

ANÁLISE DOS ÍNDICES DE EXTREMOS PARA O SEMI-ÁRIDO DO BRASIL E SUAS RELAÇÕES COM TSM E IVDN

CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS^{1,2} e JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO^{1,3}

¹ Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Avenida Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, Brasil, CEP: 58109-970.

² Doutorando em Meteorologia, e-mail: carlostorm@gmail.com.

³ Professor de Meteorologia, e-mail: ivaldo@dca.ufcg.edu.br.

Recebido Fevereiro 2007 - Aceito Junho 2007

RESUMO

Este trabalho objetiva verificar as tendências de índices de detecção de mudanças climáticas, dependentes da precipitação pluvial diária, nos estados do RN e PB e analisar suas relações com o IVDN e anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2, Niño 3, Atlântico Tropical Norte (ATN) e Atlântico Tropical Sul (ATS). Utilizou-se dados de precipitação de 44 postos, no período de 1935 a 2000, representando todas as microrregiões dos dois Estados; de IVDN, obtidos da NOAA/AVHRR, no período de 1980 a 2000 e de anomalias de TSM, cedidos pela NOAA, de 1950 a 2000. Observou-se uma tendência de aumento das condições de umidade sobre os dois estados. O índice dias consecutivos secos apresentou correlação estatisticamente significativa com as anomalias de TSM das áreas ATN e ATS. Enquanto, os índices dias muito úmidos e quantidade máxima de chuva em cinco dias mostraram correlações significativas com as regiões dos Niño 1+2 e 3 e com a TNA. Em geral, observou-se que o IVDN da Caatinga é mais dependente dos extremos de precipitação do que os da Mata Atlântica. De acordo com os resultados obtidos concluiu-se que as mudanças climáticas detectadas pelos índices são resultantes tanto dos fatores de grande escala como de escala local. Outro resultado obtido foi influência do ENOS sobre os índices extremos de chuva e consequentemente sobre clima e a dinâmica da vegetação do Semi-árido.

Palavras-chave: RCLimindex 1.9.1, mudanças climáticas, precipitação.

ABSTRACT: ANALYSIS OF INDICES OF EXTREMES FOR THE SEMI-ARID OF BRAZIL AND ITS RELATIONS WITH SST AND NDVI.

The objective this paper is verify the tendencies of indexes of detection of climate changes, dependent of the daily precipitation, in the states of RN and PB and to analyze your relationships with NDVI and anomalies of SST in the areas of Niño 1+2, Niño 3, North Tropical Atlantic Ocean (TNA) and South Tropical Atlantic Ocean (TSA). It was used data of precipitation of 44 locations, in the period from 1935 to 2000, representing all the regions of two States; of IVDN, obtained of NOAA/AVHRR, in the period from 1980 to 2000 and of anomalies of SST, given in by NOAA, from 1950 to 2000. A tendency of increase of the humidity conditions was observed on the two states. The index dry consecutive days it presented correlation significant statistically with the anomalies of SST of the areas TNA and TSA. While, the indexes very humid days and maximum amount of rain in five days they showed significant correlations with the areas of Niño 1+2 and 3 and with TNA. In general, it was observed that NDVI of the Savanna is more dependent of the precipitation ends than the one of the Atlantic forest. In agreement with the obtained results it was ended that the climatic changes detected by the indexes they are resulting as much of the factors of great scale as of local scale. Another obtained result was influence of ENSO on the extreme indexes of rain and consequently on climate and the dynamics of the vegetation of the Semi-arid.

Keywords: RCLimindex 1.9.1, climate change, precipitation.

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera é constituída por vários gases, sendo que os principais são o Nitrogênio (N_2) e o Oxigênio (O_2) que, juntos compõem cerca de 99% da proporção em volume. Outros gases encontram-se presentes em pequenas quantidades, dentre estes, citam-se os *gases de efeito estufa* (GEE) tais como o dióxido de carbono (CO_2), assim denominado por ter a capacidade natural de reter o calor na atmosfera, permitindo que as ondas eletromagnéticas provenientes do Sol atravessem a atmosfera e aqueçam a superfície terrestre, como também, dificultando a saída da radiação infravermelha emitida pela Terra, mantendo, assim, a Terra aquecida (Santos, 2006). Nos últimos 100 anos vem acontecendo um progressivo aumento na concentração dos GEE na atmosfera, sendo provocado, principalmente pelas atividades antrópicas (Moreira, 2003).

De acordo com o IPCC (2007), para as próximas duas décadas, projeta-se um aquecimento de cerca de $0,2^\circ C$ 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 cerca de $0,1^\circ C$ por década. Até meados do século XXI, projeta-se que a vegetação semi-árida 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. Projeta-se que as mudanças nos padrões de precipitação e o desaparecimento das geleiras afetem de forma significativa a disponibilidade de água para o consumo humano, a agricultura e a geração de energia (IPCC, 2007).

De forma geral, na América Latina, tem-se observado uma grande variedade de alterações no clima que podem ser resultantes não só da variabilidade climática natural como também da interferência humana no sistema. Nota-se variações principalmente na distribuição da precipitação e na temperatura média (IPCC, 2002). Assim, estudo recente desenvolvido por Liebmann et al. (2004) para a região central da América do Sul, em particular o Sul do Brasil devido ser a região com maiores densidade populacional e de produtividade agrícola, identificou tendências lineares sazonais na precipitação durante 1976-1999, mostrando que ocorreu um aumento no percentual de dias chuvosos.

Segundo Santos (2006) outros fatores que podem modificar o clima de uma região são o desflorestamento e o mau uso dos ecossistemas. De acordo com o autor esses fatores alteram o clima regional e em áreas de ecossistemas frágeis e vulneráveis, como o semi-árido brasileiro, as mudanças climáticas mais drásticas poderão ocorrer através da soma das ações produzidas pelos GEE com o mau uso e desflorestamento dos ecossistemas locais.

Objetivando identificar mudanças climáticas regionais, Hastenrath e Greischar (1993) examinaram séries históricas de precipitação em uma rede de estações bem distribuídas espacialmente sobre o Nordeste do Brasil (NEB) e não encontraram tendências significativas para condições mais úmidas ou secas na região. Porém, recentemente, Haylock et al. (2006) fizeram uma análise da precipitação sobre a América do Sul e observaram uma tendência de aumento do total anual de chuva sobre o NEB. O estudo realizado por Santos (2006), utilizando a metodologia adotada por Haylock et al. (2006), também mostra tendência de aumento da precipitação total anual na região Nordeste, especificamente para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

Por outro lado, Brito (2000) procurou identificar possíveis mudanças no clima do NEB associadas à variabilidade climática regional, a qual é influenciada por fatores externos a região como, por exemplo, as anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) dos Oceanos Tropicais. A propósito, Ropelewski e Halpert (1987; 1989), Xavier (2001) e Xavier et al. (2003) mostram que a precipitação sobre o NEB é bastante sensível a extremos de TSM no Pacífico equatorial associado ao evento El Niño Oscilação Sul (ENOS), assim como, as anomalias de temperatura da superfície do Atlântico, associadas ao dipolo de anomalias da TSM do Atlântico Tropical. É oportuno mencionar que os primeiros estudos mostrando a dependência da precipitação do semi-árido brasileiro com as anomalias de TSM no Atlântico Tropical foram realizados por Hastenrath e Heller (1977), Moura e Shukla (1981) e Silva (2004).

Vale salientar que, em geral, as mudanças climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, tais como da temperatura do ar e da precipitação pluvial. De acordo com as tendências temporais dessas variáveis para um determinado local é observado se ocorreram mudanças no clima. Entretanto, para melhor definir essa questão a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criou um grupo de trabalho que elaborou índices de detecção de mudanças climáticas, tendo sido 27 índices, sendo que 11 são decorrentes da precipitação e 16 da temperatura do ar (Zhang e Yang, 2004).

No semi-árido brasileiro, a precipitação é uma variável determinante das condições do clima local, bem como, da sua variabilidade e de mudança ao longo prazo. Portanto, a presente pesquisa objetivou analisar a tendência dos índices de detecção de mudanças climáticas, dependentes da precipitação pluvial diária para os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, assim como analisar suas relações com as anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2 e Niño 3, no Oceano Pacífico, ANT (Atlântico Norte Tropical) e AST (Atlântico Sul Tropical), no Oceano Atlântico. Além de investigar a influência dos índices de detecção de mudanças climáticas sobre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) do Agreste, Zona da Mata e Litoral e do Sertão, nos dois estados.

2. DADOS E METODOLOGIA

Os dados de precipitação pluvial diários foram oriundos da antiga rede de postos pluviométricos da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e dos núcleos estaduais de meteorologia e recursos hídricos, os de IVDN foram cedidos pela NOAA/AVHRR através de CD-ROM, compreendidos entre 1980 e 2000 e os das anomalias de TSM foram obtidos através da página NOAA (www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/), do período de 1950 a 2000.

Para os dados de chuvas, entre 132 postos pluviométricos disponíveis, foram escolhidos 44 postos, que apresentaram dados de 1935 a 2000, com poucas falhas, e representam todas as microrregiões dos dois Estados (Figura 1).

Na Tabela 1, estão apresentados os nove índices climáticos, derivados da precipitação pluvial, utilizados nessa pesquisa, conforme a definição realizada pelo “Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETC-CDMI)”. Observa-se que dos índices derivados da precipitação sugeridos pelo ETCCDMI apenas R10mm (precipitação de um dia superior a 10 mm) e R20mm (precipitação de um dia superior a 20 mm) não foram estimados, pois, conforme Melo (1997) estes limiares não são indicativos de precipitações intensas no NEB.

O software utilizado no cálculo dos índices e homogeneização dos dados foi o RClindex 1.9.0, desenvolvido e mantido pelos pesquisadores Xuebin Zhang e Feng Yang do

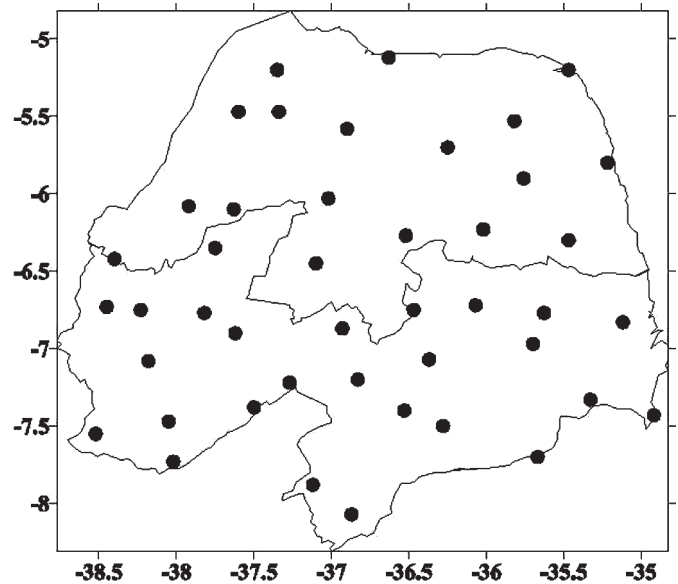


Figura 1 – Distribuição espacial das localidades escolhidas nos estados do RN e PB.

Serviço de Meteorologia do Canadá. Este software está disponível gratuitamente no site <http://ccma.seos.uvic.ca/ETC-CDMI/software.html>. Para sua execução é necessário seguir os seguintes passos:

- (1) dispor os dados em arquivo de texto ASCII, composto de seis colunas correspondentes ao ano, mês, dia, precipitação (PRCP), temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN);

Tabela 1 – Índices climáticos dependentes da precipitação pluvial diária, com suas definições e unidades. O RR é o valor da precipitação diária. $RR \geq 1\text{mm}$ representa um dia úmido e $RR < 1\text{mm}$, um dia seco.

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total anual nos dias úmidos ($RR \geq 1\text{mm}$)	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos	mm/dia
DCS	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1\text{mm}$	dias
DCU	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1\text{mm}$	dias
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia	Máximo anual de precipitação em 1 dia	mm
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	Máximo anual de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
R50mm	Número de dias com precipitação acima de 50mm	Número de dias em 1 ano em que a precipitação foi $\geq 50\text{mm}$	dias
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação anual total em que $RR > 95$ percentil	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação anual total em que $RR > 99$ percentil	mm

(2) os dados faltosos são codificados como -99.9 e os registros dos dados dispostos em ordem cronológica (CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY, 2004).

A saída do RCLimindex 1.9.0, para todos os índices, fornecem dados estatísticos, tais como: tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados; nível de significância estatística da tendência (valor p); coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão de estimativa; assim como, os gráficos das séries anuais.

Foram consideradas como possíveis mudanças climáticas àquelas em que o índice apresentava tendência linear (positiva ou negativa) superior ao erro padrão de estimativa e estatisticamente significativa (valor de $p < 0,1$).

Ressalta-se que, para a apresentação da configuração espacial da tendência dos índices, todas as localidades em que o valor de p foi superior a 0,1 foram descartadas. Portanto, na representação esquemática da distribuição espacial das tendências dos índices foram utilizadas somente aquelas localidades em que $p < 0,1$.

Como mencionado, na introdução, muitos pesquisadores mostraram a relação de dependência do total anual de precipitação, do Semi-Árido Brasileiro, com as anomalias de TSM dos Oceanos Tropicais. Entretanto, para a agricultura e armazenamento de águas nessa região do Brasil, não apenas o total anual de chuvas é importante, mas também os seus extremos e períodos consecutivos secos e chuvosos (Magalhães e Glantz, 1992). Assim sendo, dos nove índices investigados os que melhor representam essas condições são: DCS, DCU, R95p e Rx5day. Portanto, estes quatro índices foram escolhidos para serem correlacionados com as anomalias de TSM do Atlântico Tropical e Pacífico Equatorial.

A correlação (método dos mínimos quadrados) entre as anomalias de TSM, do período de 1950 a 2000, e os índices foi elaborada utilizando a média aritmética anual das 44 estações, para cada índice, versus a média anual de anomalia de TSM de cada uma das áreas (Niño 1+2, Niño 3, TNA e TSA).

Os índices DCS, DCU, R95p e Rx5day também foram correlacionados com o IVDN médio anual para as regiões Leste (média de 12 localidades), composta pelo Agreste, Zona da Mata e Litoral, e Sertão (média de 32 localidades) dos dois estados. De acordo com Barbosa et al. (2006) o uso do IVDN é justificável, pois, no caso da vegetação dos dois Estados, os extremos de chuva são responsáveis pela dinâmica da cobertura vegetal, principalmente do bioma Caatinga, predominante na região semi-árida (Santos, 2006).

Para a análise da significância estatística de cada uma das correlações, tanto para a TSM como para o IVDN, aplicou-se o teste-t de Student, adotando-se os três níveis de significância mais usuais, ou seja, t_{95} que corresponde a uma significância estatística de 5%, $t_{97,5}$ correspondendo a 2,5% e $t_{99,5}$ com uma correspondente significância 0,5%.

3. RESULTADOS

3.1. Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI

A Tabela 2 apresenta os valores das tendências temporais dos índices de extremos climáticos, de todas as 44 localidades. Os valores em negrito apresentaram alta significância estatística ($p \leq 0,05$), os realçados apresentaram boa significância estatística ($0,05 < p \leq 0,1$) e para os demais valores, o p estimado foi superior a 0,1.

Analisando os índices das 44 localidades (Tabela 2) observou-se mudanças de DCS em 10 das localidades e de DCU em 17 localidades. No caso de DCS, das 10 localidades 8 delas apresentaram diminuição, enquanto para o índice DCU ocorreram 12 tendências de aumento de um total de 17 localidades, demonstrando que, em geral, ocorreu um aumento no número de dias consecutivos com chuvas e uma diminuição dos dias consecutivos sem chuvas. Estes resultados concordam com os encontrados por Haylock et al. (2006) para o NEB.

Para o índice PRCPTOT observou-se mudanças em 19 localidades, todas apontando um aumento da precipitação (Tabela 2). Observam-se tendências negativas em seis localidades, porém, estas não são estatisticamente significantes e as magnitudes das tendências são inferiores aos seus erros padrões de estimativa. Portanto, não é seguro afirmar que estas tendências realmente estão ocorrendo. Para R50mm, pode-se afirmar que ocorreram mudanças em apenas 8 localidades, sendo que, 6 delas mostram aumento no número de dias com chuvas superiores a 50 mm/dia, e diminuição em 2 localidades. Ressalta-se que em todas as localidades em que ocorreu aumento, também apresentaram aumento da precipitação total anual.

Ao investigar os índices R95p, R99p, Rx1day e Rx5day observou-se mudanças em 11, 15, 20 e 13 localidades, respectivamente. Nestes quatro índices verificou-se tendências positivas e negativas, sendo que as positivas foram predominantes (Tabela 2), ou seja, mostrando que, em geral, ocorreu um aumento dos dias muito úmidos e extremamente úmidos.

Finalmente, para o SDII identificou-se mudanças em 28 localidades, sendo que em 17 localidades evidenciou-se uma diminuição, ou seja, 60% das que apresentaram mudanças deste índice (Tabela 2). Tendência negativa de SDII significa que a precipitação total anual está diminuindo ou o número anual de dias com chuvas está aumentando. Como a análise do PRCPTOT mostrou que ocorreu um aumento da precipitação total anual, logo, conclui-se que o número de dias com chuvas, consecutivos ou não, está aumentando na maior parte das localidades estudadas.

Dos nove índices estudados apenas o PRCPTOT apresentou tendências positivas estatisticamente significantes em todas as localidades. Para os demais índices observou-se tendências positivas e negativas (Tabela 2). Portanto, se faz necessário

Tabela 2 – Tendências dos índices climáticos extremos dependentes da precipitação pluvial para 44 localidades distribuídas nos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Os valores em negrito apresentaram alta significância estatística ($p < 0,05$) e os valores realçados apresentaram boa significância estatística $p < 0,1$.

Local	LAT	LON	DCS dia/ano	DCU dia/ano	SDII mm/dia/ano	PRCPT mm/ano	R _{50mm} dias/ano	R _{95p} mm/ano	R _{99p} mm/ano	Rx _{1day} mm/ano	Rx _{5day} mm/ano
Aguiar	-7,08	-38,18	0,869	-0,016	0,096	2,897	0,015	0,934	0,152	0,114	0,441
Alhandra	-7,43	-34,92	0,056	0,017	0,058	13,539	0,048	5,128	4,153	0,772	0,712
A. Navarro	-6,73	-38,45	0,029	-0,008	-0,135	-3,204	-0,043	-3,942	-2,305	-0,475	-0,895
Areia	-6,97	-35,70	-0,117	-0,035	-0,010	-0,588	0,006	0,114	-0,109	-0,028	-0,462
Bananeiras	-6,77	-35,63	-0,149	-0,052	-0,017	0,473	-0,007	-1,364	-0,339	-0,007	-0,542
B. de S. Rosa	-6,72	-36,07	-0,329	0,000	0,038	4,195	0,009	1,803	1,505	0,75	1,043
Cabaceiras	-7,50	-36,28	-0,273	0,004	0,080	4,041	0,007	0,172	-0,54	0,006	0,218
C. do Rocha	-6,35	-37,75	0,073	0,012	-0,074	0,273	-0,027	-2,025	-1,092	-0,217	-0,355
Conceição	-7,55	-38,52	-0,638	0,017	-0,128	0,839	-0,026	-0,336	-0,244	-0,057	-0,351
Condado	-6,90	-37,62	0,028	0,024	-0,024	2,215	0,004	0,201	0,464	0,125	0,244
Imaculada	-7,38	-37,50	-0,196	-0,002	-0,036	2,875	0,011	1	0,543	0,229	0,029
Itabaiana	-7,33	-35,33	0,370	-0,110	0,085	1,730	0,019	2,411	1,142	0,397	0,113
Mamanguape	-6,83	-35,12	0,148	0,016	-0,042	1,059	-0,026	-1,912	-1,438	-0,343	-0,446
Monteiro	-7,88	-37,12	-0,517	-0,008	-0,028	1,243	0,004	-0,315	-0,062	-0,125	-0,49
N. Olinda	-7,47	-38,05	-0,272	-0,002	0,040	4,249	0,018	0,934	0,25	0,217	0,503
P. Lavrada	-6,75	-36,47	1,069	-0,018	0,185	4,181	0,018	1,954	0,723	0,517	0,916
Pombal	-6,77	-37,82	0,093	0,013	0,033	2,998	0,012	1,319	1,699	0,491	0,909
P. Isabel	-7,73	-38,02	-0,215	0,013	-0,018	1,649	0,018	1,158	1,175	0,069	0,641
S. Luzia	-6,87	-36,93	-0,530	0,023	0,017	2,757	0,010	1,03	1,194	0,299	0,484
S. J. do Cariri	-7,40	-36,53	-1,049	-0,003	-0,137	-0,694	-0,012	-1,386	-1,269	-0,565	-1,026
S. J. do Tigre	-8,07	-36,87	-0,494	0,040	-0,193	1,854	-0,002	-0,082	0,05	0,02	0,356
Soledade	-7,07	-36,37	-0,519	0,004	-0,022	1,877	0,011	0,433	0,032	0,116	-0,07
Souza	-6,75	-38,23	-0,290	0,031	-0,018	2,588	-0,006	-0,279	-0,19	0,021	0,387
Taperoá	-7,20	-36,83	-1,022	0,030	-0,159	0,154	-0,015	-1,421	-0,265	-0,253	-0,327
Teixeira	-7,22	-37,27	-1,497	0,036	-0,175	2,917	-0,024	-0,167	0,971	0,301	0,331
Umbuzeiro	-7,70	-35,67	0,660	-0,056	0,171	1,778	0,008	0,764	0,24	-0,037	-0,035
Assu	-5,58	-36,90	-0,305	0,051	-0,092	1,264	-0,005	0,043	0,517	0,268	0,193
Caicó	-6,45	-37,10	0,130	0,008	0,014	0,158	-0,007	-0,085	0,375	0,158	-0,267
Caraúbas	-5,47	-37,34	-0,395	0,036	-0,124	1,200	-0,007	-0,889	-1,046	-0,126	-0,236
C. Novos	-6,27	-36,52	-0,957	0,010	-0,013	2,624	0,010	0,699	0,692	0,225	0,531
J. Câmara	-5,53	-35,82	0,313	0,003	0,009	0,685	0,004	0,746	0,667	0,199	0,08
Jucurutu	-6,03	-37,02	0,243	0,019	-0,043	-0,659	-0,011	-1,479	-1,281	-0,208	-0,454
Lages	-5,70	-36,25	-1,945	0,033	-0,163	2,340	0,001	0,000	-0,203	-0,103	-0,011
L. Gomes	-6,42	-38,40	-0,236	0,018	-0,007	0,478	-0,017	-1,880	-1,007	-0,279	-0,449
Macau	-5,12	-36,63	-1,263	-0,022	-0,205	-4,413	-0,040	-2,463	-1,385	-1,007	-1,679
Martins	-6,08	-37,92	-0,610	0,026	-0,050	1,699	-0,006	-1,106	-0,163	0,064	-0,039
Mossoró	-5,20	-37,35	0,231	0,003	0,016	1,074	0,001	0,335	-0,017	0,02	0,036
Natal	-5,80	-35,22	-0,247	-0,018	-0,014	1,725	0,032	2,858	1,096	0,529	0,95
Paraú	-5,47	-37,60	-0,568	-0,002	0,051	2,908	0,019	1,523	1,189	0,522	0,436
Patu	-6,10	-37,63	-0,608	0,040	-0,178	0,085	-0,017	-1,409	-0,878	-0,126	-0,575
S. Cruz	-6,23	-36,02	0,378	-0,004	0,003	-0,693	-0,001	-0,751	-0,441	-0,324	-0,392
S. Antonio	-6,30	-35,47	-1,220	0,019	-0,104	-2,271	-0,003	0,108	0,893	0,239	-0,109
S. P. do Potengi	-5,90	-35,76	-0,108	0,023	-0,041	0,273	-0,002	-0,630	-0,094	0,016	-0,273
Touros	-5,20	-35,47	-0,332	0,043	-0,111	2,960	0,011	1,287	0,473	0,553	0,575

verificar a configuração da distribuição espacial dos valores estatisticamente significativos dos índices para identificar as áreas em que ocorreram diminuição e aumento do índice, uma vez que, estudos mostram que no semi-árido do NEB existe uma grande variabilidade espacial e temporal da precipitação. Vale salientar que estão mostrados, nas figuras, apenas os índices que apresentaram boa distribuição espacial.

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial das tendências do índice DCS, em dias/ano. Observa-se que a região central, na divisa dos dois Estados, e no extremo oeste da Paraíba ocorreram tendências positivas, e negativas nas demais áreas. Entretanto na distribuição espacial das tendências do DCU, em dias/ano (Figura 3), verifica-se predominância de tendências positiva sobre o estado do Rio Grande do Norte e Paraíba, com exceção do Agreste, parte do Cariri e extremo noroeste paraibano. As configurações de DCS e DCU mostram que as mudanças observadas nestes índices, possivelmente, foram induzidas por eventos de grande escala e por fatores locais. Pois, tanto para o DCS como para o DCU, observou-se, em algumas áreas isoladas, tendências opostas as das predominantes.

A distribuição espacial das tendências (mm/ano) da precipitação total anual (PRCPTOT) é apresentada na Figura 4. Observa-se uma tendência de aumento da precipitação sobre toda a área estudada. A configuração da Figura 4 concorda com os estudos de Haylock et al. (2006), que também observou tendência de aumento na precipitação total anual no NEB.

O índice SDII apresentou o maior número de localidades que demonstraram tendências com significância

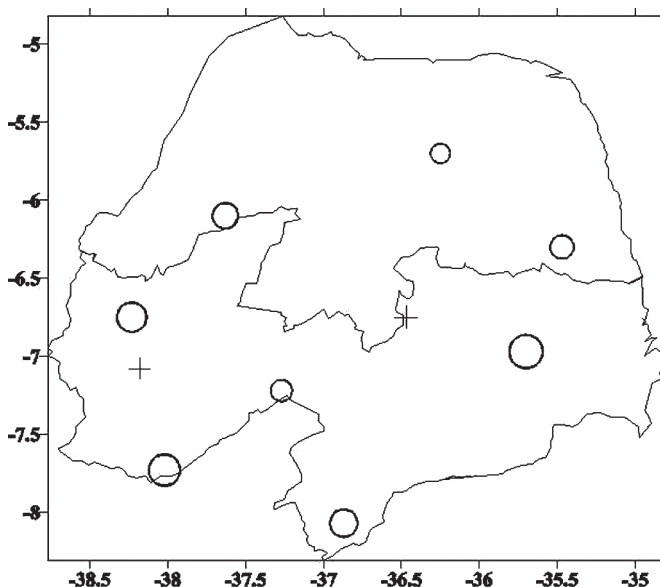


Figura 2 – Distribuição espacial das tendências dos DCS, em dias/ano. “O” representa valores negativos e “+” representa valores positivos. O tamanho do símbolo representa a magnitude da tendência.

estatística (Tabela 2). A Figura 5 apresenta a distribuição espacial destas tendências, em (mm/dia)/ano. Observa-se que, entre os nove índices, o SDII foi o que apresentou a maior variabilidade espacial dentro da região estudada, pois, verifica-se valores positivos e negativos, com predominância de valores negativos. Devido esse índice ser definido como sendo a precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos em um ano, pode-se conjecturar que, como a

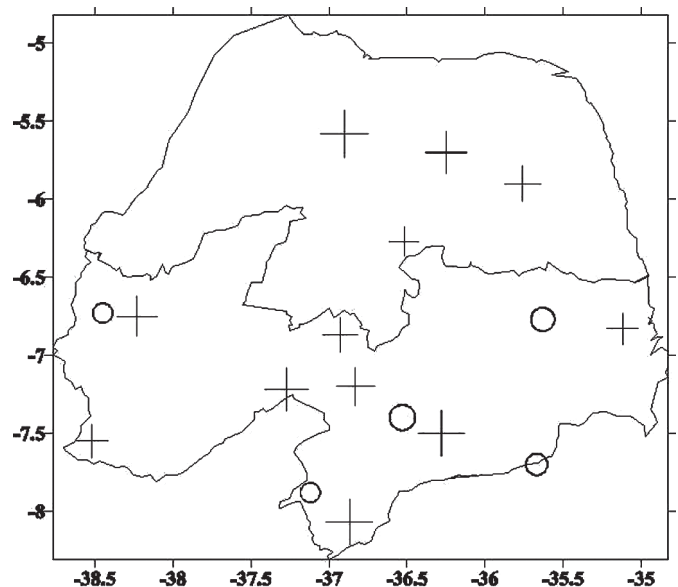


Figura 3 – Distribuição espacial das tendências dos DCU, em dias/ano.

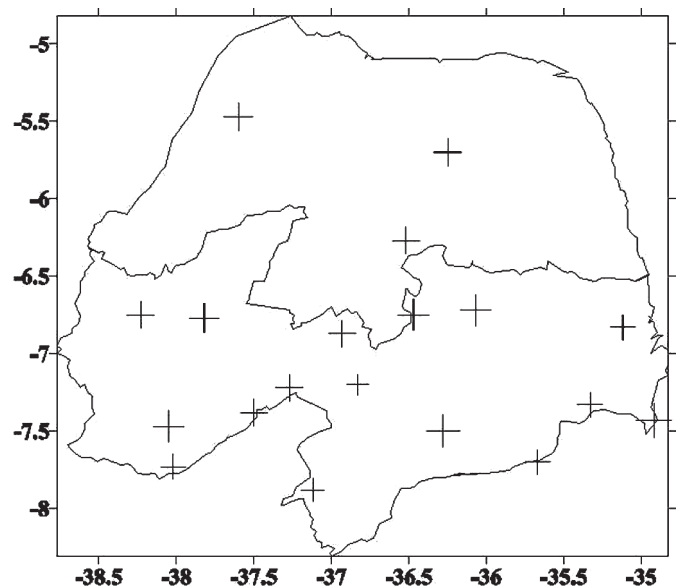


Figura 4 – Distribuição espacial das tendências da PRCPTOT, em mm/ano.

precipitação aumentou em todas as localidades estudadas (Figura 4), logo, os valores negativos desse índice ocorre devido o aumento do número de dias úmidos, concordando com Haylock et al. (2006), que observou um aumento da umidade sobre a América do Sul.

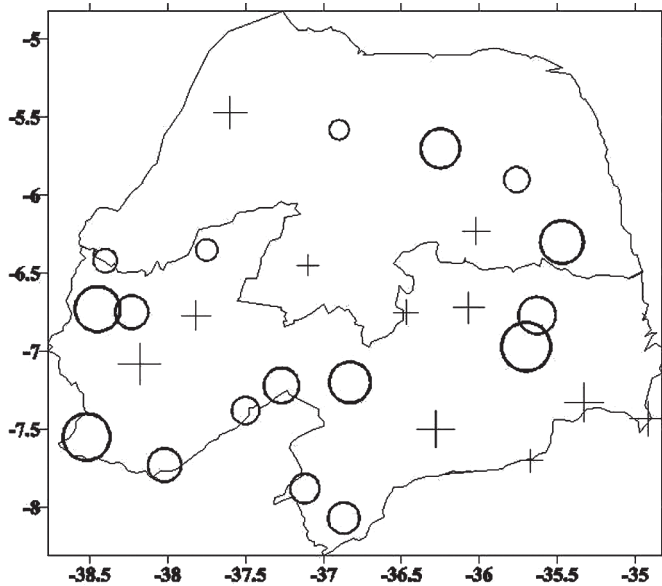


Figura 5 – Distribuição espacial das tendências do SDII, em mm/ano.

A Figura 6 mostra a distribuição espacial das tendências do índice Rx1day, em mm/ano. Observa-se que a configuração do valores de Rx1day tende a aumentar na maioria das micror-regiões dos dois Estados. Este resultado estar coerente com as tendências da precipitação total anual.

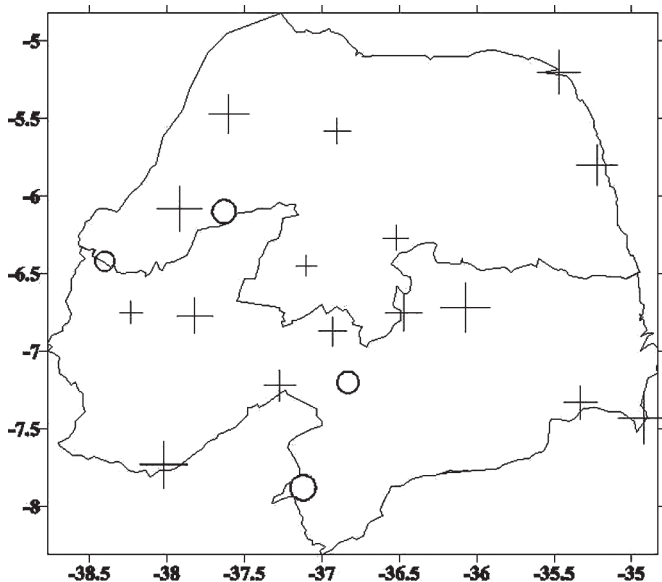


Figura 6 – Distribuição espacial das tendências do Rx1day, em mm/ano.

De uma maneira geral, os índices apontam para um aumento dos dias úmidos e da precipitação total anual e uma diminuição dos dias consecutivos secos. Porém, isto não é uniforme no dois estados, pois, com exceção do total anual de chuva, observam-se variação espacial das tendências nos demais índices, oscilando entre negativas e positivas.

3.2. Índices Climáticos e TSM

Conforme mencionado na introdução, o clima do nordeste tem sua variabilidade associada a padrões de anomalias da TSM dos Oceanos Atlântico (Dipolo meridional de anomalias de TSM) e Pacífico (El Niño/La Niña).

Baseado nesta associação correlacionou-se os quatro índices de extremos climáticos, mais utilizados pelos usuários dos recursos hídricos e da agropecuária da região estudada, a saber: DCS, DCU, R95p e Rx5day com as anomalias de TSM nas regiões: Niño 1+2 e Niño 3, no Pacífico, e TNA e TSA, no Oceano Atlântico.

Na Tabela 3, observa-se que o índice DCS não demonstrou correlações, com significância estatística igual ou superior a 90% (limite adotado para o nível de significância) com as regiões dos Niños 1+2 e 3, no Pacífico. Entretanto, demonstrou correlações estatisticamente significantes positivas, para a região TNA e negativas para TSA, evidenciando que a anomalia positiva de TSM ao norte do equador, no Oceano Atlântico, acarreta num deslocamento da ZCIT mais para o Norte, inibindo os eventos chuvosos e, com isso, aumentando o número de dias consecutivos secos sobre o NEB. Enquanto, anomalias negativas na região do Oceano Atlântico Norte e positiva no Oceano Atlântico Sul, mostram uma situação contrária à descrita anteriormente. O índice DCU não demonstrou correlações com significância estatística com nenhuma das regiões. Ainda na Tabela 3, observa-se que os índices R95p e Rx5day, apresentaram correlações negativas com as duas regiões do Oceano Pacífico e com a região TNA, do Atlântico, mostrando que os extremos de chuva no n-NEB podem ser explicados pelas anomalias de TSM nas regiões especificadas.

Tabela 3 – Correlações entre as médias anuais dos índices extremos de chuva com as anomalias médias anuais da TSM. Onde (*) representa uma significância estatística de 90%, (**) de 95% e (***) de 99%.

	DCS	DCU	R95p	Rx5day
Niño 1+2	-	-	-0,408***	-0,340 ***
Niño 3	-	-	-0,382***	-0,291**
TNAI	0,266**	-	-0,394***	-0,231*
TSAI	-0,225*	-	-	-

3.3. Índices Climáticos e IVDN

A dependência do IVDN, que é indicador do vigor da vegetação, sobre o elemento climático precipitação tem sido utilizada para o monitoramento da vegetação (Braga et al., 2003). Barbosa et al. (2006) observaram que os valores do IVDN no NEB tendem a aumentar em anos chuvosos, com o aumento da densidade e vigor da vegetação, diminuindo consideravelmente em anos secos. Wang e Eltahir (2000) analisaram o papel da dinâmica da vegetação no aumento da variabilidade da baixa frequência das chuvas no Sahel e, concluíram que a resposta do clima regional a forçantes de grande escala é de certa forma regulada pela dinâmica da vegetação. Gurgel (2000) analisou as conexões entre o IVDN e as flutuações climáticas sobre o Brasil revelando sua variabilidade anual e interanual e a reação dos diferentes biomas à precipitação. Portanto, é importante correlacionar os índices de extremos de precipitação considerados mais importantes para o NEB, obtidos neste trabalho, com o IVDN. Por outro lado, como a vegetação dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte apresenta características distintas entre o Leste, Mata Atlântica, e o Sertão, Caatinga, torna-se necessário separar os índices descritos anteriormente e o IVDN de cada uma das áreas, ou seja, Leste e Sertão, e correlaciona-los.

De acordo com a Tabela 4, o índice DCU demonstrou correlação positiva com significância de 90%, com o IVDN do Leste e de 99% com o IVDN do Sertão. Os índices referentes às maiores intensidades de chuva (R95p e Rx5day) demonstraram fortes correlações positivas para o IVDN de ambas as regiões, com significância estatística de 99%. Estes resultados mostram a forte relação da dinâmica da vegetação, principalmente do bioma Caatinga, com os eventos extremos de chuva. Portanto, observa-se que o IVDN do Sertão é mais dependente dos extremos de precipitação que o do Leste, pois todos os índices, com exceção do DCS, apresentaram correlações com significância estatística de 99% com o IVDN dessa região. A relação menos intensa da dinâmica vegetativa do Leste com os extremos de chuva, dar-se ao fato da vegetação não variar muito suas características entre a época chuvosa e a seca, diferentemente da dinâmica do bioma Caatinga que varia consideravelmente sua estrutura entre as estações chuvosas e secas. Estes resultados concordam com Barbosa (1999).

Tabela 4 – Correlações entre as médias anuais regionais dos índices extremos de chuva com as médias anuais regionais do IVDN.

	DCS	DCU	R95p	Rx5day
IVDN (Leste)	-	0,452*	0,604***	0,567**
IVDN (Sertão)	-	0,786***	0,848***	0,901***

4. CONCLUSÕES

Nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba durante um período médio de 65 anos, compreendido entre 1935 a 2000, diagnosticou-se um aumento no número de dias com chuvas, na precipitação total anual e no número de dias extremamente úmidos, como também, em algumas regiões um aumento na ocorrência de chuvas superiores a 50 mm. As configurações da precipitação total anual apontam para um caráter global, pois em todas as localidades em que apresentaram $p < 0,1$ as tendências desse índice foram crescentes, o que caracteriza uma configuração de grande escala. Porém, não pode ser afirmado categoricamente que essas tendências estão relacionadas apenas com uma mudança global do clima, pois, para áreas isoladas verificou-se tendências negativas e positivas em todos os outros índices analisados, demonstrando também a contribuição de fatores regionais. Os possíveis elementos de caráter regional que podem ter modificado o clima dessas áreas são o mau uso dos ecossistemas e dos solos, entre outros, e em determinados casos, a soma de fatores.

As correlações entre as tendências dos índices e as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico demonstraram a forte influência das anomalias de TSM de ambos os Oceanos sobre a precipitação da região estudada, fortalecendo assim, estudos que mostram a atuação do ENOS e do Dipolo do Atlântico como de grande influência sobre o clima do NEB. Os índices extremos de chuva, com exceção para os dias consecutivos secos, demonstraram forte correlação com a dinâmica vegetativa do bioma Caatinga, identificando que o IVDN do Sertão é mais dependente dos extremos de precipitação do que o da região do Leste, composto pelo bioma Mata Atlântica.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa para o desenvolvimento dessa pesquisa; aos pesquisadores Xuebin Zhang e Feng Yang do Serviço de Meteorologia do Canadá por disponibilizarem gratuitamente o software RCLimindex 1.9.0; à Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, da Universidade Federal de Campina Grande, por permitir o uso de sua infra-estrutura; aos professores Dr. Tércio Ambrizzi, IAG/USP, e Dra. Célia Campos Braga, UACA/UFCG, pelas devidas sugestões nas discussões da pesquisa. Aos revisores anônimos pelas valiosas correções e sugestões propostas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, H. A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85**. 1999, 164 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.
- BARBOSA, H. A., HUETE, A. R., BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, p. 288-307, 2006.
- BRAGA, C. C., BRITO, J. I. B., SANSIGOLO, C. A., RAO, T. V. R. Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 1, p. 149-157, 2003.
- BRITO, J. I. B. **Modelo Regional para Estimativa do Balanço Hídrico Aplicado à Variabilidade Climática da Nordeste do Brasil**. 2000, 148 p., Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.
- CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY. **RClimdex (0.9) User Manual**, 2004, 25p.
- GURGEL, H. C. **Variabilidade Espacial e Temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. 2000, 120p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2000.
- HASTENRATH, S., GREISCHAR, L. Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies. **Journal of Climate**, v. 6, p. 743-758, 1993.
- HASTENRATH, S., HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 110, p. 411-425, 1977.
- HAYLOCK, M. R., PETERSON, T. C., ALVES, L. M., AMBRIZZI, T., ANUNCIACÃO, Y. M. T., BAEZ, J., BARROS, V. R., BERLATO, M. A., BIDEGAIN, M., CORONEL, G., GARCIA, V. J., GRIMM, A. M., KAROLY, D., MARENGO, J. A., MARINO, M. B., MONCUNILL, D. F., NECHET, D., QUINTANA, J., REBELLO, E., RUSTICUCCI, M., SANTOS, J. L., TREBEJO, I., VINCENT, L. A. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 19, p. 1490-1512, 2006.
- IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Summary for Policy Makers Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>. Acesso em 10 de julho de 2007.
- IPCC. **Climate Change and Biodiversity**. Cambridge, University Press, 2002, 86 p.
- LIEBMANN, B., VERA, C. S., CARVALHO, L. M. V., CAMILLONI, I., HOERLING, M. P., BARROS, V. R., BÁEZ, J., BIDEGAIN, M. An observed trend in central South American Precipitation. **Journal of Climate**, v. 17, p. 4357-4367, 2004.
- MAGALHÃES, A.R. GLANTZ, M.H. **Socio-Economic Impacts of Climate Variations and Policy Responses in Brazil**. United Nations Environment Program, Esquel, Brasilia, 1992, 155 p.
- MELO, A.B.C. **Previsibilidade da precipitação na região semi-árida do Nordeste do Brasil, durante a estação chuvosa, em função do comportamento diário das chuvas na pré-estação**. 1997, 124 p., Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1997.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2 ed. – Viçosa: UFV, 2003, 307 p.
- MOURA, A. D., SHUKLA, J. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal Atmospheric Science**, v. 38, n. 12, p. 2653-2673, 1981.
- ROPELEWSKI, C. F., HALPERT, M. S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El-Nino Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1606-1626, 1987.
- ROPELEWSKI, C. F., HALPERT, M. S. Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 2, p. 268-284, 1989.
- SANTOS, C. A. C. **Estimativas e Tendências de Índices de Detecção de Mudanças Climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**, 2006, 98 p., Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

- SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 58, p. 575–596, 2004.
- WANG, G. L., ELTAHIR, E. A. B. Role of vegetation dynamics in enhancing the low-frequency variability of the Sahel rainfall. **Water Resources Research**, v. 4, n. 4, p. 1013-1021, 2000.
- XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva - Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional**, Cap.3 e 6 / Cap.11, ABC Editora, Fortaleza-Ceará, 2001, 478 p.
- XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; SILVA-DIAS, M. A. F.; SILVA-DIAS, P. L. Interrelações entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas Bacias Hidrográficas do Ceará, **Revista Brasileira Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 111-126. 2003.
- ZHANG, X.; YANG, F. **RClimDex (1.0) User Guide**. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 2004, 22p.