeções climáticas e ambientais, há níveis de incertezas cujas categorias são relativas aos cenários de emissões, à variabilidade natural do sistema climático e aos modelos climáticos propriamente ditos. Por outro lado, ainda que sejam usados os mesmos cenários de emissões, diferentes modelos produzem diferentes projeções das mudanças climáticas. Isso pode ser minimizado pela aplicação de conjuntos de simulações de modelos globais e regionais.

### COMENTÁRIO FINAL

Ações de adaptação às mudanças climáticas, tais como o aumento da capacidade de realizar previsões climáticas sazonais deve, obrigatoriamente, melhorar o conhecimento das pessoas para as novas realidades econômicas, naturais e sociais em nosso planeta. Para tanto, há de existir um programa massivo de investimento em educação integral para todas as pessoas.

É necessária uma mudança de paradigma, para que as gerações futuras, em retrospectiva aos dias atuais, percebam o atual momento como a transição de uma sociedade que exauria os recursos naturais para uma sociedade mais harmônica e coerente.

**REFERÊNCIAS**

ACEITUNO, P. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South-American Sector.1. Surface Climate. **Monthly Weather Review**, 116, 1988 505-524.

ALVES, J. M. B, REPELLI, C. A, MELLO, N. G. A pré-estação chuvosa do setor norte do Nordeste Brasileiro e sua relação com a temperatura dos oceanos adjacentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.8, p.22-30, 1993.

ALVES, L. M.; CHOU, S. C.; MARENGO, J. A. 2004: **Avaliação das previsões de chuvas sazonais do modelo Eta/CPTEC climático sobre o Brasil**. Proc. XIII Cong. Bras. de Meteorologia, Fortaleza, Brasil, (in CD-ROM), 2004.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENKO, I.; ALVES, L. M. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI**: Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas –SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e 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.

ARAGÃO, J. O. R. **A general circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño**. [s.l.]: National Center for Atmospheric Research, (NCAR Cooperative Thesis, 100), p. 144, 1986.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. **Aquecimento Global e a Nova Geografia da produção agrícola no Brasil**. EMBRAPA-CEPAGRI, São Paulo, agosto, 82 p, 2008.

BARROS, A. H. C. et al. **‘Climatologia das Estações Experimentais do IPA’**. Laboratório de Meteorologia e Recursos Hídricos de Pernambuco – LAMEPE, Recife, 1994, 137p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretária de Recursos Hídricos. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca**: PAN-BRASIL. Brasília, DF, 213 p, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21** - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992: Rio de Janeiro). Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996. 585p. Disponível em: [http://www.ambiente.sp.gov.br/agenda21/ indice.htm](http://www.ambiente.sp.gov.br/agenda21/indice.htm)> Acesso em 10 de dezembro de 2009.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional do Semiárido. **Plano Diretor do INSA**, 2008-2011. Brasília, DF, 2007. 70p.

CHOU, S. C.; TANAJURA, C. A. S.; XUE, Y.; NOBRE, C. A. Validation of the coupled Eta/CPTEC/SSiB model over South America. **Journal Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. Doi: 10.1029/2000JD000270, Oct. 2002. 34, 37. 2002

CHOU, S. C; BUSTAMANTE J. F.; GOMES, J. Evaluation of ETA model seasonal precipitation forecast over South America. **Nonlinear Process in Geophysics**, v.12, p. 537-555, 2005.

CHOU, S. C, MARENGO, J. A, LYRA, A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J.; ALVES, L. M.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs, **Climate Dynamics**. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8, 2011.

EARTH'S CO2 Home Page. [www.co2now.org](http://www.co2now.org); acesso em 07 jun 2015.

GIONGO, V. **Balço de Carbono no semiárido brasileiro: Perspectivas e Desafios** In: Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro. Editores: R. C. C. Lima, A. M. B. Cavalcante e A. M. P. Marin, Instituto Nacional do Semiárido - INSA, pp 115-130, ISBN: 978-85-64265-02-8, 2011.

GORDON, L. J. et al. Human modification of global water vapor flows from the land surface. **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.** 102, 7612–7617, 2005.

HAMEED, S. K. R.; MEINSTER, A. Teleconnections of the Southern Oscillation in the tropical Atlantic sector in the OSU coupled upper ocean-atmosphere GCM, **J. Climate**, 6, 487–498, 1993.

HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L. Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies. **J. Climate**, v. 6, p. 743-758, 1993.

HASTENRATH, S. Interannual and Longer-Term Variability of Upper Air Circulation in the Northeast Brazil - Tropical Atlantic Sector. In: **J. Geophys Res.**, n.105, p. 7327-7335, 2001.

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **J. Climate**, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

INFOCLIMA, **Boletim de Informações Climáticas do Estado de Pernambuco**. Ano VI, No 02, 2001 e Ano VII, No 02, 2002.

IPCC-INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policymakers**. In: *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE / Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. **Revista Climanálise**. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>, 2006. Acesso em: 08 de julho. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE / Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC [http://pmtcrh.cptec.inpe.br/livro/nucleo\\_pernambuco.shtml](http://pmtcrh.cptec.inpe.br/livro/nucleo_pernambuco.shtml). Acesso em: 08 de julho, 2014.

KAYANO, M. T; OLIVEIRA C.P.; ANDREOLI R. V. Interannual relations between South American rainfall and tropical sea surface temperature anomalies before and after 1976. **International Journal of Climatology**, v.29, p.1439-1448, 2009.

KOUSKY, V. E. The global climate for December 1986-February 1987: El Niño returns to the Tropical Pacific. **Mon. Wea. Rev.**, v.115, p.2822-2838, 1988.

LACERDA, F. F. et al.; **Um Estudo de Detecção de Mudanças Climáticas no Semi-árido de Pernambuco** In: III Simpósio Internacional de Climatologia, Canela-RS, 2009.

LACERDA, F. L.; VIEIRA DE MELO, A. V. P.; SOARES, D. B. **Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia do Pajeú – PE: Mudanças climáticas ou variabilidade?** In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande-MT. Anais, CD ROM, 2009a.

LACERDA, F. F. et al.; **Deteção de sinais de mudanças climáticas para algumas localidades do Sertão do Pajeú – PE.** Anais do XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 22 a 25 de Setembro de 2009.

LACERDA, F. F.; SILVA JÚNIOR, H. D. da, ASSAD, E. D., ASSIS, J. M. O., MOURA, M. S. B. **Extremos e variabilidade climática no Nordeste brasileiro e em Pernambuco In: Mudanças Climáticas e Impactos Ambientais / organizador Josiclea Domiciano Galvíncio – Recife: Ed. Universitária da UFPE, 342 p. 1-23, 2010.**

LACERDA, F. F.; LOPES, G. M. B.; NOBRE, P.; SOBRAL, M. C. **O Clima e suas Alterações em Pernambuco In: Mudanças Climáticas e Resiliência de Cidades / organizadores Fátima Furtado, Luiz Priori, Ednéa Alcântara – Recife: Pickimagem, 61-72, 2015. ISBN 9788569110002 253p.**

LACERDA, F. F.; NOBRE, P.; SOBRAL, M. C.; LOPES, G. M. B.; CHAN, C. S. BRITO, E. Long term climate trends over Nordeste Brazil and Cape Verde. **Journal of Earth Science & Climatic Change.** 2015 (em submissão)

MAGALHÃES, et al. The effects of climate variations on agriculture in Northeast Brazil. In: **The Impact of Climate Variations on Agriculture.** Vol 2. Assessments in Semi-Arid Regions. Eds. M. Parry, T. Carter, N. Konijn. Kluwer Academic Publishers, pp. 277-304, 1988.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; ALVES, L.; NOBRE, C. A.; PISNITCHENKO. I. **Atlas de Cenários Climáticos Futuros do Brasil.** Cachoeira Paulista, SP: CPTEC - INPE, 2007. 124p.

MARENGO, J. A. **Caracterização do Clima no século XX e Cenários no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos de Clima do IPCC.** Relatório No.1. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2007a. 181 p

MARENGO, J. A. Cenários de Mudanças Climáticas para o Brasil em 2100. **Ciência & Ambiente**. v.34, p.100-125, 2007b.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. In: **Estudos Avançados**. 22 (63), p.83-96. 2008.

MARENGO, J. A., CHOU, S. C.; BETTS, R.; KAY, G.; ALVES, L. M.; TORRES, R.; SANTOS, D. Development of regional climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Part 1. Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins, Climate Dynamics, 2010.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BEZERRA, E. A.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro** In: Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. 1 ed. Campina Grande. Instituto Nacional do Semiárido, v.1, p. 383-416, 2011.

MARKHAM, C. G. and MCLAIN D. R. Sea surface temperature related to rain in Ceará, northeastern Brazil. **Nature**, 265, 320-325, 1977.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília, DF, 134 p, 2007

MONCUNILL, D. F. **The rainfall trend over Ceará and its implications**. In 8ª Conferência Internacional de Meteorologia e Oceanografia do Hemisfério Sul, Foz do Iguaçu, Abr. 2006, pp. 315-323, 2006

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D. **Aquecimento Global e o Impacto na Amazônia e na Agricultura Brasileira**. - INPE Eprint: Disponível em: <http://www.sid.inpe.br/ePrint@80/2005/09.12.12.51> v.1, 2005.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. **Cenários de Mudança Climática para a América do Sul para o Final do Século 21**. In: Parcerias Estratégicas. Mudança do Clima no Brasil: Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. CGEE. Número 27. pp: 19-42. Brasília, DF. 2008.

NOBRE, P. **On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the tropical Atlantic basin**. Ph.D. Dissertation, University of Maryland at College Park, 151 pp, 1993.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climatology**, v.9, p. 2464-2479, 1996.

NOBRE, P.; MALAGUTTI, M. **Uma avaliação do modelo de circulação geral do CPTEC para estudos de modelagem acoplada oceano-atmosfera**. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, Brasil, 2004.

NOBRE, C. A.; CITEAU J.; UVO, C. R. B.A note on ITCZ migration in the tropical Atlantic and rainfall anomalies in Northeast Brazil. Unpublished manuscript, 1989.

NOBRE, P. **On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the tropical Atlantic basin**. Ph.D. Dissertation, University of Maryland at College Park, 151 pp, 1993.

NOBRE, P.; ZEBIAK, S. E.; KIRTMAN, B, P. Local and remote sources of tropical atlantic variability as inferred from the results of a hybrid ocean-atmosphere coupled model: Special section: Climate variability and predictability/tropical Atlantic variability (CLIVAR). **Geophysical research letters**, 2003.

NOBRE, P.; MALAGUTTI, M.; URBANO, D. F.; ALMEIDA, R. A. F. de; GIAROLLA, E. Amazon deforestation and climate change in a coupled model simulation. **J. Climate**, 22, 5686-5697, 2009.

NOBRE, P. et al. Climate simulation and change in the Brazilian Climate Model. **J. Climate**, 26, 6716-6732, DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00580, 2013.

OYAMA, M. D., NOBRE, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical. Res. Letters**, v. 30, n. 23, p.2199-2203, 2003.

OYAMA, M. D. e NOBRE, C. A. Climatic consequences of a large-scale Desertification in Northeast Brazil: A GCM Simulation Study. **J. Climate**, 17, p.3203-3214, 2004.

PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p, 2013.

PNMC - PLANONACIONAL SOBRE MUDANÇA CLIMÁTICA. GOVERNO FEDERAL COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007. Brasília, 125 p. 2008.

PERNAMBUCO. **Lei nº 14.090 de 17 de julho de 2010**. Dispõe sobre a Política Estadual de Mudanças Climáticas. 2010. Disponível em: <http://www.semas.pe.gov.br/web/semas/legislacao>. Acesso em 23 de julho 2014.

PERNAMBUCO. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Semas). **Plano Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC)**. Pernambuco, PE, 2011. 65 p.

RAO, V. B.; LIMA, M. C. FRANCHITO, S. H. Sesonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. **J. Climate**, v.6, p.1754-1763. 1993.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillations. **Rev. Mon. Wea**, v.115, p. 1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. **J Climate**, v. 2, p. 268-284, 1989.

SÁ, I. B., FOTIUS, G. A., RICHÉ, G. R. Degradação ambiental e reabilitação natural no Trópico semi-árido brasileiro In: Conferência Nacional e Seminário Latino Americano da Desertificação, 1994, Fortaleza, CE. Anais... Brasília. DF: SEPLAN, 1994.

SARAVANAN, R.; CHANG, P. Interaction between Tropical Atlantic variability and El Niño-southern oscillation. **J Climate**, v.13, n.13, p. 2177-2194, 2000.

SALATI, E.; SCHINDLER, W.; VICTORIA, D. C.; SOUZA, J. C. S.; VILLA NOVA, N. A. **Economics of climate change in Brazil**: estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015-2100), 89 p, 2009.

SANTOS, C. A. C., BRITO, J. I. B., RAMANA RAO, T. V., MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 39-47, 2009.

SOUZA FILHO, F. A. Variabilidade e mudanças de clima no semi-árido. Clima e Recursos Hídricos. Editores. C. Tucci e B. Braga. **Coleção ABRH** Vol. 9, Porto Alegre, RS, pp. 77-1, 2003.

STERN, N. **Review on the Economics of Climate Change**. London: HM Treasury, 2006. Disponível em: <http://www.sternreview.org.uk>.

STERN, N. **The Economics of Climate Change: The Stern Review**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.

TRENBERTH, K. E. Development and forecast of the 1997-98 El Niño. **CLIVAR scientific issues**. **CLIVAR-Exch**, v.3, p. 4-14, 1998.

TRENBERTH, K. E. et al. **Observations: Surface and Atmospheric Climate Change**. In: Solomon, S. D. et al. (Ed.) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, New York: Cambridge University Press, 2007.

UVO, C. R. et al. The relationship between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. **J. Climate**, v.11, p.551– 562, 1998.