

TENDÊNCIAS DE ALTERAÇÕES NA PRECIPITAÇÃO NA ÁREA DE ATUAÇÃO DA EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS

Marcus Aurelio Soares Cruz¹, Ana Alexandrina Gama da Silva², Julio Roberto Araujo de Amorim³, André Quintão de Almeida⁴, José Ivaldo Barbosa de Brito⁵

¹Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, E-mail: marcus.cruz@embrapa.br; ² Identificação, Local de trabalho, Cidade, Estado, E-mail; ³Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, E-mail: julio.amorim@embrapa.br; ⁴ Professor, Departamento de Engenharia Agrícola da UFS, São Cristóvão, Sergipe, andreqa@gmail.com; ⁵ Professor Meteorologia, UFCG, Campina Grande, PB, jose.ivaldo@ufcg.edu.br

RESUMO: Além da região fisiográfica dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste, a Área de Atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros (AETC) contempla áreas adjacentes, como a Baixada Litorânea e o Agreste, concentrando significativa parte das atividades agropecuárias da região com forte dependência da ocorrência de precipitações. Recentes relatórios do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas indicam tendências a significativas reduções nos volumes de chuva sobre a região Nordeste do Brasil (NEB), com impactos ainda desconhecidos sobre a sociedade e economia regional. Os índices de mudanças climáticas propostos pelo método RCLIMDEX foram aplicados às séries históricas de precipitação de 158 postos de chuva em quatro regiões da AETC, obtendo-se linhas de tendência e seus coeficientes angulares. Esses coeficientes foram padronizados e considerados como critério comparativo entre as regiões que compõem a AETC, gerando-se mapas que possibilitaram a análise espacial. Os índices revelaram diferenças significativas nas características das chuvas nas quatro regiões analisadas, com a maioria dos postos de chuva apresentando tendências de redução nos volumes precipitados. A Região 4, composta pelo Estado do Ceará e parte oeste do Rio Grande do Norte, apresentou índices com tendências mais críticas considerando a disponibilidade de chuvas. Apenas os índices R10mm, R20mm e PRECPTOT mostraram significância estatística nas tendências de redução para toda AETC. A análise espacial permitiu avaliar que postos com tendências de maior criticidade nos índices, do ponto de vista de disponibilidade de chuvas, situaram-se, em grande parte, na porção interior da AETC, próximos à zona de transição com o Semiárido do NEB.

PALAVRAS-CHAVE: Índices RCLIMDEX, linha de tendência, análise espacial.

TRENDS OF CHANGES IN RAINFALL IN THE WORKING AREA OF EMBRAPA COASTAL TABLELANDS

ABSTRACT: Besides the physiographic region of Coastal Tablelands of the Brazilian Northeast, the working area of Embrapa Coastal Tablelands (AECT) covers adjacent areas, such as Baixada Litorânea and Agreste, concentrating significant part of the agricultural activities of the region with a strong dependence on the occurrence of rainfall. Recent reports from the Brazilian Panel on Climate Change indicate trends towards significant reductions in rainfall volumes over the Northeast region of Brazil (NEB), with still unknown impacts on society and regional economy. Climate change indices proposed by the RCLIMDEX method were applied to the historical precipitation series from 158 rainfall stations in four regions of AECT, adjusting trend lines and determining their angular coefficients. These coefficients were standardized and considered as a comparative criterion among the regions composing AECT, generating maps that allowed the spatial analysis. Indices revealed significant differences in rainfall

characteristics in the four analyzed regions, with most of the rainfall stations showing trends of reduction in the rainfall volumes. Composed of the State of Ceará and the western part of the State of Rio Grande do Norte, Region 4 showed indices with more critical trends considering the availability of rainfall. Only R10mm, R20mm, and PRECPTOT indices revealed statistical significance in the trends of reduction for all AECT. Spatial analysis allowed assessing that stations with more critical trends in the climatic changes indices, in terms of rainfall availability, were to a large extent located in the inner portion of AETC, near the transition zone with the Semiarid of NEB

KEY-WORDS: RCLIMDEX indices, trend line, spatial analysis.

INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil (NEB) é caracterizada historicamente por uma sucessão de eventos climáticos extremos, principalmente associados às grandes secas, com perdas econômicas e impactos sociais muitas vezes incomensuráveis (BRASIL, 2005). A grande variabilidade espacial e temporal das precipitações nessa região está associada aos diversos sistemas atmosféricos que atuam na sua formação. Em geral, os principais sistemas meteorológicos que governam o regime de chuvas na região são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano Atlântico, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN); Frentes Frias e Ondas de Leste. Além destes mecanismos, há também a atuação das linhas de Instabilidade (LI), dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), e do efeito das brisas marítima e terrestre na precipitação (FERREIRA; MELLO, 2005). Além disso, a forma de atuação destes sistemas depende de uma combinação de forças de eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS); Temperatura da superfície do mar (TSM) na bacia do oceano Atlântico, Ventos Alísios, Pressão ao Nível do Mar (PNM).

Estudos sobre a influência de cada sistema no comportamento das precipitações têm sido dificultados pela ocorrência de modificações nos padrões climáticos decorrentes das mudanças no clima. Desde a década de 80, evidências científicas sobre a possibilidade de mudança do clima em nível mundial vêm despertando interesses crescentes no público e na comunidade científica em geral (MARENGO, 2008). Considerando-se uma abordagem por bioma na região Nordeste, o Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2016) forneceu os resultados da compilação das projeções de modelos de mudança climática para cenários futuros de temperaturas e precipitação, indicando, por exemplo, projeções de redução nas chuvas da ordem de 35%, na Mata Atlântica da região Nordeste, e de até 50% na Caatinga até o ano de 2100.

Assim, este estudo regional busca avaliar tendências de mudanças nas precipitações na região de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros no NEB, propondo e aplicando uma metodologia simples e buscando contribuir para subsidiar a tomada de decisão quanto às políticas públicas e ações de pesquisa na região.

MATERIAL E MÉTODOS

A região de estudo, denominada aqui de Área de Atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros (AETC), contempla, além da região fisiográfica dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste, algumas áreas adjacentes, incluindo a Baixada Litorânea e o Agreste nordestino (Figura 1). Essa região está compreendida entre as coordenadas geográficas 2°47' S, 41°26' W e 18°21' S, 34°46' W, abrangendo 570 municípios, nos

estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, com uma área total de aproximadamente 219,5 mil km² (EMBRAPA, 2014). Abriga uma população total de 27,1 milhões de habitantes, com grande concentração nas regiões metropolitanas, com cerca de 22,7 milhões de pessoas (IBGE, 2010). As principais atividades econômicas desenvolvidas são agricultura (cana-de-açúcar, milho, mandioca, fruteiras), criação de gado e exploração mineral, principalmente petróleo, gás natural e potássio.

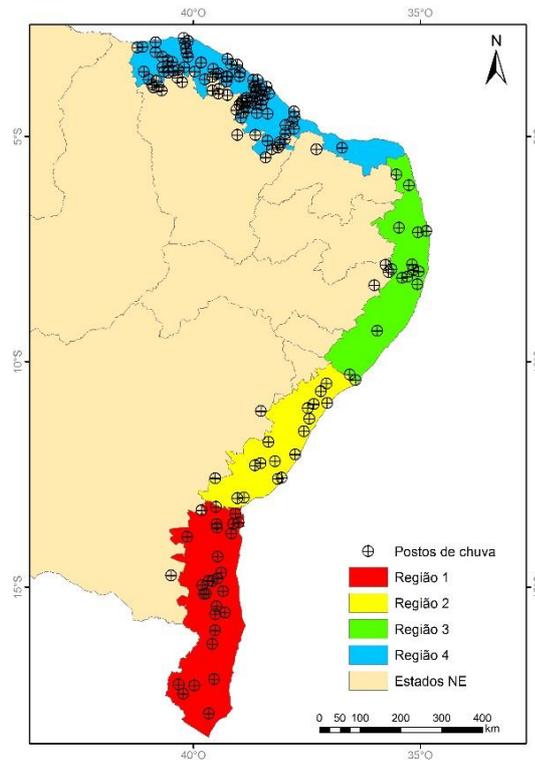


Figura 1. Localização da Área da Atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros (AETC) e suas quatro regiões, segundo o comportamento das precipitações, com indicação da localização dos postos pluviométricos utilizados no estudo.

Pela sua extensão, a AETC apresenta grande variabilidade de clima, solos, relevo e vegetação. A precipitação anual média varia entre 500 mm e 2.300 mm, com temperaturas anuais médias em torno de 26°C (INMET, 2017). Para efeito deste estudo, a AETC foi dividida em quatro regiões distintas, segundo o comportamento das precipitações:

- Região 1: Inicia na divisa dos estados da Bahia e Espírito Santo estendendo-se até a cidade de Valença na Bahia. Caracteriza-se como a de maior precipitação média anual, variando em torno de 1.300mm a 2.300 mm, com período de chuvas de novembro a julho.
- Região 2: Estende-se da cidade de Valença-BA até o rio São Francisco na divisa dos estados de Sergipe e Alagoas. Apresenta precipitação média anual variando de 1.050 a 1.850 mm distribuída nos meses de março a setembro.
- Região 3: Parte da divisa entre os estados de Sergipe e Alagoas e vai até a cidade de Touros no Rio Grande do Norte. A precipitação média anual, pode variar desde 1.200 até 2.300mm com período chuvoso de fevereiro a setembro.

- Região 4: Estende-se da cidade de Touros-RN até a divisa dos Estados do Ceará e Piauí. Esta região se caracteriza por apresentar baixa precipitação média anual, variando entre 500 e 1.600 mm por ano, concentrada nos meses de janeiro a julho.

Na AETC, há predominância do relevo plano a ondulado, com altitude média de 50 m a 100 m e platôs de origem sedimentar, que apresentam grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora abertos com encostas suaves e fundos com amplas várzeas (PEREIRA; CESTARO, 2012). De modo geral, os solos são profundos e de baixa fertilidade, pode-se destacar a ocorrência de Argissolos, Latossolos e Neossolos Quartzarênicos. Os solos apresentam, de forma geral, carência de nutrientes, baixa capacidade de retenção de água, alta suscetibilidade à erosão, além da ocorrência de horizontes coesos, limitantes ao desenvolvimento das plantas devido à elevada resistência à penetração pelas raízes, quando secos. –

Os dados de precipitação diária, utilizados neste estudo, foram obtidos a partir do portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017). Assim, considerando-se um *buffer* de 5 quilômetros nos limites internos da AETC, com a finalidade de abranger postos pluviométricos na região de transição (Agreste–Semiárido), foram obtidos 760 postos. Em seguida, elaborou-se uma rotina em R (R CORE TEAM, 2017) para realizar a seleção, considerando-se apenas os postos que dispunham de séries com mais de 30 anos de dados, menos de 20% de falhas e período recente (até pelo menos dezembro de 2015). Esta rotina procedeu ainda ao preenchimento das falhas e à análise de consistência das séries, utilizando-se, como base comparativa, o produto *Brazil Gridded Meteorological Data* (XAVIER et al., 2016). Então, após todo o processamento, foram selecionados 158 postos pluviométricos com séries históricas diárias completas para o período de 1985 a 2015. A maioria desses postos está situada na Região 4 (93), seguida pela Região 1 (29), Região 2 (20) e Região 3 (16). Na Tabela 1, podem ser visualizadas a identificação e caracterização dos postos pluviométricos considerados no estudo. Esses postos estão apresentados por região na Figura 1.

Tabela 1. Postos de registros de precipitação selecionados

As séries históricas de precipitação diária de cada posto foram utilizadas para o cálculo de alguns índices de precipitação conforme orientação da Tabela 2, podem ser desenvolvidas outras otimizações em R para calcular os valores dos índices, que são estimados pela média de cada região, em virtude de suas diferentes condições geográficas e climáticas, e estimados pelo coeficiente angular da reta ajustada a esses valores plotados com relação aos anos, indicando a tendência, positiva ou negativa, de aumento ou redução no valor do índice ao longo das séries. Aos grupos de coeficientes em cada região, foi aplicada a análise estatística pelo teste *t*-Student no R, com um nível de significância de 0,05, visando-se indicar a tendência predominante nos postos pluviométricos em cada região. Em seguida, foram gerados mapas de tendências dos índices para todos os postos por região por meio do SIG ArcGIS 10.1.

Tabela 2. Índices RCLIMDEX utilizados na avaliação na AETC.

Índice	Identificação	Fórmula
Rx1day	Máxima precipitação mensal por ano	$Rx1day_j = \max(RR_{ij})$, onde RR_{ij} é a precipitação diária no dia i no período j

N. Registro	Nome	Latitude	Longitude	Altitude	N. Região	Posto	Nome	Latitude	Longitude	Altitude	N. Região	Posto	Nome
1	1134000 SANTA LUZ	-13.601	-39.492	171.0	54	735036	PONTE DA BATALHA	-7.130	-35.048	18.0	107	4	340049 MASSAPÉ
2	1133012 BARRA DO VALE	-13.811	-39.169	114.0	55	735050	ENGENHO SÍTIO	-7.968	-35.157	91.0	108	4	340066 ALCANTARAS
3	1133020 MATA DE	-13.567	-39.002	16.0	56	735067	SALGADINHO	-7.943	-35.634	270.0	109	4	340067 BELA CRUZ
4	1133027 GUILMARÃES	-13.685	-39.479	135.0	57	735157	CARPINA	-7.843	-35.183	184.0	110	4	340080 MORRINHOS
5	1133040 UTUBE	-13.225	-39.504	212.0	58	735158	SURUBIM	-7.855	-35.764	418.0	111	4	340082 CORREAU
6	1133038 FALTA	-13.367	-39.077	59.0	59	835048	SÃO LOURENÇO DA MATA II	-7.999	-35.032	70.0	112	4	340103 SENADOR SÁ
7	1133041 SANTINHEM	-13.298	-39.821	415.0	60	835068	VITÓRIA DE SANTO ANTÃO	-8.114	-35.284	137.0	113	4	340108 MORAUJO
8	1133044 NULO DA CAMA	-13.597	-39.125	6.0	61	835106	CARIARU	-8.303	-36.011	545.0	114	4	340109 PACUJÁ
9	1134003 UJUBO	-13.882	-40.140	199.0	62	835135	CUMARU	-8.012	-35.696	395.0	115	4	340113 MERUOCA
10	1143001 MAMTOI MINOR	-14.810	-39.471	151.0	63	835137	POMBOS	-8.141	-35.400	290.0	116	4	341010 CHAVAL
11	1143002 FLORESTA SUL	-14.860	-39.658	210.0	64	835138	PIRAPAMA	-8.279	-35.063	30.0	117	4	341018 VIÇOSA DO CEARÁ
12	1143006 PIRAPAMA	-14.327	-39.469	88.0	65	935012	MURICI - PONTE	-9.314	-35.950	82.0	118	4	341029 BARROQUINHA
13	1143007 JURE (PISANII)	-14.678	-39.389	107.0	66	240002	CAMOCIM	-2.917	-40.833	5.0	119	4	437000 ARACATI
14	1143014 SANTA CRUZ DA VITÓRIA	-14.959	-39.808	243.0	67	240007	ACARAÚ	-2.883	-40.117	7.0	120	4	437006 JAGUARUANA
15	1143009 SUCUPIRA	-14.869	-39.588	-	68	240009	ARANAÚ	-2.817	-40.217	-	121	4	437009 PALHANO
16	1144009 LUCAIA (CARRIPOS SALES)	-14.744	-40.492	989.0	69	240012	CRUZ	-2.933	-40.183	18.0	122	4	437010 RUSSAS
17	1153002 SÃO JOSÉ	-15.092	-39.346	153.0	70	338001	PICI	-3.750	-38.583	40.0	123	4	437019 FORTIM
18	1153006 PIRAPAMA	-15.961	-39.526	80.0	71	338002	PACATUBA	-3.983	-38.617	54.0	124	4	437024 ITAÍCABA
19	1153008 JURE (PISANII)	-15.139	-39.724	182.4	72	338005	MARACANAÚ	-3.900	-38.633	48.0	125	4	438009 ARAÇÓIABA
20	1153040 MASCOITE	-15.564	-39.302	41.0	73	338007	AQUIRAZ	-3.900	-38.383	30.0	126	4	438010 BATURITÉ
21	1153014 FAZENDA PANCY	-15.603	-39.517	87.0	74	338008	SÃO GONÇALO DO AMARANTE	-3.583	-38.967	84.0	127	4	438011 BAU
22	1153016 FAZENDA MAANAUS	-15.154	-39.769	180.0	75	338009	CAUCAIA	-3.750	-38.683	32.0	128	4	438021 CHOROZINHO
23	1153022 FAZENDA ARGITO	-15.425	-39.493	63.0	76	338014	UMARITUBA NOVA	-3.670	-38.982	85.0	129	4	438022 CRISTAIS
24	1163000 MINAS GERAIS	-16.265	-39.583	180.0	77	338016	MARANGUAPE	-3.900	-38.667	67.0	130	4	438032 ITAPIUNA
25	1173005 MARANGUAPE	-17.045	-39.545	80.0	78	338040	ITAINGUA	-3.950	-38.517	67.0	131	4	438036 PACOTTI
26	1173006 BELVIA (PFBM)	-17.808	-39.663	59.0	79	339000	AMONTADA	-3.363	-39.829	180.0	132	4	438051 ACARAPÉ
27	1174005 MEDICINHOS	-17.372	-40.226	-	80	339004	PENTECOSTE	-3.674	-39.267	50.0	133	4	438053 CAPISTRANO
28	1174006 SÃO JOSÉ DE PRADO	-17.188	-39.982	-	81	339023	MIRAIMA	-3.567	-39.967	70.0	134	4	438064 BARREIRA
29	1174008 TANQUE	-17.163	-40.327	-	82	339028	SÃO LUIS DO CURU	-3.674	-39.242	35.0	135	4	438069 HORIZONTE
30	1030005 PENHA	-10.285	-36.556	28.0	83	339030	TIRAI	-3.283	-39.250	20.0	136	4	438072 IBICUITINGA
31	1030007 CUCANGA	-10.406	-36.426	10.0	84	339034	URUBURETAMA	-3.617	-39.500	330.0	137	4	438084 OCARA
32	1030009 PARAQUÁ	-10.917	-37.050	4.7	85	339036	PARACURU	-3.447	-39.033	10.0	138	4	438089 PINDORETAMA
33	1030007 ZEZELÂNDIA	-10.942	-37.345	19.0	86	339037	ITAPAIÉ	-3.683	-39.583	280.0	139	4	438095 REDEÇÃO
34	1030049 SANTAROSA DE LIMA (CAMBOATA)	-10.653	-37.193	47.0	87	339040	PARAIPABA	-3.400	-39.167	26.0	140	4	438100 GUARAMIRANGA
35	1030078 PEPE	-10.483	-37.067	139.0	88	339048	AMONTADA	-3.364	-39.831	-	141	4	438101 PACAULIS
36	1113001 LIGUANO	-11.030	-37.478	92.0	89	339051	APIARES	-3.950	-39.433	-	142	4	438103 CHOROZINHO
37	1113017 TATÁRIA	-11.267	-37.443	53.0	90	339053	IRAUICUBA	-3.733	-39.750	152.0	143	4	438111 GUAUBA
38	1113027 PANAMA	-11.542	-37.566	15.0	91	339070	TEUCUOCA	-3.983	-39.583	-	144	4	438114 PALMÁCIA
39	1113022 MARIÁBOL	-11.783	-38.348	158.0	92	339075	TURURU	-3.600	-39.450	102.0	145	4	439001 QUIXADÁ
40	1113064 SÃO JOÃO DO S	-11.098	-38.513	131.0	93	339078	SÃO LUIS DO CURU	-3.667	-39.267	35.0	146	4	439003 PARAVOTI
41	1237000 CORTE GRANDE	-12.058	-37.756	34.0	94	339084	ITAPOICA	-3.500	-39.567	98.0	147	4	439008 MULUNGU

Rx5day	Máxima precipitação de cinco dias consecutivo mensal por ano	$Rx5day_j = \max (RR_{kj})$, onde RR_{kj} é a precipitação de cinco dias consecutivos terminando no dia k no período j
R1mm	Número de dias com precipitação superior a 1 mm (dias úmidos) por ano	$RR_{ij} \geq 1 \text{ mm}$
R10mm	Número de dias com precipitação superior a 10 mm por ano	$RR_{ij} \geq 10 \text{ mm}$
R20mm	Número de dias com precipitação superior a 20 mm por ano	$RR_{ij} \geq 20 \text{ mm}$
CDD	Máximo número de dias secos consecutivos por ano	$RR_{ij} < 1 \text{ mm}$
CDW	Máximo número de dias úmidos consecutivos por ano	$RR_{ij} \geq 1 \text{ mm}$
SDII	Índice simples de intensidade da precipitação	$SDII_j = \frac{\sum_{i=1}^W RR_{ij}}{W}$, $RR_{ij} \geq 1 \text{ mm}$
PRCPTOT	Precipitação anual total nos dias úmidos	$PRCPTOT_I = \sum_{i=1}^W RR_{ij}$, $RR_{ij} \geq 1 \text{ mm}$

Fonte: adaptado de Alexander et al. (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 3, são apresentadas as estatísticas realizadas para os índices avaliados. Considerando-se os valores máximos de precipitação diária (Rx1day) e de cinco dias consecutivos (Rx5day), verifica-se que a Região 2 (norte da Bahia e Estado de Sergipe) apresentou os maiores valores médios e de mediana (Q50%) em relação às demais regiões analisadas, indicando uma possível concentração de eventos intensos nessa região. Os menores valores médios e de mediana para os dois índices citados foram obtidos na Região 1 (sul da Bahia). Isto ocorre porque a Região 2 apresenta os maiores valores anuais de precipitação, devido a atuação de ondas de leste, frentes frias e VCAN (KOUSKY, 1979). A Região 4 é a que apresenta os menores totais climatológicos médios anuais, entretanto, esta região apresenta uma grande variabilidade interanual da precipitação e um menor período de chuvas (HASTENRATH e HELLER, 1977) o que produz chuvas mais intensas concentradas em poucos dias. Na Região 1 os totais médios anuais de chuvas são equivalentes aos da Região 3, porém as chuvas ocorrem quase ao longo de todo ano, com um pequeno período seco, enquanto, na Região 3, são mais concentradas em períodos mais curtos, mas ainda superior ao da Região 4. Portanto, os resultados obtidos estão de acordo com os regimes de chuva observados em cada Região (KOUSKY, 1980).

Tabela 3. Estatística dos Índices RCLIMDEX obtidos nas quatro regiões da AETC.

Índice	Est.	Reg.1	Reg.2	Reg.3	Reg.4	Índice	Est.	Reg.1	Reg.2	Reg.3	Reg.4
Rx1day	Min.	31,7	37,2	31,7	34,0	CDD	Min.	11,9	14,9	15,6	57,8
	Q25%	54,2	63,5	56,2	57,8		Q25%	18,5	23,8	29,3	118,2
	Q50%	72,6	84,3	77,3	77,0		Q50%	24,8	33,4	42,2	149,2
	Media	68,6	80,0	71,0	73,1		Media	23,4	30,0	37,6	152,1
	Q75%	85,4	99,4	90,8	91,9		Q75%	29,6	40,3	50,3	180,9
	Max.	147,4	165,4	167,8	150,4		Max.	49,6	75,4	99,4	235,1

Rx5day	Min.	61,1	75,1	56,7	65,0	CWD	Min.	3,8	4,0	3,3	2,0
	Q25%	102,8	118,2	103,6	106,4		Q25%	6,7	7,0	5,7	4,1
	Q50%	132,6	158,1	137,2	138,4		Q50%	9,4	9,9	8,8	7,4
	Media	125,4	149,1	127,0	131,4		Media	8,4	8,9	7,8	5,6
	Q75%	157,2	188,9	157,4	162,3		Q75%	10,9	11,6	10,3	8,1
	Max.	247,0	293,7	312,6	264,6		Max.	23,8	22,8	25,4	30,3
R10mm	Min.	16,4	20,5	12,7	11,1	SDII	Min.	0,6	0,7	0,6	0,6
	Q25%	29,7	31,9	26,5	22,0		Q25%	0,9	0,9	0,8	0,9
	Q50%	36,4	38,9	33,1	31,1		Q50%	1,0	1,0	1,0	1,0
	Media	36,2	38,5	32,5	29,2		Media	1,0	1,0	1,0	1,0
	Q75%	42,7	44,1	39,6	38,8		Q75%	1,1	1,1	1,1	1,1
	Max.	60,4	65,4	55,8	65,8		Max.	1,5	1,6	1,6	1,6
R20mm	Min.	4,1	5,6	4,3	4,0	PRCPTOT	Min.	679,9	741,7	521,8	356,5
	Q25%	10,6	13,1	11,0	9,9		Q25%	1010,5	1102,2	925,3	684,2
	Q50%	14,6	17,1	15,3	15,3		Q50%	1198,9	1313,1	1149,9	984,3
	Media	14,3	16,7	14,8	14,2		Media	1189,4	1277,6	1127,8	921,9
	Q75%	18,2	20,6	19,3	19,7		Q75%	1374,7	1470,0	1344,0	1225,2
	Max.	28,0	32,5	30,4	34,6		Max.	1839,7	2177,9	1964,9	2084,0
R1mm	Min.	75,3	76,3	60,5	27,7						
	Q25%	104,7	106,0	91,6	49,2						
	Q50%	119,2	120,0	105,9	65,9						
	Media	118,5	120,4	105,3	62,0						
	Q75%	133,4	133,7	118,7	78,4						
	Max.	170,1	166,5	161,9	136,1						

O número de dias com precipitações superiores a 10 mm (R10mm) e a 20 mm (R20mm) tiveram seus maiores valores concentrados também na Região 2, correspondendo a 38,5 e 16,7 dias, em média, respectivamente. Os menores valores para esses dois índices foram observados na Região 4 (Ceará e oeste do Rio Grande do Norte), com médias de 29,2 e 14,2 dias, respectivamente, onde o clima semiárido se aproxima da faixa litorânea, predominando baixas alturas pluviométricas. Tal comportamento também foi verificado quanto ao índice R1mm, que contabiliza a ocorrência de dias úmidos, com a Região 4 apresentando, de forma geral, valores bem abaixo das demais regiões, representando a metade da média em comparação à Região 2, por exemplo. Estes valores estão em conformidade com a climatologia regional tanto em relação aos totais anuais como com a variabilidade interanual.

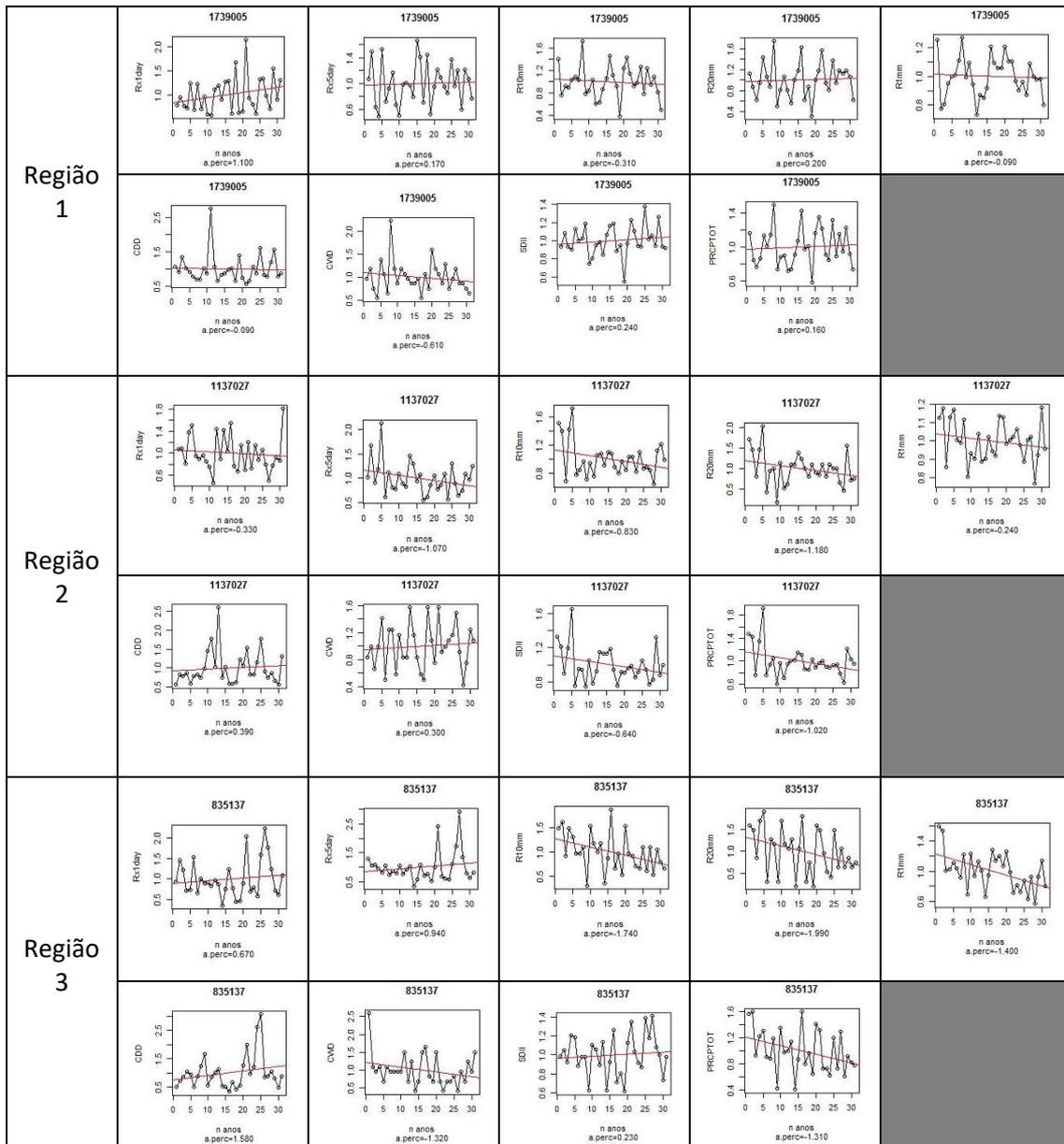
A consideração de períodos consecutivos de dias secos, representada pelo índice CDD, ressaltou a criticidade na disponibilidade de precipitações na Região 4, em que os valores se mostraram muito superiores às outras regiões, atingindo, em média, a ordem de cinco vezes mais, por exemplo, com valor de 152,1 dias secos contra 23,4 dias secos, se comparada à Região 1.

Os dias úmidos consecutivos (CWD) corrobora o comportamento apresentado pelo índice anterior, uma vez que apresentou os menores valores médio (5,6 dias) e de mediana (7,4 dias) para a Região 4, as demais regiões mostraram-se próximas quanto a esse índice, com pequena redução para a Região 3. Usando dados de reanálise do ERA-Interim, Silva Júnior (2010) obteve resultados semelhantes.

O índice SDII, que representa a intensidade simples das precipitações, não apresentou diferenças entre as regiões. Tal fato pode estar relacionado à ocorrência de maiores volumes em regiões com maior número de dias úmidos, contrabalanceando com regiões de volumes menores que, no entanto, ocorrem em períodos mais curtos, aproximando assim os valores das intensidades médias.

O índice PRCPTOT, que se refere aos totais anuais precipitados nos dias úmidos, seguiu a tendência de outros índices, como R10mm e R1mm, com volumes menores na ordem de 30%, em média, para a Região 4 em relação às demais. Para todos os índices analisados os resultados obtidos, no geral, acompanharam a climatologia da precipitação regional, tanto em valores médios como de dispersão.

Ajustadas as linhas de tendência às series históricas de cada posto pluviométrico e calculados os coeficientes angulares, esses coeficientes foram utilizados como parâmetro comparativo entre os postos e como forma de sintetizar o comportamento geral de cada região analisada. Na Figura 2, são mostrados exemplos dos gráficos elaborados pelo R para os postos avaliados com a inserção das linhas de tendência para diferentes índices. Abaixo de cada gráfico é apresentado o valor do coeficiente angular correspondente em porcentagem. De posse dos valores de tendências individuais dos postos representadas pelos coeficientes angulares padronizados, foi aplicado o teste *t*-Student aos grupos de postos de cada região, visando-se indicar a tendência com significância estatística predominante. Na Tabela 4, estão apresentados os resultados obtidos.



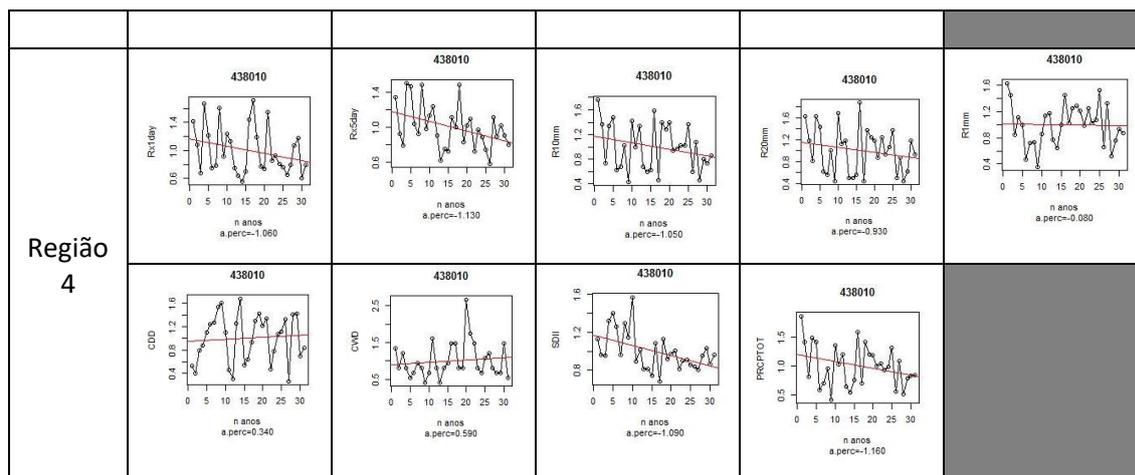


Figura 2. Gráficos exemplos da variação dos índices padronizados pela média por ano com ajuste de linha de tendência e determinação do coeficiente angular em porcentagem. Região 1 – posto 1739005, Região 2 – posto 1137027, Região 3 – posto 835137 e Região 4 – posto 438010. (postos selecionados na porção central de cada região),

Para o índice Rx1Day, verifica-se que, apenas na Região 4 (CE e oeste do RN), a tendência de redução desse índice foi predominante entre os postos avaliados. Já para o período de cinco dias (Rx5Day), essa tendência de redução mostrou-se estatisticamente significativa também para a Região 4. Porém, para a Região 3 (AL, PE, PB e leste do RN), o índice citado mostrou aumento na maioria dos postos pluviométricos, apontando para possíveis intensificações dos volumes precipitados na duração de cinco dias. Tendência essa que tem influência direta sobre os processos hidrossedimentológicos, por exemplo, podendo provocar o aumento nos processos erosivos nas bacias hidrográficas e conseqüentemente no carreamento de sedimentos aos corpos hídricos. Estes resultados concordam com as conclusões do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), que informa que em cenários de mudanças climáticas as áreas do Nordeste da América do Sul tende a ter menores volumes de precipitação, porém com intensificação de extremos climáticos (IPCC, 2013).

Os índices R10mm e R20mm apresentaram comportamentos semelhantes, com indicativo de significância estatística para a redução dos volumes precipitados nos postos acima desses limites em todas as regiões. As diferenças entre os valores de t na Tabela 4, para um mesmo índice, não podem ser comparadas entre si em virtude da variação nos tamanhos das amostras em cada região, apontando, sim, para a necessidade de maiores investimentos em redes de monitoramento principalmente nas regiões 1, 2 e 3.

O índice da quantidade de dias úmidos por ano (R1mm) mostrou uma tendência com significância estatística para redução apenas nas regiões 2 (norte da BA e Estado de SE) e 4; cenário esse preocupante, principalmente para os estados do CE e RN, onde os volumes anuais já são inferiores às demais regiões. Maior criticidade que a redução nos volumes precipitados refere-se ao aumento no número de dias secos consecutivos (CDD), extremamente prejudicial para muitas culturas agrícolas e para o suprimento de reservatórios. O referido índice mostrou significância estatística de aumento nos postos das regiões 1, 2 e 4.

Tabela 4. Valores de t para o teste t -Student considerando os coeficientes angulares das linhas de tendência dos postos localizados nas quatro regiões avaliadas na AETC.

	Rx1Day	Rx5Day	R10mm	R20mm	R1mm	CDD	CWD	SDII	PRCPTOT
Região 1	-0.960	-0.519	-2.825	-3.651	-0.194	2.280	-0.209	-2.471	-3.484
Região 2	0.373	-1.278	-6.177	-4.873	-2.151	2.293	-2.052	-1.305	-5.847
Região 3	1.650	-2.539	-4.389	-1.960	-1.506	-1.554	-2.290	-0.956	-2.700
Região 4	-2.364	-5.292	-19.959	-13.103	-10.319	4.797	-7.402	0.041	-19.551

*Valores em negrito mostraram-se significativos ($p < 0,05$).

Com relação ao índice CWD, que quantifica o número de dias úmidos consecutivos, os resultados apontam significância para redução de seus valores nos postos localizados nas regiões 2, 3 e 4, o que acrescido à interpretação anterior sobre o CCD, amplia a probabilidade de ocorrência de efeitos negativos sobre as atividades que dependem das chuvas nessas regiões.

O índice SDII, que se refere à intensidade média simples das precipitações anuais, apresentou significância estatística apenas quanto à redução em seus valores para os postos da Região 1. Os totais precipitados em dias úmidos ao ano (PRCPTOT) apresentaram redução com significância estatística em todas as regiões, indicando que para todas as amostras de postos por região houve uma predominância de tendências negativas. Ressalta-se que Silva Junior (2010) utilizando dados de reanálise do ERA-Interim obteve resultados semelhantes aos desta pesquisa. Isto de certa forma mostra consistência dos valores encontrados na presente pesquisa.

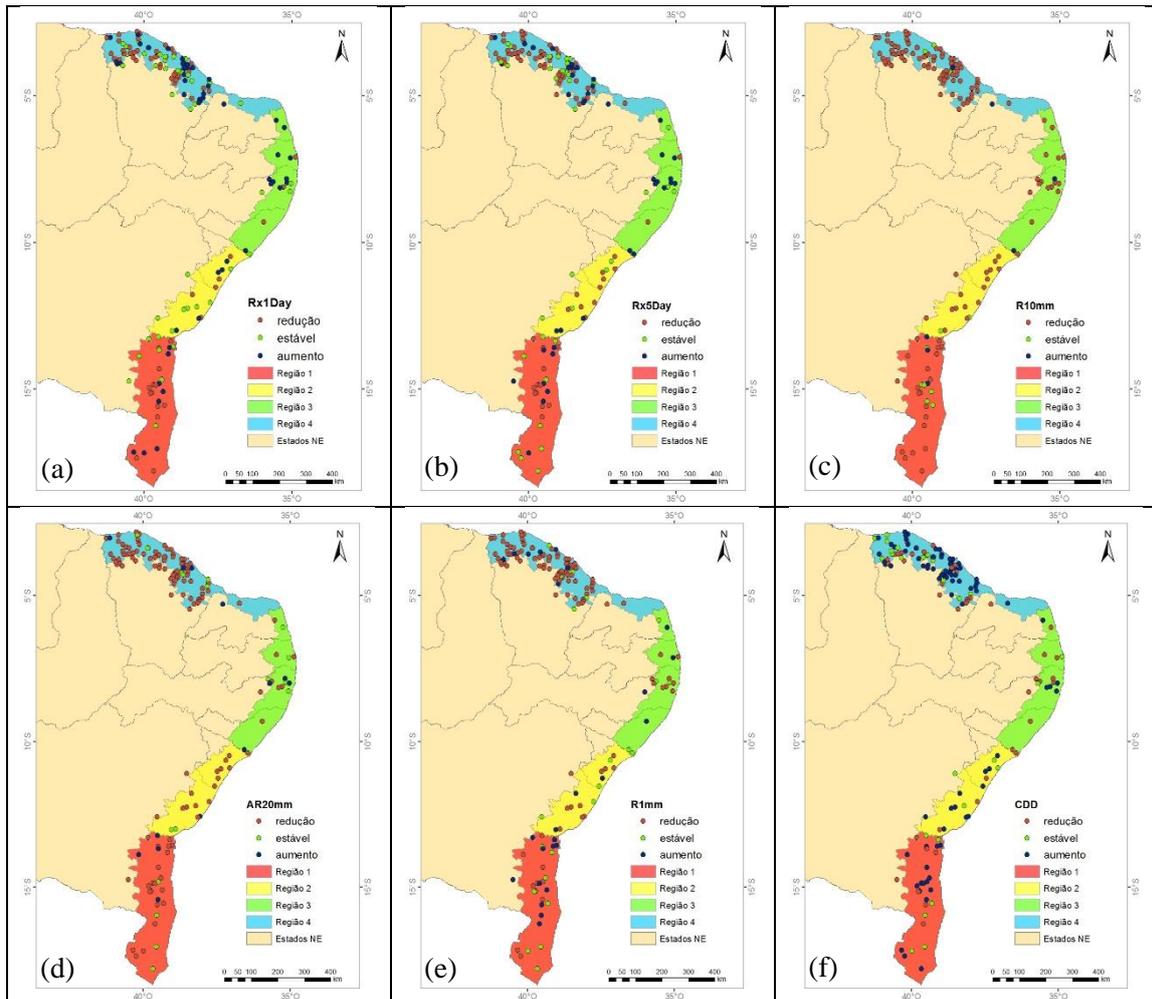
A avaliação do comportamento das tendências observadas nos postos pluviométricos, nas diferentes partes que compõe cada uma das regiões, está apresentada na forma de mapas de pontos na Figura 3. Para tanto, foi criada uma classificação com três classes para os postos quanto à tendência de cada índice: “redução”, “estável” e “aumento”. Estas classes foram definidas após a avaliação dos valores de todos os coeficientes angulares adimensionais, buscando-se selecionar limites. Assim, convencionou-se, após vários testes, que o intervalo localizado entre -0,25% e 0,25% seria o mais indicado para classificar um posto sem variação significativa, ou seja, seria classificado como “estável”. Postos com coeficientes situados abaixo de -0,25% indicariam “redução” e acima de 0,25%, “aumento”. Maior detalhamento poderia ser efetuado de forma a separar postos com indicativos de tendências mais críticas que outros dentro das classes, no entanto, a definição dos limites adequados a todos os índices demandaria análises mais aprofundadas; assim, para efeito deste estudo, esta classificação em três classes mostrou-se adequada.

Analisando-se o comportamento espacial das tendências do índice Rx1Day (Figura 3 (a)), pode ser observada uma grande variabilidade de classes em todas as regiões, apenas com uma predominância maior de postos classificados como “redução” na Região 4, localizados principalmente na porção interior do Estado do Ceará, próximos aos limites internos da AETC nessa região.

A variabilidade entre as regiões pode ser atribuída possivelmente aos diferentes sistemas climáticos que atuam na porção norte e nordeste da região Nordeste do Brasil como, por exemplo, na parte norte do Nordeste tem-se a atuação a ZCIT e VCAN, e em casos isolado a ondas de leste, enquanto, na parte sul os sistemas mais ativos são as frentes frias e seus remanescentes, ondas de leste e VCAN, quando associado à frente fria (KOUSKY, 1979, KOUSKY, 1980 E KOUSKY e GAN, 1981). Os índices R10mm e R20mm, apresentados nas Figuras 3 (c) e (d), mostraram tendência predominante de redução em todas as áreas das regiões avaliadas, com baixa variabilidade de classes. A

ocorrência de efeitos inversos em alguns postos pluviométricos pode ser justificada pela característica altimétrica distinta do posto ou ainda pela existência de microclimas locais, como os decorrentes de áreas urbanas, por exemplo, alterando a ocorrência dos eventos chuvosos em comparação aos demais postos na região.

O índice R1mm (Figura 3 (e)) apresentou-se também com variabilidade espacial alta, principalmente na Região 1, onde não há preponderância de uma tendência sobre as demais. Para as regiões 2 e 4, percebe-se um domínio de postos classificados como “redução”, espalhados aleatoriamente nas diversas porções dessas regiões. Na Região 3, postos pluviométricos classificados como “redução” para R1mm situaram-se principalmente nos estados de PE e PB.



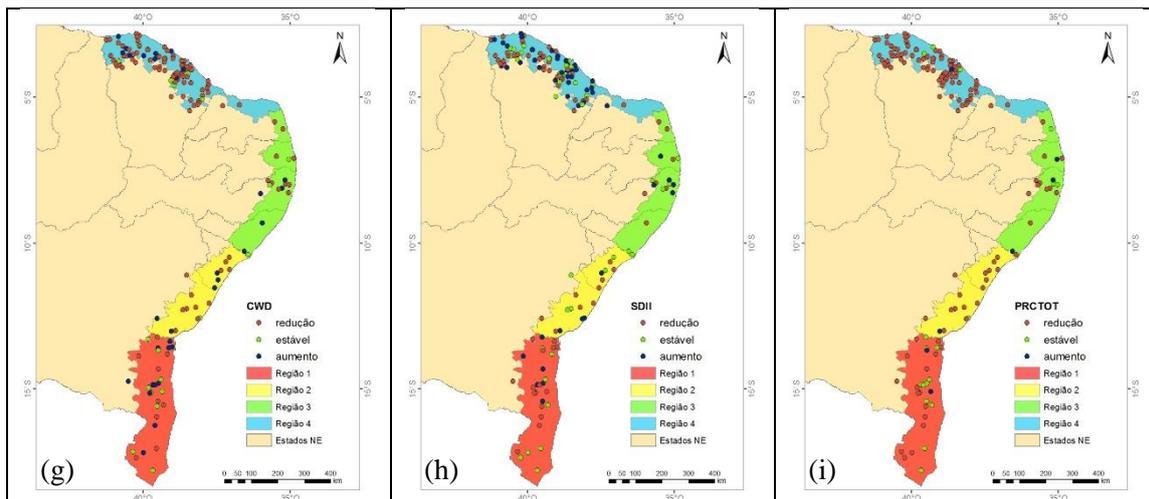


Figura 3. Distribuição espacial das tendências dos índices avaliados nos postos pluviométricos na AETC: (a) Rx1Day, (b) Rx5Day, (c) R10mm, (d) R20mm, (e) R1mm, (f) CDD, (g) CWD; (h) SDII e (i) PRCPTOT.

A quantidade de dias secos consecutivos ao ano (CDD) nos postos, mostrada na Figura 3 (f), apresentou predominância da classe “aumento” nas regiões 1, 2 e 4, principalmente nos postos situados na porção interna da AETC dessas regiões, onde há a presença de áreas de Agreste e de transição para o Semiárido.

Nas regiões 2, 3 e 4, para o índice CWD, que contabiliza dias úmidos consecutivos ao ano, a maioria dos postos pluviométricos foi classificada como “redução”, sem haver indicação de domínios sobre determinadas porções destas regiões. Apenas na Região 1 houve um equilíbrio entre os postos nas três classes para CWD (Figura 3 (g)).

O índice SDII foi o que apresentou maior variabilidade de classes, principalmente nas regiões 2, 3 e 4, com muitos postos classificados como “estável”, como pode ser observado na Figura 3 (h). Na Região 1 houve uma predominância da classe “redução” sobre as demais para esse índice, principalmente com relação aos postos situados na porção interna da AETC dessa região.

A avaliação do índice PRCPTOT mostrou que, de forma geral, a maioria dos postos pluviométricos foi classificada como “redução”, distribuídos em todas as partes das regiões analisadas. Há que se ressaltar que, na parte intermediária da Região 1, vários postos foram classificados como “estável”, apontando para um comportamento específico em uma área dessa região, o que deve ser fruto de investigações futuras.

CONCLUSÕES

Os índices de mudança climática aplicados aos dados de precipitação nos postos pluviométricos das regiões que compõem a Área de Atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros (AETC) mostraram diferenças significativas nas características das chuvas nas quatro regiões analisadas;

A metodologia proposta de avaliação das tendências nos índices mostrou-se efetiva na interpretação das mudanças nas precipitações segundo as séries históricas disponíveis para a região do estudo.

A maioria das regiões da AETC apresenta tendências de redução nos volumes precipitados.

A Região 4, composta pelo Estado do Ceará e parte oeste do Rio Grande do Norte, apresentou índices com tendências mais críticas considerando a disponibilidade de chuvas.

Apenas os índices R10mm, R20mm e PRECPTOT mostraram significância estatística nas tendências de redução para todas as quatro regiões da AETC.

A análise espacial permitiu avaliar que postos pluviométricos com tendências de maior criticidade nos índices, do ponto de vista de disponibilidade de chuvas, situaram-se, em grande parte, na porção interior da AETC, próximos à zona de transição com o Semiárido do Nordeste do Brasil (NEB).

Recomenda-se mais estudos nessa faixa do NEB em virtude da dificuldade de compreensão do comportamento climático frente aos diversos sistemas que ali atuam.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, L.V., ZHANG, X., PETERSON T.C., CAESAR J. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **J. Geophys. Res.**, v.111, p. 1-22, 2006.

ANA. **Sistemas de Informações Hidrológicas – HIDROWEB**. Agência Nacional de Águas. 2017. Disponível em: <http://www.hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 03 abr. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mudanças climáticas e suas implicações para o Nordeste**. Brasília: MMA, 2005. 232 p.

EMBRAPA. Relatório final dos trabalhos executados pela Comissão da O.S. N° 09/2014 - **Delimitação da área de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju, 2014.

FERREIRA, A.G., MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1., p.15-28, 2005.

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.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normais>. Acesso em Mai, 2017.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, p. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, E. V. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, p.488-498, 1980.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 36, n. 6, p. 538-551, 1981.

MARENGO, J.A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Mudanças ambientais de curto e longo prazo: projeções, reversibilidade e atribuição. In: **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional**. Brasília, 2016. p. 320-346.

PEREIRA, V.H.C.; CESTARO, L.A. A unidade geoambiental Tabuleiro Costeiro e o planejamento municipal: o caso de Senador Gorgino Avelino/RN. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.3, n.4, p. 390-401, 2012.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Version 3.2.2. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: Abr. 2017.

SILVA JUNIOR. Índices de monitoramento e detecção de mudanças climáticas na parte Norte do Brasil. 2010. 105f. **Dissertação** (Mestrado em Meteorologia). Centro de Tecnologia em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2010.

XAVIER, A.C., KINGB, C.W., SCANLONC, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **Int. J. Climatol.** , v. 36, n. 6, p.2644-2659, 2016.