

AVALIAÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL

Flaviano Fernandes Ferreira¹; José Maria Brabo Alves²

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi detectar tendências no padrão das temperaturas máximas e mínimas e da precipitação, no período de 1974 a 2011, em Arcoverde-PE, através do software RCLimdex (2.14.0), com propósito de dar suporte aos estudos das incertezas relacionadas as mudanças climáticas visando sua gestão. Foram utilizados dados diários de temperaturas (máximas e mínimas) e precipitação, no período de 1974 a 2011. Os resultados evidenciaram aumento das temperaturas máximas e mínimas, com aumento de ondas de calor na região. Com base nesses resultados é possível inferir que a área em estudo está ficando mais quente, o que indica que é cada vez mais forte a tendência de mudança e não de variabilidade. Apesar destas alterações, não se pode afirmar que as tendências de aumento destes índices estão relacionadas apenas às mudanças climáticas globais, pois as contribuições de vários fatores a nível local podem ter modificado o clima da região, como exemplo, a substituição de áreas vegetadas por asfaltos, indústrias, entre outros elementos, contribuindo para a formação de ilhas de calor e alteração do clima local.

Palavras Chave: Temperatura do ar, precipitação, índices climáticos

AN ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IN SEMI ARID OF NORTHEASTERN BRAZIL

ABSTRACT

The objective of this work was to detect trends in pattern of maximum and minimum air temperatures and precipitation for the period from 1974 to 2011, at Arcoverde-PE, Brazil, through the RCLimdex (2.14.0) software, with the purpose of giving support to studies of uncertainties surrounding the management of the climate change. We used data daily temperatures (maximum and minimum) and rainfall during the period from 1974 to 2011. The results showed an increase in maximum and minimum air temperature with the development of heat waves in the study region. Based in these results it is possible to conclude that the study area is becoming warmer with tendency more to climatic change than climatic variability. However, it is not possible to say that these observed climatic indexes tendencies are only related to global climatic changes, once the contribution of several local factors may have modified the regional climate. For instance, the substitution of vegetated areas by asphalt, industries, among others surface covering elements may contributed to the formation of heat waves and altered the local climate.

Key words: Air Temperature, Rainfall, climatic indexes

¹ Graduado em meteorologia e mestre em oceanografia pela Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A). E-mail: flavianoff@bol.com.br.

² Professor Doutor do Departamento de Física/Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE. E-mail: brabo@funceme.br.

1. INTRODUÇÃO

Nosso sistema climático terrestre é caótico, o qual exhibe alguns padrões preferenciais de variabilidade. Como exemplo destes modos cita-se: Oscilação do Ártico, El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Multi-Decadal do Oceano Atlântico, a oscilação Decadal do Oceano Pacífico (PDO). Em função desta característica caótica, uma dificuldade é diferenciar em um sistema dinâmico o que é uma variação climática, associado a estes modos preferenciais, e o que se define como mudanças climáticas e como estas afetam as condições climáticas de uma região. Segundo o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change-Fourth Assessment Report IPCC-AR4 (Bersntein et al. 2007) mudança climática é qualquer mudança no clima ao longo do tempo devido à variabilidade natural ou decorrente da atividade humana. Este conceito difere do da Convenção das Nações Unidas sobre mudanças do clima, a que denota a mudança climática atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, com alterações na atmosfera global, adicional a variabilidade natural do clima observada ao longo de períodos comparáveis de tempo. (IPCC-AR4, 2007).

A cidade de Arcoverde é localizada no Sertão do Moxotó no estado de Pernambuco, com as seguintes

coordenadas geográficas: 08° 25' 15" S e 37° 03' 41" W. O município está incluído na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro, definida pelo Ministério da Integração Nacional em 2005. Esta definição tem como critérios o índice pluviométrico, o índice de aridez e o risco de seca.

Nos últimos anos, a discussão sobre as variações climáticas e possivelmente as mudanças no clima tem despertado preocupação não apenas da comunidade científica internacional e nacional, como também dos governantes e da sociedade de maneira geral. E toda esta preocupação está associada aos impactos das mudanças climáticas sobre o meio ambiente e as diversas atividades humanas no globo terrestre, e principalmente, aos efeitos dos extremos climáticos que se tornam mais frequentes, através da divulgação dos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC.

O 4º Relatório do IPCC (2007) mostra que nos últimos 100 anos vem acontecendo um progressivo aumento na concentração dos GEE (gases de efeito estufa) na atmosfera, sendo provocado, principalmente pelas atividades antrópicas. Segundo o IPCC (2007), para as próximas duas décadas, projeta-se um aquecimento de cerca de 0,2°C por década para uma faixa de cenários de emissões do RECE

(Relatório Especial sobre Cenários de Emissões). Mesmo que as concentrações de todos os gases de efeito estufa e aerossóis se mantivessem constantes nos níveis do ano 2000, seria esperado um aquecimento adicional de aproximadamente 0,1°C por década. Até meados do século XXI, projeta-se que a vegetação semiárida tenderá a ser substituída por vegetação de terras áridas. Nas áreas mais secas, prevê-se que a mudança do clima acarrete a salinização e a desertificação das terras agrícolas.

No Brasil, a temperatura média aumentou aproximadamente 0,75 até o final do Século XX, considerando a normal climatológica (1961-1990) de 24,9 (Marengo et al., 2007).

Segundo Pinto et al. (2003), o Brasil com sua extensa dimensão continental caracteriza-se por uma considerável heterogeneidade climática, tipos de solo e topografia que imprimem condições favoráveis e desfavoráveis ao desenvolvimento de determinadas culturas. Considerando-se os prognósticos futuros de aumento das temperaturas pode-se admitir que, nas regiões climatologicamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas, a anomalia positiva que venha a ocorrer será desfavorável ao desenvolvimento vegetal.

Estudos recentes sobre mudanças climáticas regionais mostram aumento do total anual de precipitação sobre o NEB (Haylock *et al*, 2006). Santos e Brito (2007) mostraram tendência de aumento no total da precipitação anual nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. A maioria desses estudos utiliza as análises das séries históricas de temperatura e precipitação para identificar tendências temporais para caracterização e identificação da mudança do clima local. Simulando os modelos do Hadley Centre, Lucena *et al* (2009) mostraram o importante impacto que o possível aumento de temperatura causará na oferta hidroenergética no Brasil, nos próximos 50 anos.

Salienta-se, ainda, que a mudança climática global pode ser intensificada localmente pelas mudanças regionais. Por exemplo, a construção de um grande reservatório de água gera um microclima em seu entorno. As grandes metrópoles geram ilhas de calor que modificam o seu clima, práticas agrícolas inadequadas podem gerar degradações de vastas áreas podendo vir a modificar o clima local (Ayoade, 1996).

É importante não esquecer que as atividades antrópicas sobre o meio ambiente, como os desmatamentos e queimadas, diminuição da vegetação, aumento de indústrias, prédios, veículos,

asfalto das ruas, entre outros, provocam mudanças muito profundas na atmosfera local, modificando também a temperatura e interferindo na distribuição das chuvas na região. A cidade é um grande modificador do clima, pois, observa-se que a camada de ar mais próxima ao solo é mais aquecida nas cidades do que nas áreas rurais (Xavier et al., 2009). Assim, a área urbana tem formas complexas como prédios e ruas, que alteram tanto a quantidade de calor absorvido no local como a direção e a velocidade dos ventos.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) atribui à modificação do clima 2,4% dos casos de diarreia e 2% dos de malária em todo o mundo. Esse quadro pode ficar ainda mais sombrio: alguns cientistas alertam que o aquecimento global pode se agravar nas próximas décadas e a OMS calcula que para o ano de 2030 as alterações climáticas poderão causar 300 mil mortes por ano.

Vários estudos em áreas urbanas revelam uma associação entre o aumento da mortalidade e do calor, medida quer pela temperatura máxima ou mínima, por índices de calor e, por vezes, por outras condições meteorológicas. Efeitos na saúde parecem estar associados à exposição do corpo humano a temperaturas elevadas e prolongadas acima das quais a população está habituada (Mcgeehin e Mirabelli,

2001). A análise de vários períodos de ondas de calor sugere que episódios de longa duração e de temperaturas elevadas têm um maior efeito na mortalidade (Hajat et al., 2002).

Algumas doenças podem proliferar nas próximas décadas, pois o aumento das chuvas e das temperaturas favorece os agentes e vetores de doenças infecciosas endêmicas, como febre amarela, dengue, malária, leishmanioses, diarreias infecciosas, cólera, leptospirose, hepatite A e outras. Os fatores climáticos podem acelerar os ciclos infecciosos e facilitar a dispersão espacial dos agentes microbianos e de seus transmissores

No Brasil, dependendo do cenário de emissão de gases na atmosfera os aumentos de temperatura são estimados em torno de 1°C a 6°C, o que deverá aumentar a evaporação à superfície e, por sua vez alterações no balanço hídrico da vegetação natural e das culturas agrícolas (IPCC, 2007). Esse efeito deve ser mais negativo em regiões onde predominam a agricultura de sequeiro; a não ser que o aumento de temperatura seja acompanhado de aumento e/ou regularização no regime de chuvas.

O Nordeste do Brasil (NEB) atravessa ao longo dos anos por uma variabilidade natural do clima, alternando anos de chuvas extremas a secas severas (Nobre et al. 1996; Moura & Shukla, 1991;

Alves et al. 2003; Sun et al. 2005 e outros) que associada à ação antropogênica pode mudar totalmente as características do clima de uma determinada região. Estudos regionais de temperatura na América do Sul mostram uma tendência de aquecimento, notadamente com noites mais quentes do que em períodos anteriores (Haylock et al., 2006, Collins et al. 2009). Para precipitação estudos de tendência mostraram resultados largamente conflitantes devido ao uso de diferentes períodos e a pouca densidade de dados observacionais (Wilby, 2008).

Evidências globais têm mostrado variações climáticas de precipitação e uma tendência positiva de aumento de temperatura relacionada com o aquecimento global (Gemmer et al. 2004; Endo et al. 2005; Qin et al. 2005, Dang et al. 2007). A questão de variações interdecadais de características climáticas desérticas a semidesérticas tem sido muito observada na Ásia, nos desertos de Taklamakan e Gobi (Kim et al. 2008). Na região do semi-árido do Nordeste brasileiro, Krol & Bronstert (2007) identificaram tendência significativa de redução nas vazões do Rio Jaguaribe após 2025, considerando cenário de redução de 50% da precipitação nas próximas cinco décadas. Para um cenário de redução de 21% da precipitação, estes autores não

encontraram tendência significativa de alteração da vazão.

Segundo o *IPCC-AR4*, a grande incerteza de como a precipitação deverá variar no setor nordeste da América do Sul. Esta se deve a falta de sensibilidade das projeções dos modelos acoplados oceano-atmosfera em simular a amplitude e frequência dos eventos ENOS. Além disso, nas projeções do *IPCC-AR4* não foram incluídas as trocas no ciclo do carbono no sistema atmosfera-oceano e a influência nas variações da vegetação e uso do solo que devem afetar o clima regional.

Vicente et al. (2005) com dados observados sobre o Brasil e América do Sul mostraram em seus resultados mais relevantes que houve uma tendência positiva de aumento das temperaturas mínimas sobre o Nordeste do Brasil, indicando noites mais quentes do que observadas em anos passados. Dufeck et al. (2008) sugeriu que as re-análises do *NCEP/NCAR* podem ser usadas para estudos de temperaturas mínimas na área do Brasil Tropical. Em seus resultados foi evidente uma tendência de aumento de dias consecutivos de mínimas temperaturas em várias células de grade sobre o Brasil. As discrepâncias entre as observações, segundo Dufeck et al. (2008), devem-se a ineficiência do modelo usado nas re-análises em representar os processos

físicos da interação superfície-atmosfera, a resolução espacial e outros processos como discutidos em Cai e Kalnay (2005).

Collins et al. (2009) mostraram uma análise entre 1948-2007 para a temperatura do ar a 2 metros de altura usando dados de re-análises do *NCEP/NOAA* para a América do Sul. Seus resultados mostraram que em média a temperatura do verão (dezembro a janeiro) sobre grande parte da América do Sul oscilou entre 21°C e 24°C entre 1948-1975 e após este período a temperatura esteve acima de 24°C. Na estação de inverno austral (junho a agosto) as temperaturas recentes são mais quentes na região tropical da América do Sul, e para o Nordeste do Brasil este aquecimento é mais pronunciado. Para o período de 2001-2007 no verão a diferença deste período para os períodos de 1948-2007 e 1976-2007 foi acima de 1,2°C.

Dai (2006) mostrou um estudo de análise observacional e de modelagem de temperatura e umidade atmosférica usando 1500 estações de observações a superfície ao longo do globo. Sobre os trópicos este estudo mostrou que a umidade específica é altamente controlada pela variação da temperatura, oscilando com valores de 17 a 19 g/kg. Para o Hemisfério Norte no período de 1974-2006 a tendência é positiva e significativa estatisticamente de

umidade específica e temperatura com valores de 0,06 g/kg e 0,16°C por década. No hemisfério sul embora as tendências também observadas tenham sido positivas estas não foram estatisticamente significativas. As recentes tendências de umidade e temperatura foram capturadas pela modelagem dinâmica, entretanto o modelo superestimou o resfriamento atmosférico provocado pela influência vulcânica e as tendências no hemisfério sul (Dai, 2006).

Usando dados das saídas dos modelos do *IPCC-AR4*, Vera et al. (2006), comparou os resultados destes modelos para o chamado clima presente (1970-1999), e uma simulação de clima futuro, onde as emissões de gases do efeito estufa estariam estabilizadas a 720 ppm (2070-2099). Os modelos foram capazes de representar as principais características da distribuição pluviométrica sobre a América do Sul. Porém, estes não capturam os máximos de precipitação associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e no Sudeste deste continente. Com relação as trocas de precipitação entre 1970-1999 e 2070-2099 houve um consenso nos modelos com as seguintes características: Um aumento da chuva no verão no setor sudoeste da América subtropical, uma redução da precipitação na estação de inverno em grande parte do

continente e uma redução da precipitação em todas as estações do ano ao longo do setor sul dos Andes.

É importante ressaltar que o fenômeno ENOS e o dipolo de temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico tropical têm significativas influências na variabilidade climática interanual do NEB. Vários estudos na literatura têm mostrado que em anos de El Niño (La Niña) o NEB apresenta mais (menos) precipitação anual do que a climatologia (Ropelewski & Halpert, 1996 e outros). Em geral, anos de El Niño (La Niña) estão associados com as fases positivas (negativas) do padrão de dipolo de TSM. A fase positiva deste padrão caracteriza-se com anomalias de TSM positivas (negativas) de TSM nos setores norte (sul) do Atlântico tropical, e também com ventos e pressão ao nível do mar com anomalias negativas (positivas) nestas duas áreas da bacia. Em anos da fase negativa do dipolo de TSM, estas características são contrárias (Moura & Shukla, 1981; Hastenrath, 1990; Nobre & Shukla, 1996). Nas fases positivas (negativas) do dipolo de TSM a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) se posiciona, em média, em latitudes mais ao norte (sul) do que a sua posição climatológica provocando menos (mais) chuvas do que a climatologia. Outro fenômeno ligado ao ciclo ENOS é a PDO

(Zhang et al. 1997). A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) é um modo de interação do oceano-atmosfera na bacia do oceano Pacífico dominante acima da escala interanual (Zhang et al. 1997; Mantua et al. 1997). A ODP influencia na distribuição de chuva do NEB como mostrado no estudo de Kayano et al. (2009).

Análises mais recentes sugerem que a frequência de chuvas intensas tem aumentado sobre a América do sul como um todo (Marengo & Ambrizzi, 2006; Wilby, 2008). O Nordeste do Brasil e a Amazônia são as regiões onde é esperado ocorrer o mais rápido aquecimento, maior que a média global, durante o século 21 com um intenso aquecimento simulado durante os meses de verão na maior parte das suas áreas continentais. Dependendo do modelo, o aquecimento médio projetado para América do Sul para o final do século 21 será da ordem de 1° C a 4°C para os cenários de baixas emissões (B2) ou 2°C a 6°C para os cenários de emissões mais altas (A2).

Marengo et al. (2009) apresentaram um estudo usando modelagem regional com o PRECIS (Providing Regional Climate for Impacts Studies) comparando extremos de precipitação e temperatura sobre a América do Sul em um passado recente (1961-1990) e no futuro (2070-2100) usando as saídas de modelos do

IPCC-SRES para os cenários de emissões de gases de efeito estufa A2 e B2. Seus resultados mostraram que a modelagem representa bem o clima recente da distribuição de extremos de precipitação e temperatura quando comparados as observações, mas próximo da realidade com a temperatura. Para o clima futuro, os resultados mais relevantes, dizem respeito a um aumento de noites quentes e uma diminuição das noites mais frias em toda a América do Sul. Quanto aos extremos de precipitação é projetado um incremento destes eventos no sudeste da América do Sul e Amazônia consistente com uma tendência no aumento no total de chuvas nesta região. No NEB e Amazônia Oriental não foram observadas trocas climáticas significativas, ressalta-se um aumento no número de dias secos consecutivos.

Outro estudo interessante foi desenvolvido por Marengo et al. (2009) usando as saídas do modelo HadAM3P com cenário A2 para alimentar três modelos regionais para comparar o clima presente (1961-2000) com a projeção futura advinda do downscaling dinâmico para o período (2070-2100). Este estudo faz parte do projeto chamado CREAS (Cenários Regionalizados de Clima Futuro da América do Sul). Os resultados mostraram para o clima presente que os modelos conseguiram representar as

características da circulação, precipitação e temperatura sobre a América do Sul. Para o NEB há uma projeção de deficiência de chuva para o clima futuro e um aumento da temperatura capturada pelos resultados dos três modelos usados. Nas estações de verão e inverno austral os resultados mostraram um aumento da temperatura do ar (redução da precipitação) da ordem de 4°C-6°C (menos 3 mm/dia) em áreas sobre o NEB.

Um dos maiores problemas nos estudos de extremos climáticos é conseguir uma série histórica de dados diários suficientemente consistente para que haja uma real caracterização e confirmação, ou não, de tendências positivas ou negativas desses eventos.

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou a detecção de um estudo para averiguar se existe uma tendência de mudanças climática com as temperaturas máximas e mínimas, e a precipitação no período de 1974 a 2011, na cidade de Arcoverde.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram analisados os dados diários das temperaturas máxima e mínima e da precipitação da estação convencional de superfície da cidade de Arcoverde no estado de Pernambuco, entre os anos de 1974 a 2011, pertencente ao Instituto

Nacional de Meteorologia (INMET). A característica geográfica da estação é 8,41 S e 37,08 W e uma altitude de 680,7 m.

Para detectar tendências climáticas, utilizou-se o software RCLimdex 2.14.0 para o processamento dos dados. O RCLimdex é um programa usado no cálculo de índices de extremos climáticos para monitorar e detectar mudanças climáticas. O RCLimdex foi desenvolvido por Byron Gleason do National Climate Data Centre (NCDC) da NOAA, e tem sido usado em oficinas CCI/CLIVAR (International Research Programme on Climate Variability and Predictability) sobre índices climáticos desde 2001. O pacote RCLimdex 2.14.0, é de distribuição gratuita e está disponível para download no sítio

<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>.

Alguns pesquisadores como Santos e Brito (2009 e 2007), Silva e Azevedo (2008) utilizaram a ferramenta para monitorar tendências climáticas em alguns Estados da região Nordeste do Brasil.

A tabela 1 mostra os índices climáticos anuais utilizando o software Rclimdex 2.14.0. Devido a grande quantidade de dados faltosos (mais de 20%) não foi possível utilizar o Rclimdex para calcular o WSDI, TX90p, TN90p e o R95p. Calculou-se em uma planilha Excel esses percentis para os anos que continham mais de 80% dos dados anuais das médias diárias das temperaturas máxima e mínima.

Tabela 1 - Descrição dos Índices Climáticos Anuais

Índice	Nome do Indicador	Descrição	Unidade
DTR	Amplitude Diária de Temperatura	Diferença média mensal entre temperatura máxima e mínima.	°C
TXx	Máximo da Temperatura Máxima	Valor mensal máximo da temperatura máxima diária.	°C
TNx	Máximo da Temperatura Mínima	Valor mensal máximo da temperatura mínima diária.	°C
TX90p	Dias Quentes	Contador de dias com temperatura máxima acima do percentil 90.	DIAS
TN90p	Noites Quentes	Contador de dias com temperatura máxima acima do percentil 90.	DIAS
RX5day	Quantidade Máxima de Precipitação em 5 dias	Máximo anual de precipitação em 5 dias	mm
R90p	Dias Muito Úmidos	Precipitação anual total superior ao percentil 95.	mm
WSDI	Ondas de Calor	Número de dias do ano, com pelo menos seis dias consecutivos, quando a temperatura máxima é maior que o percentil 90.	DIAS

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das tendências temporais dos índices de extremos climáticos para a localidade de Arcoverde estão representados na Tabela 2. A maioria dos índices demonstrou tendências de aumento (valor da inclinação positiva) estatisticamente significativas. A propósito a Tabela 1 mostra os valores da inclinação

linear dos índices analisados, do erro padrão de estimativa e da sua significância estatística (valor p). Os índices com alta significância estatística apresentaram valor de $p < 0,05$ (marcado em negrito), com boa significância estatística valores entre $0,05 < p < 0,1$. Os valores com $p > 0,1$ não apresentam significância estatística.

Tabela 2 - Inclinação linear e erro padrão de estimativa e da significância estatística (valor p) dos índices de temperatura para Arcoverde-PE, de 1974 a 2011.

Índices	Inclinação	Erro Padrão	Valor-p de estimativa
TXx	0,0085	0,079	0,549
TNx	0,0569	0,183	0,002
TX90p	0,5202	3,559	ND
TN90p	0,3769	3,819	ND
RX5day	0,7259	1,173	0,221
DTR	- 0,0031	0,023	0,862

O índice dos máximos valores das temperaturas máximas diárias (TXx) apresentou grande variabilidade interanual, com pequena tendência de aumento das temperaturas máximas, em torno de 0,3 °C por ano, no período de 1974 a 2011 (Figura 1). Os três anos que apresentaram os maiores registros foram: 1997, 2002 e 2008 todos apresentaram um valor de 36,0 °C. O fenômeno El Niño de 1997/98 apresentou praticamente a mesma

intensidade de 1983, sendo que a sua formação foi a mais rápida de todos os episódios mais recentes. A década de 90 foi considerada a mais quente do século (Marengo et al, 2007). Os meses onde ocorreram os valores mensais máximos da temperatura máxima diária foram: janeiro (8), fevereiro (6), março (3), outubro (2), novembro (10) e dezembro (9), que representam os meses das estações de primavera e verão no hemisfério sul. A

média climatológica do valor mensal máximo da temperatura máxima foi de 35,3 °C. Os anos de 1999 (34,2 °C), 1974 e 2001, com 34,4 °C, 1975 e 2009, com 34,6 °C, 1976 com 34,8 °C e 1982 e 1996, com 34,9 °C foram os anos que apresentaram os menores índices dos máximos. Em geral, a maioria desses anos coincide com anos de

La Niña. Durante os episódios de La Niña, os ventos alísios ficam mais intensos que a média climatológica, transportando mais umidade do oceano Atlântico para o semiárido nordestino, favorecendo com chegadas das frentes frias ao nordeste (Marengo e Ambrizzi, 2006).

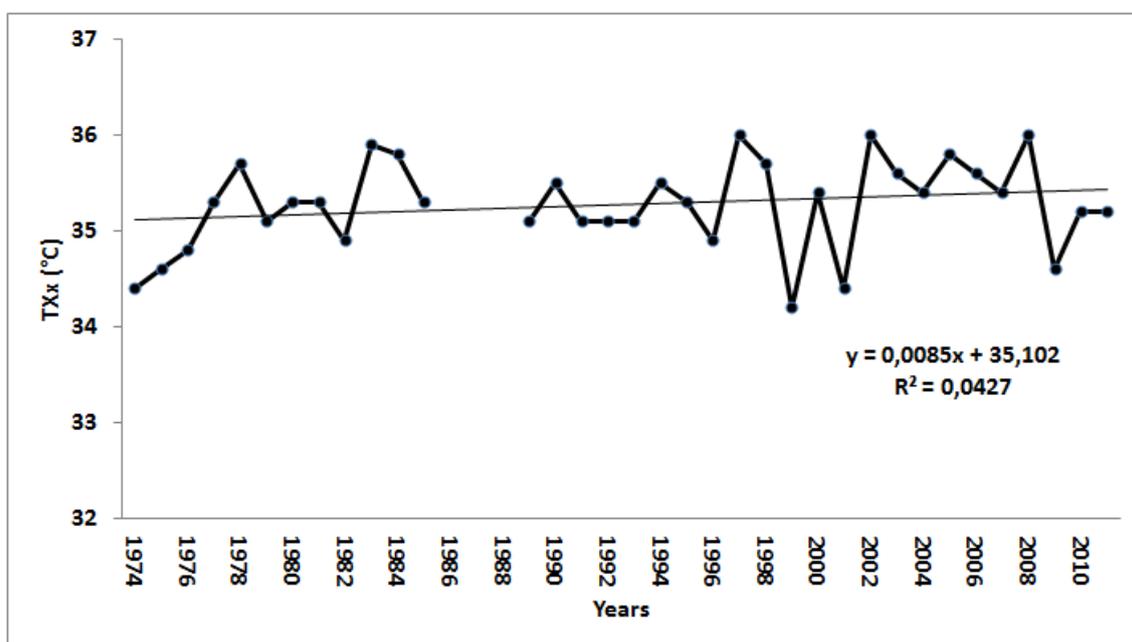


Figura 1 - Comportamento temporal do índice dos máximos das temperaturas máxima (p-value = 0,549).

A Figura 2 representa o índice dos máximos valores das temperaturas mínimas diárias (Tnx). Estes índices apresentaram uma tendência com um aumento anual de 2,0 °C no período estudado. Os meses onde ocorreram o valor mensal máximo da temperatura mínima diária foram: janeiro (7), fevereiro (5), março (8), abril (1), outubro (3),

novembro (4) e dezembro (9). No início da década de 2000 verificou-se uma elevação significativa, com registros acima de 24,0 °C nos anos de 2000, 2002, 2004 e 2005, representando em média 1,8 °C acima da climatologia. A média climatológica do valor mensal máximo da temperatura mínima foi de 22,5 °C. Os estudos de Haylock et al., (2006) e Vicent et al., (2005) mostraram no Workshop on

Enhancing South America - Climate Change Monitoring and Índices um aumento das fortes chuvas e das

temperaturas mínimas sobre a América do Sul.

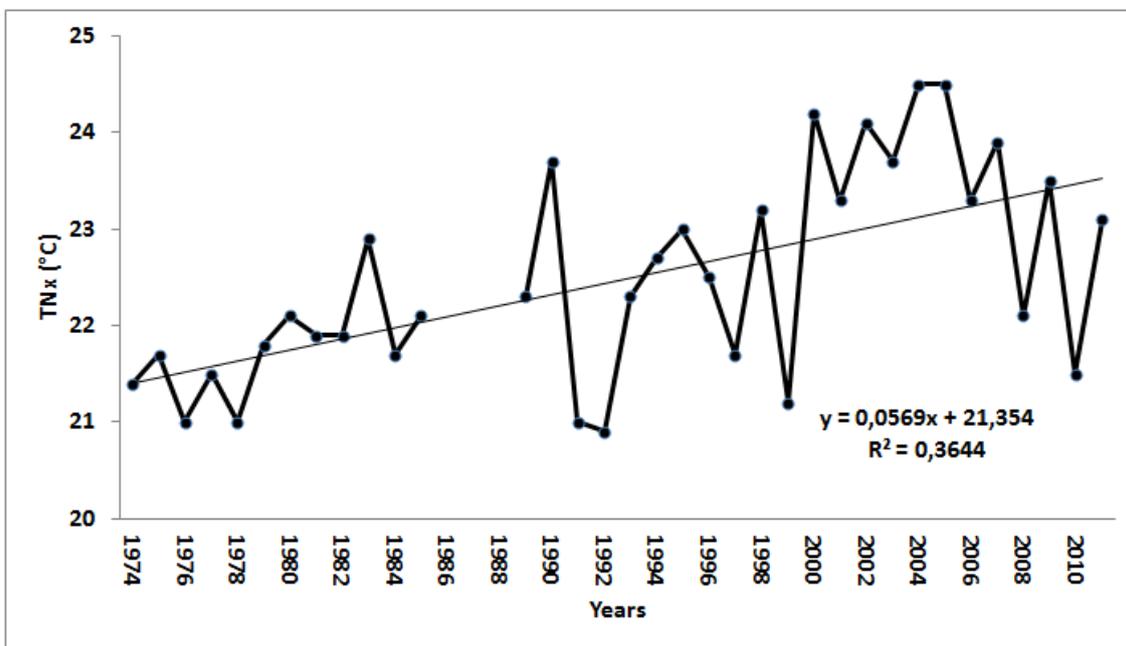


Figura 2 - Comportamento temporal do índice dos máximos das temperaturas mínima (p-value = 0,002).

O comportamento temporal do índice TX90p (dias quentes) é observado na figura 3. As temperaturas máximas acima da climatologia 33,1 °C, representam o índice TX90p. Ou seja, número de dias com temperaturas máximas acima do percentil 90. A tendência apresenta um aumento anual de 16,64 dias quentes no período estudado. Observa-se que os anos de 1984 e 1998 foram os que obtiveram as maiores quantidades dias quentes no período estudado. Também observa-se uma tendência de aumento de números de dias quentes na série.

O comportamento temporal do índice TN90p (noites quentes) é observado na figura 4. As temperaturas mínimas acima da climatologia 20,3 °C, representam o índice TX90p. Ou seja, número de noites com temperaturas mínimas acima do percentil 90. A tendência apresenta um aumento anual de 12,06 noites quentes no período estudado. Observa-se que o ano de 1998 foi quem o maior número de noites quentes no período estudado. Observa-se um aumento na tendência de números de dias com noites mais quentes.

Considerando o ano de 1998 aquele que apresentou a maior quantidade de números de dias e noites quentes no período estudado, foi feita uma análise desse ano. Neste caso, ocorreram 92 dias quentes. Ou seja, 25,2% dos dias nesse ano ficaram com temperaturas máximas acima do percentil 90. O mês de janeiro não apresentou dados. O mês de fevereiro apresentou 22,8% dos dias quentes; O mês de março foi o que apresentou a maior porcentagem de dias quentes, 26,1%; abril apresentou 14,1%; maio 1,1%; entre os meses de junho e setembro não foi observado nenhum dia com temperatura máxima superior ao percentil 90; o mês de outubro apresentou 6,5% dos dias quentes do ano; novembro 19,6% e dezembro teve 9,8%. O dia que apresentou a maior temperatura máxima foi em 11 de fevereiro, com 35,7 °C, apresentando uma anomalia de 4,6 °C acima da climatologia diária. E a maior anomalia foi observado no dia 18 de abril com 4,9 °C acima da climatologia diária, apresentando uma temperatura máxima de 33,9 °C. Foram observadas 99 noites quentes. Ou seja,

27,1% das noites nesse ano ficaram com temperaturas mínimas acima do percentil 90. O mês de janeiro não apresentou dados. O mês de fevereiro apresentou 21,2% das noites quentes; O mês de março foi o que apresentou a maior porcentagem de noites quentes, 27,3%; abril apresentou 21,2%; maio 4,0%; entre os meses de junho e setembro não foi observado nenhuma noite com temperatura mínima superior ao percentil 90; o mês de outubro apresentou 1,0% das noites quentes do ano; novembro 11,1% e dezembro teve 14,1%. O dia 19 de março apresentou a noite mais quente do ano, com temperatura mínima e anomalia mais alta com, 23,2 °C e 3,5 °C acima da climatologia diária.

A década de 90 foi considerada a mais quente do período estudado com uma média anual das temperaturas máxima de 29,8 °C e mínima de 18,3 °C, A década mais fria foi a de 70, com uma média anual das temperaturas máxima de 28,9 °C e mínima de 18,3 °C. As variações das temperaturas máxima e mínima foram de 0,9 °C e 0,6 °C, respectivamente.

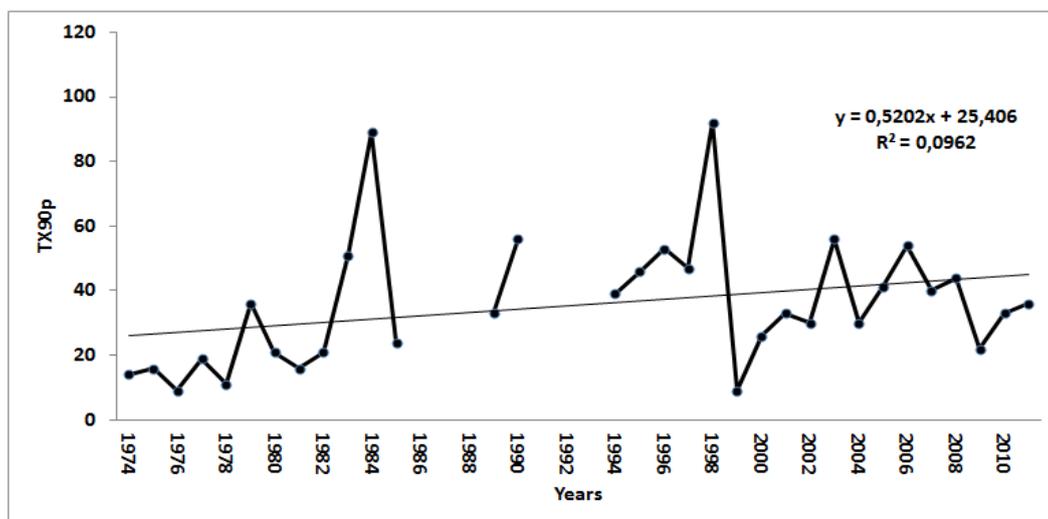


Figura 3 - Comportamento temporal do índice TX90p - dias quentes (valor-p = ND).

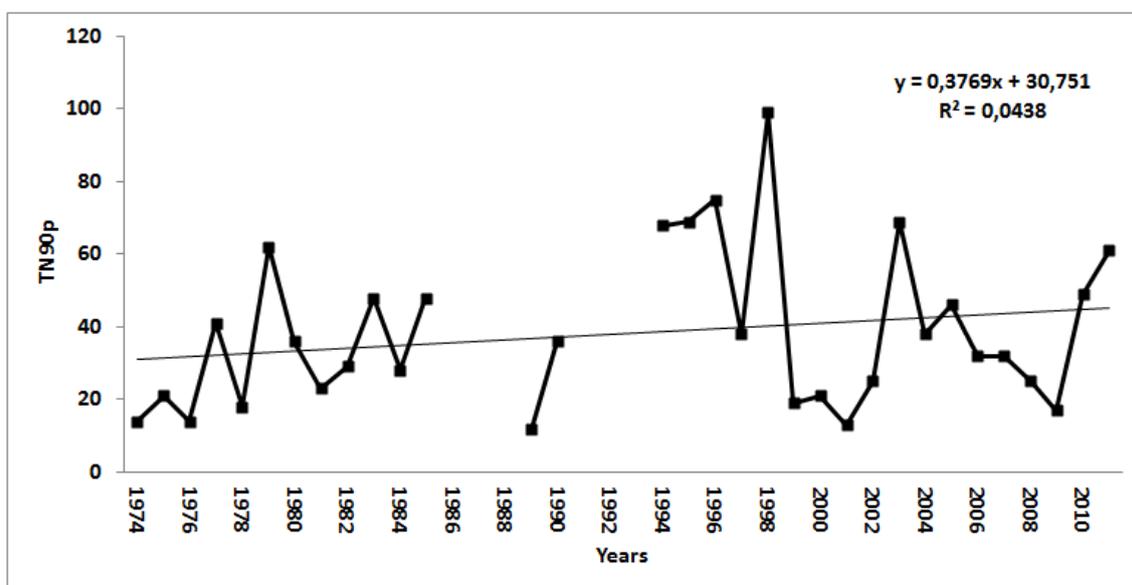


Figura 4 - Comportamento temporal do índice TN90p - noites quentes (valor-p = ND).

A Figura 5 mostra o índice do maior valor de precipitação acumulada em 5 dias (RX5day), apresentando, também, uma tendência de aumento anual de 24,68mm no período estudado. Concordando com Hastenrath e Greischar (1993), onde encontraram tendências de aumento de chuva no nordeste do Brasil. É

observado uma configuração de uma senoidal com picos superiores a cada 5,7 anos para ocorrer precipitação acumulada de 5 dias acima de 140 mm. Da mesma forma são observados picos inferiores a cada 3 anos, em média, para ocorrer precipitação acumulada de 5 dias abaixo de 60 mm.

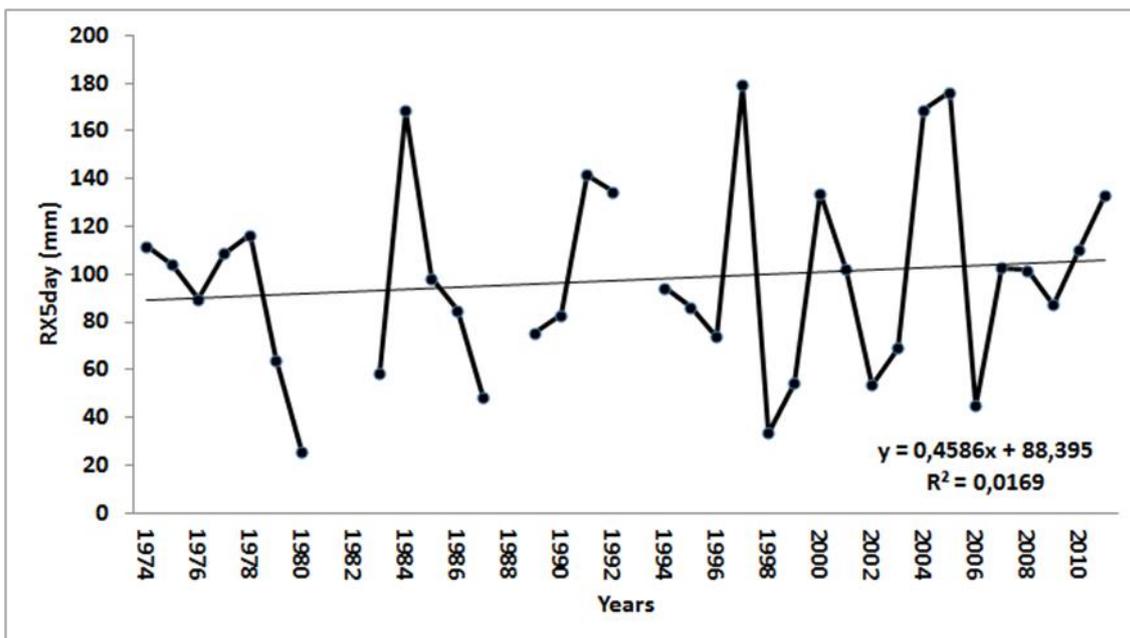


Figura 5 - Comportamento temporal do índice do maior valor de precipitação acumulada em 5 dias (valor-p = 0,221).

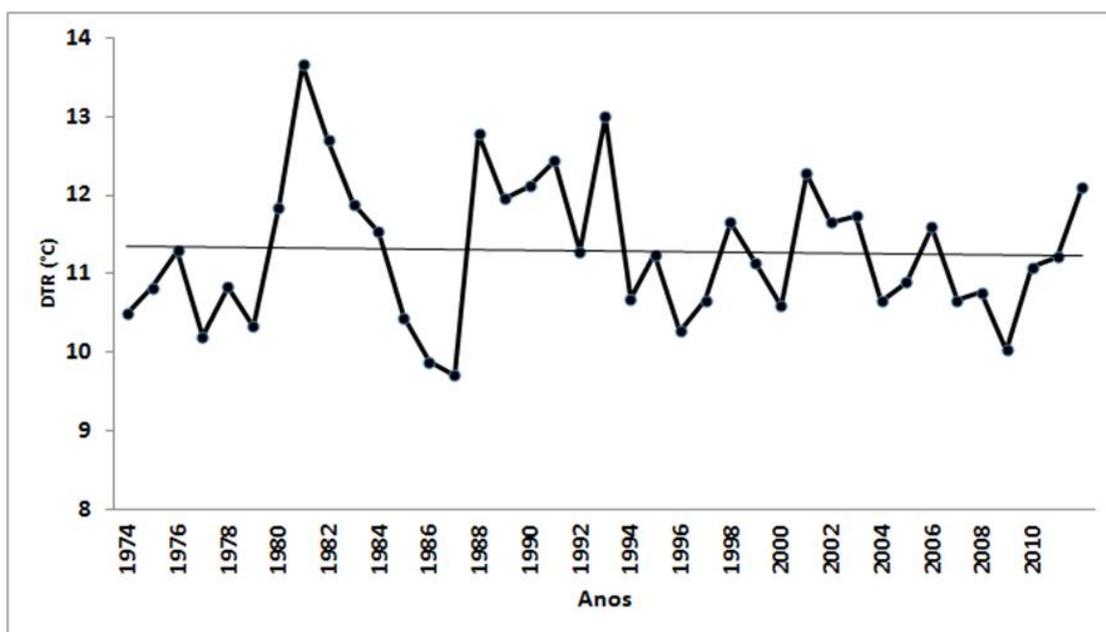


Figura 6 - Comportamento temporal da amplitude térmica diária.

A Figura 6 representa o índice da amplitude diária de temperatura (DTR), mostrou-se uma tendência anual negativa de $-0,12 \text{ } ^\circ\text{C}$ no período estudado. Essa figura explica as figuras 1 e 2, mostrando

que a tendência das temperaturas mínimas teve um aumento mais significativo do que a tendência das temperaturas máximas, em $1,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ a mais ao ano.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a falta de dados observados e a confiabilidade desses dados no semiárido nordestino, poucos estudos de mudanças climáticas com observações tem sido feitos na nessa região. Souza e Azevedo (2009) estudaram o comportamento das temperaturas máxima e mínima na cidade do Recife, entre os anos de 1961 a 2008. Eles Observaram que a tendência dessas temperaturas aumentaram, contribuindo para um aumento das ondas de calor neste município. Também foi verificado que a tendência da amplitude térmica diminuiu. Essas informações também são encontradas neste estudo, fortalecendo os resultados encontrados no trabalho de Souza e Azevedo (2009). A diminuição na tendência da amplitude térmica é explicado no aumento mais acentuado da temperatura mínima do que a temperatura máxima. Ou seja, o número de noites mais quentes estão aumentando mais do que o número de dias mais quentes.

O ano de 1998 foi quem apresentou a maior quantidade de dias e noites quentes do período estudado. Uma das explicações pode ser apresentada devido a presença do fenômeno El Niño instalado no oceano Pacífico entre os meses de março de 1997 a setembro de 1998. Mesmo assim, só esta explicação não justifica esse aumento nas

temperaturas máxima e mínima, pois entre os meses de julho de 1982 até novembro de 1983 ocorreu um evento de El Niño na mesma categoria do período analisado acima, e mesmo assim, o número de dias e noites quentes foi bem inferior a 1998, com 55,4% e 48,5% abaixo, respectivamente.

Pode-se concluir, também, que, mesmo havendo uma tendência estatisticamente significativa de aumento do índice de precipitação acumulada de 5 dias, a cidade de Arcoverde mostra uma existência de anos em desarmonia com a série ou parte da mesma esta dentro dos aspectos naturais da dinâmica e variedade do clima. Mostrando assim que não se pode afirmar se o comportamento climático da variável precipitação, ocorreu devido ao efeito das mudanças climáticas globais, podendo ser uma consequência de vários fatores, que vão desde a urbanização acentuada (formação de ilhas de calor) até a ação de fenômenos naturais de grande escala como a Oscilação Decadal do Pacífico.

Não podemos afirmar que estas alterações são devidas aos fatores climáticos alterados pela ação do homem ou devido aos ciclos sinodais que o planeta enfrenta. Neste caso, é importante definir políticas de planejamento ambiental, assim como a implementação de políticas

nacionais de avaliação de vulnerabilidade as mudanças de clima, assim definir zonas de risco a eventos extremos de tempo e clima, com finalidade de definir critérios de adaptação políticas de mitigação.

5. REFERÊNCIAS

- AYOADA, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. 9.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332p. 1996.
- ALVES, J. M. B.; SERVAIN, J.; CAMPOS, J. N. B. 2007. Relationship between ocean climatic variability and rain-fed agriculture in northeast Brazil. **Climate Research**, Amsterdam, v. 38: 225–236, 2009, doi: 10.3354/cr00786.
- ALVES, J. M. B.; BRISTOT, G.; COSTA, A. A.; MONCUNNIL, D. F.; SILVA, E. M.; SANTOS, A. C. S.; BARBOSA, W. L.; NÓBREGA, D. S. B.; FILHO, V. P. S.; SOUZA, I. A. Uma aplicação da técnica de downscaling dinâmico no setor norte da Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.18, n.2, p.161-180, 2003.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDE, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade da precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, p.113-122. 2004.
- BERNSTEIN L.; BOSCH P.; CANZIANI O.; CHEN Z.; CHRIST R.; DAVIDSON O.; HARE W.; HUQ S.; KAROLY D.; KATTSOV V. Summary for Policymakers of the Synthesis Report (in **Climate Change 2007: Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 22 pp, eds Allali A.; Bojariu R.; Diaz S.; Elgizouli I.; Griggs D.; Hawkins D.; Hohmeyer O.; Pateh Jallow BP.; Kajfez?-Bogataj L, Leary N, Lee H, Wratt D). 2007
- CAI, M.; KALNAY, E. Can reanalysis have anthropogenic climate trends without model forcing? **Journal Climate**, Boston, v.18, p.1844–1849. 2005.
- COLLINS, J. M.; CHAVES, R.; MARQUES, V. S. Temperature variability over South America. **Journal of Climate**, Boston, v.22, p.5854-5868. 2009.
- CHAVES, R. R.; COLLINS, J.; MARQUES, V. da SILVA. Summertime temperature variability in South America between 1948-2007. **CLIVAR Exchanges**, Seattle, v.13, n.3, july. 2008.
- DAI, A. Recent climatology, variability, and trends in global surface humidity. **Journal of Climate**, Boston, v.19, p.3589-3605. 2006.
- DANG, H.; GILBERT, N. P.; WEAVER, A. J.; ZWIERS, E. W. Climate change detection over different land surface vegetation classes. **International Journal of Climatology**, Londres, 27, p.211-220. 2007.
- ENDO, N.; AILIKUN, B.; YASUNARY, T. Trends in precipitation amounts and the number of rainy days and heavy rain events during summer in China from 1961 to 2000. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, 83, p.621-331. 2005.
- DUFECK, A. S.; AMBRIZZI, T.; da ROCHA, R. P. Are reanalysis data useful for calculating climate indices over South America? Trends and directions in climate research Ann. **New York Academy of Sciences**, 1146, p.87–104. 2008.

- GEMMER, M.; BECKER, S.; JIANG, T. Observed monthly precipitation trends in China 1951-2002. **Theoretical and Applied Climatology**, 77, p.39-45. 2004.
- HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, Boston, 19, 1490-1512. 2006
- HASTENRATH, S. Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, v.3, p. 893-904, 1990.
- HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L. Further work of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, n.6, p.743-758, 1993.
- HARRISON, D. E.; LARKIN, N. K. El Niño-Southern Oscillation sea surface temperature and wind anomalies, 1946-1993. **Reviews of Geophysics**, v. 36, n.3, p. 353-399. 1998.
- JONES R.G.; MURPHY, J.M.; HASSEL, D.C.; WOODAGE, M.J. A high resolution atmospheric GCM for the generation of regional climate scenarios. **Submitted to Climate Dynamics**. Amsterdam, 2007.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, B.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; Mo, K.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 77, 437-471. 1996
- KALNAY, E.; Cai, M. Impact of urbanization and land-use change on climate. **Nature**, v.423, p.528-531. 2003.
- KIN, H-J.; WANG, B.; DING, Q.; CHUNG, U.H. Changes in arid climate over north China detected by the Köppen climate classification. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, 86, p.981-990. 2008.
- KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde, Walter de Gruyter, 388pp. 1931.
- KROL, M.S.; BRONSTERT, A. Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. **Environmental Modelling & Software**, v.22, p.259-68, 2007.
- KROL, M.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. Integrated modelling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brazil. **Journal of Hydrology**, v.328, p.417-31, 2006.
- LUCENA, A. F. P.; SZKLO, A. S.; SCHAEFFER, R.; SOUZA, R. R.; BORBA, B. S. M. C.; COSTA, I. V. L.; PEREIRA JÚNIOR, A. O.; CUNHA, S. H. F. The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. **Energy Policy**, 37, pp. 879-889. 2009.
- MANTUA, N.J.; HARE, S.R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS, R.C. (1997). A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production, **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vol. 78, pp. 1069-1079.
- MARENGO, J.; AMBRIZZI, T. Use of regional climate models in impacts assessments and adaptations studies from continental to regional and local scales: The CREAS (Regional Climate Change Scenarios for

- South America) initiative in South America. **Proceedings of 8 ICSHMO**, 24-28, p.291-296. 2006.
- MARENGO, J. A.; ALVES L. M.; VALVERDE, M. C.; da ROCHA, R. P.; LABORDE, R. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. **Relatório n. 5**. Cachoeira Paulista-SP: MMA/INPE/CPTEC, 2007 (Relatório Científico para o Ministério do Meio Ambiente).
- MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South-America from derived as PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**. Published online in Wiley InterScience DOI: 10.1002/joc.1863. 2009.
- MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; ALVES, L. M.; CUADRA, S. V.; VALVERDE, M. C.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. C.; FERRAZ, S. E. T. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Clim Dyn**. DOI 10.1007/s00382-009-0721-6. 2009.
- MCGEEHIN M. A.; MIRABELLI, M. The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States. *Environmental Health Perspectives*. 109 : **Suppl 2** 185-189. 2001.
- MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of Atmosphere Sciences**, v.38, n.12, p.2653-2675. 1981.
- NOBRE, C.A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do País. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, n.12, p.239-58, 2001.
- NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperatures, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v.9, n.10, p.2464-2479. 1996
- PINTO, H. S.; AASSAD, E. D.; ZULLO JÚNIOR, J.; AVILA, A. M. H. Variabilidade Climática. In: Anais I Workshop sobre Água, agricultura e meio ambiente no estado de São Paulo: **Avanços e desafios**, Jaguariúna, SP. v.1. p.1-13. 2003.
- QIN, D. H.; DING, Y. H.; SU, J. L.; WANG, S. M. Climate and Environment Changes in China. **China Science Press**, 562p. 2005.
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, p.1606-1626. 1997.
- RAO, V. B.; GIAROLLA, M.; KAYANO, M. T.; FRANCHITO, S. H. Is the recent increasing trend of rainfall over Northeast Brazil related to Sub-Saharan drought? **Journal of Climate**, v.19, p.4448-4453. 2006.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.
- SANTOS, C. A. C. dos; BRITO, J. I. B. de; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos Índices de Precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de**

- Meteorologia**, v. 24, n.1, 39-47, 2009.
- SILVA, G. B.; AZEVEDO, P.V. Índices de tendências de mudanças climáticas no Estado da Bahia. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Vol. 5, Nº 3, 2008.
- SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. Avaliação de tendências de temperaturas em Recife - PE: Mudanças climáticas ou variabilidade? **Revista de Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal - SP, v.6, n.3, p.462-472. 2009
- SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over eastern amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.19, n.2, p.113-122. 2004.
- SUN, L.; MONCUNILL, D. F.; LI, H.; MOURA, A. D.; FILHO, F. D. D. S. Climate downscaling over Nordeste Brazil using NCEP RSM97. **Journal of Climate**.18, p.551-567. 2005.
- UVO, C. B.; REPELLI, C. A., ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The relationship between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation, **Journal of Climate**. v.11, n.4, p.551-562, 1998.
- WILBY, R. A review of climate change scenarios for Northeast Brazil. Tearfund is a Christian relief and development agency building a global network of local churches to help eradicate poverty. Londres, p.23. 2008.
- VICENTE, L. A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R.; MARINO, M. B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M. A.; GRIM, A. M.; MARENGO, J. A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D. F.; REBELLO, E.; ANUNCIÇÃO, Y. M. T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J. L.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M. R.; KAROLY, D. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000. **Journal of Climate**, v.18, p.5011–5023. 2005.
- VERA, C.; SILVESTRE, G.; LIEBMAN, B.; GONZÁLES, P. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. **Geophysical Research Letters**. 33, L13707, doi:10.1029/2006GL025759. 2006.
- XAVIER, A. L.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; MAITELLI, G. T.; OLIVEIRA, A. G.; OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, J. S. Variação da temperatura e umidade entre áreas urbanas de Cuiabá. **Revista de Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 082-093. 2009.
- ZHANG, Y., WALLACE, J. M.; BATTISTI, D. S. ENSO-like interdecadal variability. **J. Climate**, Boston, v.10, p.1004–1020. 1997.