



Tendências de Extremos de Precipitação para o Estado do Espírito Santo Trends in Extreme Precipitation over Espírito Santo State - Southeast Brazil

Pedro Regoto¹; Claudine Dereczynski¹;
Wanderson Luiz Silva²; Rhavena Santos³ & Ulisses Confalonieri³

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 – Bloco G – Cidade Universitária - 21941-916 Rio de Janeiro - RJ, Brasil

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia. Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Cidade Universitária - 21941-909 Rio de Janeiro - RJ, Brasil.
Av. Horácio Macedo, 354 - Cidade Universitária 21941-911 Rio de Janeiro - RJ, Brasil

³ Fundação Oswaldo Cruz Minas, Instituto René Rachou -
Av. Augusto de Lima, 1715 – Barro Preto 30190-002 Belo Horizonte - MG, Brasil
Emails: pedro.regoto@ufrj.br; claudine@acd.ufrj.br;
wanderweather@gmail.com; rhavena.santos@gmail.com; uconfalonieri@gmail.com

Recebido em: 07/02/2018 Aprovado em: 04/04/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_365_381

Resumo

Neste trabalho elaboram-se análises da variabilidade espacial das tendências dos indicadores de extremos de precipitação no estado do Espírito Santo (ES). Além disso, são analisadas as climatologias (1971-2010) de indicadores de tais extremos. O objetivo é detectar possíveis mudanças no comportamento da precipitação, a fim de contribuir com medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Para isso são utilizadas séries de chuva diária, com mais de 40 anos de dados, coletados em 80 postos da Agência Nacional de Águas localizados no ES. Os 5 indicadores anuais analisados neste trabalho são: total pluviométrico (PRCPTOT); percentil 95 da precipitação diária (R95p); máxima precipitação em 5 dias consecutivos (RX5day); número de dias do ano em que a precipitação diária é igual ou superior a 30 mm (R30mm) e número máximo de dias secos consecutivos no ano (CDD). Os resultados referentes às climatologias dos indicadores mostram que os máximos de PRCPTOT se encontram à barlavento da Serra do Castelo (2097 mm) e sobre a Serra do Caparaó (1890 mm). PRCPTOT é reduzida em direção ao norte do estado, onde um mínimo de 873 mm ocorre sobre o sul da mesorregião Noroeste, uma área afastada do oceano e à sotavento da Serra do Castelo. A distribuição espacial dos demais índices de precipitação acompanham o padrão descrito para PRCPTOT, ou seja, máximos (mínimos) de R95p, RX5day e R30mm e mínimo (máximo) de CDD sobre as regiões serranas (mesorregiões Noroeste e Litoral Norte). A frequência e intensidade dos dias chuvosos e da precipitação diária extrema estão aumentando no estado do Espírito Santo, principalmente na região sul. Além disso, aumentos em CDD predominam no estado, indicando um prolongamento da estação seca e, portanto, uma má distribuição da precipitação ao longo do ano.

Palavras-chave: mudanças climáticas; climatologia; chuva; Região Sudeste do Brasil

Abstract

This study provides analyzes of the spatial variability of trends in extreme precipitation over Espírito Santo State (Southeast Brazil). We also examine the climatology (1971-2010) of extreme precipitation indices. The objective is to detect possible changes in extreme precipitation behavior in order to contribute to mitigation and adaptation measures to climate change. We examine daily rainfall dataset with more than 40 years of data observed at 80 rain gauges stations operated by the Brazilian National Water Agency. The 5 annual indices analyzed in this study are: total precipitation (PRCPTOT); 95th percentile of daily precipitation (R95p); maximum consecutive 5-day precipitation (RX5day); count of days when precipitation is greater or equal 30 mm (R30 mm) and maximum number of consecutive dry days in the year (CDD). Our results indicate that maximum PRCPTOT are located at the windward side of the Serra do Castelo (2097 mm) and on the Serra do Caparaó (1890 mm). PRCPTOT is reduced towards the north of the state, where a minimum of 873 mm occurs on south of the Northwest region. The spatial distribution of the other precipitation indices follows the pattern described for PRCPTOT: R95p, RX5day and R30mm maximum (minimum) and CDD minimum (maximum) over the mountainous regions (Northwest and North Coast mesoregions). The frequency and intensity of the rainy days and extreme daily precipitation have been increasing in Espírito Santo state, mainly at south region. Additionally, increases in CDD predominate in the state, indicating a prolongation of the dry season, and therefore poor distribution of rainfall throughout the year.

Keywords: climate change; climatology; precipitation; Southeast Brazil

1 Introdução

De acordo com o Quinto Relatório de Avaliação (Assessment Report – AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change), a temperatura do ar mediada globalmente, sofreu um aumento de 0,89°C no período 1901-2012. Cada uma das três décadas passadas (1981-1990, 1991-2000 e 2001-2010) tem sido sucessivamente mais quentes na superfície terrestre, em relação às décadas anteriores. Ademais, os dias quentes e noites quentes estão se elevando significativamente, em contraste com dias frios e noites frias, que estão sofrendo redução (IPCC, 2013).

Um dos mais importantes impactos do aquecimento global sobre a sociedade é o aumento na frequência de ocorrência de eventos de chuvas intensas (Muller *et al.*, 2011). Tal aumento está associado a uma taxa maior de vapor d'água numa atmosfera mais aquecida (Trenberth, 1999; Pall *et al.*, 2007). Mudanças na intensidade da precipitação diária podem afetar a frequência das enchentes, o desenvolvimento das culturas agrícolas, os recursos hídricos e outros sistemas humanos e naturais sensíveis à água. Portanto, a investigação de como a intensidade da precipitação está sendo modificada no clima presente é relevante para o entendimento de seu comportamento futuro.

De acordo com Allen & Ingram (2002), Held & Soden (2006) e O'Gorman & Schneider (2008), a precipitação média global parece ser limitada energeticamente e aumenta a uma modesta taxa de aproximadamente 2%.K⁻¹. Contudo, eventos de precipitação extrema não são limitados pelo balanço energético global e poderiam aumentar a uma taxa maior sob cenários de aquecimento global.

Durante décadas, a maior parte das análises de detecção de mudanças climáticas globais utilizando dados observacionais se baseava em mudanças nos valores médios de precipitação e temperatura do ar (Alexander *et al.*, 2006). Contudo, nem sempre um aumento na média está relacionado com um aumento dos extremos. As mudanças nos extremos de precipitação como, por exemplo, aumento na frequência de chuvas intensas ou de secas severas, aumento na quantidade de precipitação durante eventos de chuvas intensas, têm um impacto muito maior na sociedade e ecossistemas em geral do que um aumento dos valores médios (Karl *et al.*, 1997; Easterling *et al.*, 2000; Meehl *et al.*, 2000 e Frich *et al.*, 2002).

Estudos envolvendo indicadores de extremos de precipitação na América do Sul revelam tendências de aumento de tais indicadores, principalmente sobre a região Sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e na região norte e central da Argentina (Haylock *et al.*, 2006; Alexander *et al.* 2006; Marengo *et al.*, 2010; Rusticucci *et al.*, 2010 e Skansi *et al.* 2013). Redução na precipitação foi identificada no sul do Peru e no sul do Chile (Haylock *et al.*, 2006 e Skansi *et al.*, 2013).

No Brasil, a maior parte dos resultados de estudos envolvendo tendências de indicadores de extremos de precipitação indicam que o clima está se tornando mais úmido nas últimas décadas (Marengo & Camargo, 2007; Marengo & Valverde, 2007; Obregón & Marengo, 2007; Barros *et al.*, 2008; Dufek & Ambrizzi, 2008; Marengo *et al.* 2010; Nobre *et al.*, 2010; Dereczynski *et al.*, 2013; Pinheiro *et al.*, 2013; Luiz Silva & Dereczynski, 2014; Santos, 2010; Luiz Silva *et al.*, 2015; Ávila *et al.*, 2016 e Zilli *et al.*, 2016).

Obregón & Marengo (2007) mostram tendências estatisticamente significativas de redução no total pluviométrico anual (PRCPTOT) apenas no Município de Nova Friburgo (RJ), em 2 estações no oeste de Minas Gerais e em 2 estações no oeste do Amazonas. Por outro lado, os pesquisadores verificaram tendências positivas estatisticamente significativas em várias estações na Região Sul do Brasil, em Cuiabá e no Estado de São Paulo. Também para o Estado de São Paulo, Dufek & Ambrizzi (2008) sugerem que esteja ocorrendo um aumento na intensidade da precipitação, com um significativo aumento em PRCPTOT em mais de 45% dos postos pluviométricos analisados.

Na cidade de São Paulo, Nobre *et al.* (2010) mostram que para a estação do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, as chuvas intensas têm se tornado mais frequentes. Totais pluviométricos diários superiores a 50 mm, que ocorriam com frequência média de 9 vezes a cada 10 anos na década de 1930, passaram a ocorrer com frequência de 40 vezes na década de 2000.

Para o Estado do Rio de Janeiro, Luiz Silva & Dereczynski (2014) mostram uma tendência estatisticamente significativa de aumento de PRCPTOT nas Baixadas Litorâneas. Os autores também verificaram uma elevação significativa dos totais pluviométricos associado às chuvas intensas (R95p) nas Baixadas Litorâneas e em parte da região Metropolitana. Na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (RSRJ), Ávila *et al.* (2016) mostram

aumento em PRCPTOT, com tendências positivas em 60% das estações. De acordo com esses autores, na RSRJ as chuvas estão ocorrendo de forma concentrada, e especialmente na RSRJ com redução do número de dias úmidos consecutivos (CWD). Na cidade do Rio de Janeiro, Dereczynski *et al.* (2013) mostram um aumento estatisticamente significativo na quantidade de precipitação associada às chuvas intensas na estação do Alto da Boa Vista, localizada em região florestada.

De acordo com Luiz Silva *et al.* (2015), no norte do Estado do Paraná observa-se condições mais secas. Nas estações Cambará, Ibiporã e Umuarama verifica-se uma redução estatisticamente significativa de R95p (-5 mm/ano) e também redução (-0,14 dia/ano) no número de dias no ano em que a chuva diária é superior a 30 mm (R30mm), essa apenas em Ibiporã. No sudoeste do PR, nas estações Pato Branco e Planalto o número de dias secos consecutivos no ano (CDD) está sofrendo um aumento de +0,25 dia/ano. Por outro lado, no litoral do mesmo Estado, na estação Morretes ocorre um aumento de R30mm de +0,15 dia/ano.

Resultados para a Região Serrana do Estado de Santa Catarina (RSSC) podem ser encontrados em Ávila *et al.* (2016). Os pesquisadores mostram aumento de PRCPTOT para 90% das estações. Assim como para a RSRJ os pesquisadores mostram que chuvas estão ocorrendo de forma mais concentrada.

Para o Estado do Espírito Santo (ES), região de interesse deste trabalho, resultados interessantes são encontrados em Zilli *et al.* (2016). Os pesquisadores investigam tendências nos extremos de precipitação para o período chuvoso da Região Sudeste do Brasil (outubro a março) a partir de diversos indicadores, utilizando séries de dados observacionais e também dados de chuva em pontos de grade gerados por Liebmann & Allured (2005). No ES foram utilizadas apenas três estações localizadas no sul do estado: Guaçuí, Castelo e Mimoso do Sul. Seus resultados mostram que em Guaçuí e Castelo estão ocorrendo elevações estatisticamente significativas na precipitação total, na precipitação média diária, no valor do percentil 95 da precipitação diária, no número de eventos com precipitação diária acima do percentil 95 e na precipitação excedente acima do percentil 95. Em Mimoso do Sul as tendências também são positivas, contudo não estatisticamente significativas. Os pesquisadores sugerem que esteja ocorrendo um deslocamento para sul da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e com isso a precipitação mais intensa

está se tornando mais concentrada em certas áreas da Região Sudeste do Brasil.

A economia capixaba é baseada na agropecuária, indústria e serviços, sendo que a agricultura é bastante diversificada, com culturas de origens tropical, subtropical e temperada (Feitoza *et al.*, 1979). Os portos de Tubarão e Vitória movimentam toda a parte de comércio marítimo do estado, sendo que o porto de Vitória possui um dos maiores fluxos do Brasil. Possíveis mudanças climáticas poderiam afetar todo o sistema econômico do estado, causando danos à agricultura, ao sistema portuário, e até mesmo à sociedade em si.

Nesse contexto, o presente estudo tem como motivação apoiar medidas de mitigação e de adaptação às consequências possivelmente danosas nos âmbitos socioeconômico e de vulnerabilidade que as mudanças climáticas podem acarretar ao estado do Espírito Santo. Assim, o objetivo deste trabalho é detectar as possíveis mudanças nos indicadores de extremos de precipitação através de séries de dados observacionais.

Na seção 2 são apresentados a metodologia e os dados utilizados no trabalho. Na seção 3 elabora-se uma caracterização climática do Estado do Espírito Santo. Os resultados baseados nos indicadores de extremos de precipitação são apresentados na seção 4. Finalmente na seção 5 encontram-se as conclusões e considerações finais.

2 Metodologia e Dados

Nesta seção são apresentados os dados de precipitação da Agência Nacional de Águas (ANA) e a metodologia utilizada para o tratamento desses dados. Além disso apresentam-se os dados climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os indicadores de extremos de precipitação e os testes de significância estatística utilizados neste trabalho.

2.1 Dados de Precipitação da Agência Nacional de Águas

Para a composição da climatologia dos indicadores de extremos de precipitação e análise da chuva sazonal foram utilizados dados observacionais diários de chuva de 80 postos pluviométricos (Figura 1a) provenientes do Sistema de Informações Hidrológicas (<http://hidroweb.ana.gov.br>) da ANA. Os 80 postos estão distribuídos nas 4 mesorregiões

do ES (figura 1b) da seguinte forma: 15 no Litoral Norte, 21 no Noroeste, 28 no Central e 16 no Sul. Os totais pluviométricos diários da ANA são acumulados entre 7 h (1000 UTC) do dia anterior até 7 h (1000 UTC) do dia em questão e considera-se o Horário Brasileiro de Verão (HBV). Ou seja, durante o período do ano em que se utiliza oficialmente o HBV, a observação passa a ser feita às 0900 UTC. Para gerar as climatologias dos indicadores de extremos de precipitação e para análise da chuva sazonal foi utilizado o período de 1971 a 2010 (40 anos) e para o cálculo das tendências dos indicadores utilizou-se o período total de dados disponível de cada posto pluviométrico, como apresentado na Tabela 1. Os totais pluviométricos sazonais foram calculados considerando-se as estações do verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON). As informações referentes a cada posto pluviométrico, incluindo latitude, longitude, altitude e período total das séries de precipitação diária estão apresentados na Tabela 1. De forma a manter uma uniformidade entre os resultados, foram excluídos das séries de dados os anos com mais de 25% de falhas nas séries diárias. O número de anos ausentes também é apresentado na Tabela 1.

Após excluídos os anos com mais de 25% de falhas nas séries de totais pluviométricos diários de cada um dos 80 postos apresentados na Tabela 1, foram investigados possíveis dados espúrios. Inicialmente procurou-se por valores de chuva diária inferior a 0 mm para serem excluídos da série. Ademais, todos os valores superiores a 100 mm/dia foram checados manualmente. Nos casos em que a chuva diária ultrapassa 100 mm e não ocorre chuva nos dias anterior e posterior e também não ocorre precipitação em nenhum outro posto próximo, o valor é excluído da série de dados. Após essa etapa de tratamento dos dados, a série mais curta (São João da Cachoeira Grande) que se estendia de 1981 a 2013 (33 anos) ficou reduzida a 30 anos de dados, após serem excluídos os anos de 1981, 1987 e 1989, e além disso, 4 dados de chuva diária foram descartados da série por serem considerados espúrios. Por outro lado, a série mais longa (Vitória), que se estendia de 1925 a 2013 (89 anos), ficou reduzida a 75 anos, após a exclusão dos anos 1959 a 1969, 1991, 2001 e 2002 e além disso, 39 dados de chuva diária estavam ausentes ou foram excluídos por serem considerados espúrios.

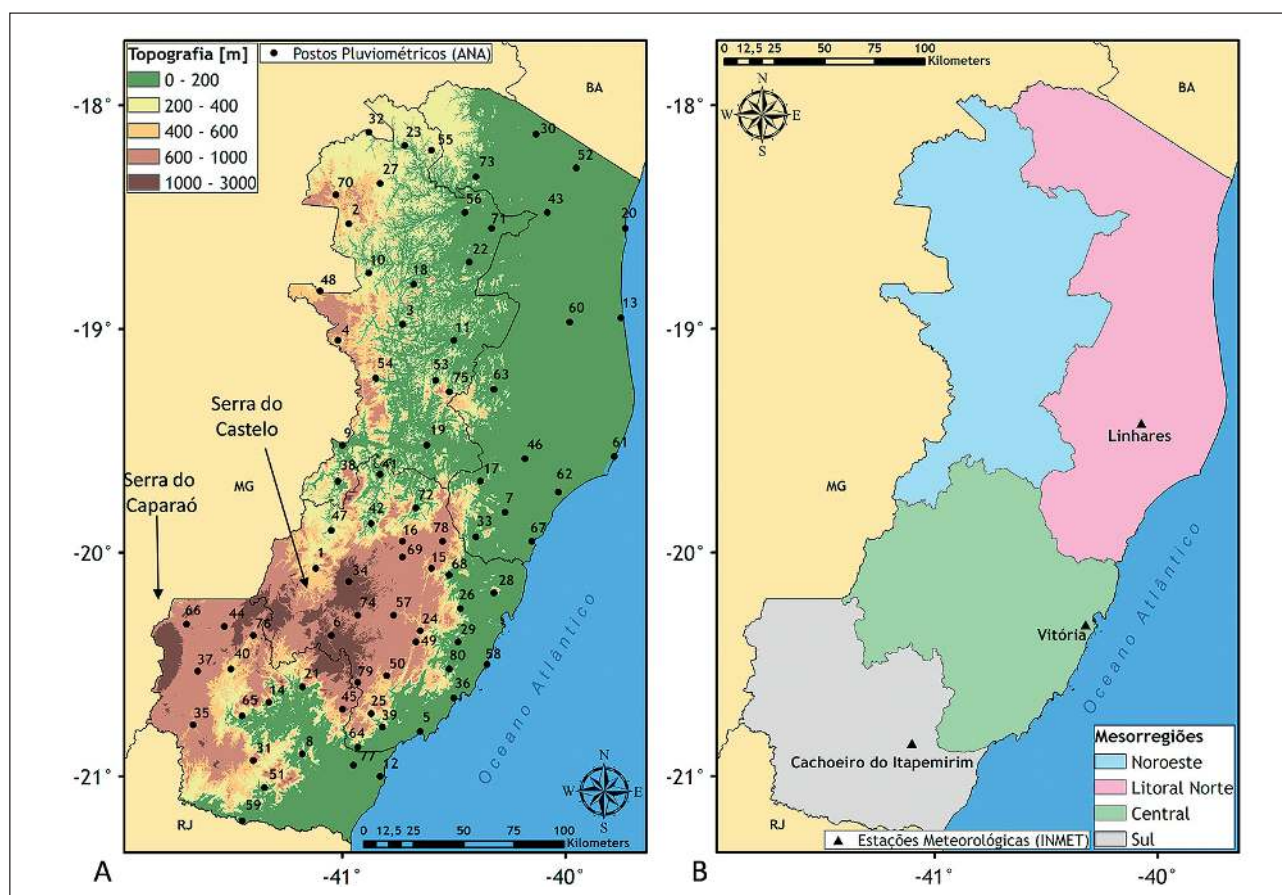


Figura 1 Mapas do Estado do Espírito Santo: (A) topografia (m) do estado e localização dos postos pluviométricos da ANA listados na Tabela 1 e (B) mesorregiões do estado e localização das estações meteorológicas do INMET utilizadas neste trabalho, listadas na Tabela 2.

Tendências de Extremos de Precipitação para o Estado do Espírito Santo
Pedro Regoto; Claudine Dereczynski; Wanderson Luiz Silva; Rhavena Santos & Ulisses Confalonieri

Num	Posto Pluviométrico	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período	Anos Ausentes
1	Afonso Cláudio	-20,07	-41,12	300	1967 - 2013	4
2	Água Doce	-18,53	-40,97	280	1959 - 2013	6
3	Águia Branca	-18,98	-40,73	180	1969 - 2013	1
4	Alto Rio Novo	-19,05	-41,02	500	1970 - 2013	1
5	Anchieta	-20,80	-40,65	6	1948 - 2013	5
6	Arace	-20,37	-41,05	1075	1963 - 2013	2
7	Aracruz	-19,82	-40,27	58	1970 - 2013	5
8	Atilio Vivacqua	-20,90	-41,18	76	1944 - 2013	5
9	Baixo Guandu	-19,52	-41,00	70	1941 - 2013	3
10	Barra de São Francisco	-18,75	-40,88	192	1947 - 2013	3
11	Barra de São Gabriel	-19,05	-40,50	70	1968 - 2013	2
12	Barra do Itapemirim	-21,00	-40,83	4	1947 - 2013	3
13	Barra Nova	-18,95	-39,75	6	1971 - 2013	4
14	Burarama	-20,67	-41,33	180	1964 - 2013	2
15	Cachoeira Suíça	-20,07	-40,60	600	1959 - 2013	2
16	Caldeirão	-19,95	-40,73	750	1970 - 2013	4
17	Cavalinho	-19,68	-40,38	50	1948 - 2013	3
18	Cedrolândia	-18,80	-40,68	300	1970 - 2013	2
19	Colatina - Corpo de Bombeiros	-19,52	-40,62	40	1967 - 2013	2
20	Conceição da Barra	-18,55	-39,73	3	1930 - 2013	3
21	Conceição do Castelo	-20,60	-41,18	600	1939 - 2012	3
22	Córrego da Boa Esperança	-18,70	-40,43	80	1976 - 2012	4
23	Cotaxe	-18,18	-40,72	200	1970 - 2010	1
24	Domingos Martins	-20,35	-40,65	452	1947 - 1999	5
25	Duas Barras	-20,72	-40,87	420	1957 - 2013	0
26	Duas Bocas	-20,25	-40,47	200	1952 - 2013	8
27	Ecoporanga	-18,35	-40,83	300	1970 - 2013	2
28	Fazenda Fonte Limpa	-20,18	-40,32	70	1947 - 2013	8
29	Fazenda Jucuruaba	-20,40	-40,48	80	1951 - 2013	3

30	Fazenda Limoeiro	-18,13	-40,13	96	1970 - 2013	2
31	Fazenda Monte Alegre	-20,93	-41,40	450	1952 - 2013	5
32	Fazenda São Mateus	-18,12	-40,88	190	1966 - 2013	12
33	Fundão	-19,93	-40,40	50	1948 - 2013	2
34	Garrafão	-20,13	-40,97	940	1947 - 2013	4
35	Guaçuí	-20,77	-41,67	576	1939 - 2013	5
36	Guarapari	-20,65	-40,50	6	1947 - 2012	7
37	Ibitirama	-20,53	-41,65	794	1954 - 2013	4
38	Ibituba	-19,68	-41,02	160	1967 - 2013	1
39	Iconha - Montante	-20,78	-40,82	25	1947 - 2013	3
40	Itaici	-20,52	-41,50	380	1961 - 2013	2
41	Itaimbé	-19,65	-40,83	70	1957 - 2013	2
42	Itarana	-19,87	-40,87	165	1947 - 2013	5
43	Itauninhas	-18,48	-40,08	90	1947 - 2013	10
44	Iúna	-20,33	-41,53	615	1954 - 2013	2
45	Jacigua	-20,70	-41,00	580	1947 - 2013	6
46	Jacupemba	-19,58	-40,18	50	1970 - 2013	0
47	Laranja da Terra	-19,90	-41,05	250	1947 - 2013	3
48	Mantenópolis	-18,83	-41,10	900	1970 - 2013	1
49	Marechal Floriano	-20,40	-40,67	544	1949 - 2013	2
50	Matilde	-20,55	-40,80	515	1949 - 2013	2
51	Mimoso do Sul	-21,05	-41,35	67	1964 - 2013	4
52	Morro D'anta	-18,28	-39,95	66	1951 - 2013	12
53	Novo Brasil	-19,23	-40,58	170	1969 - 2013	0
54	Pancas	-19,22	-40,85	135	1957 - 2013	2
55	Patrimônio Santa Luzia do Norte	-18,20	-40,60	400	1970 - 2013	2
56	Patrimônio XV	-18,48	-40,45	96	1970 - 2013	5
57	Perobinha	-20,28	-40,77	640	1971 - 2013	2
58	Ponta da Fruta	-20,50	-40,35	3	1970 - 2013	3
59	Ponte do Itabapoana	-21,20	-41,45	59	1937 - 2013	3
60	Ponte Nova	-18,97	-39,98	60	1972 - 2013	2
61	Povoação	-19,57	-39,78	3	1974 - 2013	2

62	Riacho	-19,73	-40,03	5	1947 - 2013	4
63	Rio Bananal	-19,27	-40,32	95	1970 - 2013	2
64	Rio Novo do Sul	-20,87	-40,93	80	1969 - 2010	4
65	Rive	-20,73	-41,45	127	1939 - 2013	2
66	Santa Cruz - Caparaó	-20,32	-41,70	920	1956 - 2013	3
67	Santa Cruz - Litoral	-19,95	-40,15	5	1947 - 2013	5
68	Santa Leopoldina	-20,10	-40,52	160	1949 - 2013	5
69	Santa Maria do Jetibá	-20,02	-40,73	710	1947 - 2013	3
70	Santo Agostinho	-18,40	-41,03	500	1970 - 2013	1
71	São João da Cachoeira Grande	-18,55	-40,33	100	1981 - 2013	3
72	São João de Petrópolis	-19,80	-40,67	149	1947 - 2013	3
73	São João do Sobrado	-18,32	-40,40	100	1970 - 2013	5
74	São Rafael	-20,28	-40,93	100	1970 - 2013	1
75	Serraria	-19,28	-40,52	250	1970 - 2010	1
76	Usina Fortaleza	-20,37	-41,40	580	1956 - 2013	3
77	Usina Paineiras	-20,95	-40,95	40	1947 - 2013	3
78	Valsugana Velha - Montante	-19,95	-40,55	180	1956 - 2013	2
79	Vila Nova Maravilha	-20,58	-40,93	980	1964 - 2013	2
80	Vitória	-20,52	-40,52	36	1925 - 2013	14

Tabela 1 Localização dos postos pluviométricos da ANA, período de dados disponíveis para o trabalho e número de anos ausentes.

2.2 Dados Climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia

Os dados climatológicos de temperaturas máxima, média compensada e mínima do ar, precipitação e evaporação, considerando o período de 1961 a 1990, foram obtidos das normais climatológicas do INMET (INMET, 2009) para três estações meteorológicas no estado do Espírito Santo: Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim (Figura 1b e Tabela 2). Tais estações foram selecionadas por serem as únicas com climatologias disponíveis para as 5 variáveis listadas anteriormente em INMET (2009).

Posto Pluviométrico	Mesorregião	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Linhares	Litoral Norte	-19,42	-40,07	29
Vitória	Central	-20,32	-40,32	36
Cachoeiro do Itapemirim	Sul	-20,85	-41,10	77

Tabela 2 Informações sobre as estações meteorológicas do INMET utilizadas no trabalho.

A temperatura média compensada é calculada em INMET (2009) a partir da equação 1:

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min} + T_{12UTC} + 2T_{00UTC}}{5} \quad (1)$$

Essa temperatura é utilizada para substituir a temperatura média diária, que seria calculada caso os 24 valores de temperatura horária estivessem disponíveis para todas as estações meteorológicas. As variáveis da equação 1, T_{max} , T_{min} , T_{12UTC} e T_{00UTC} , são definidas, respectivamente como: temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, temperatura do ar medida no horário de 12 UTC e temperatura do ar medida no horário de 00 UTC.

2.3 Indicadores de Extremos de Precipitação

Os indicadores de extremos de precipitação utilizados neste trabalho são listados na Tabela 3. Tais indicadores foram calculados através do software RCLimindex desenvolvido por Zhang & Yang (2004). O RCLimindex é mantido pelo *Expert Team on Climate Change Detection and Indexes* (ETCCDI; <http://etccdi.pacificclimate.org/>).

Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação anual total dos dias úmidos (dias nos quais PRCP ≥ 1mm)	mm
R95p	Precipitação anual total dos dias em que PRCP > percentil 95. O percentil 95 é calculado considerando-se apenas os dias úmidos	mm
RX5day	Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos	mm
R30mm	Número de dias no ano com PRCP ≥ 30 mm	dias
CDD	Número máximo de dias secos consecutivos no ano (PRCP < 1 mm)	dias

PRCP = precipitação diária

Tabela 3 Indicadores de extremos de precipitação utilizados neste trabalho

2.4. Testes de Significância Estatística

Para cada uma das séries de valores dos indicadores de extremos de precipitação aplica-se o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945 e Kendall, 1975), com objetivo de investigar a existência ou não de tendência estatisticamente significativa de aumento ou redução na série de dados. Adicionalmente, o Estimador Sen (Sen, 1968) é aplicado para estimar a magnitude dessa tendência linear. Ambos os testes são detalhadamente apresentados em Zilli *et al.* (2016) e reproduzidos a seguir.

A estatística S de Mann-Kendall, método mais apropriado para analisar a significância de possíveis mudanças climáticas em séries climatológicas (Goossens & Berger, 1986), é calculada como:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{ sinal}(x_j - x_i) \quad (2)$$

Onde n é o número total de dados na série; x é cada um dos valores do indicador a cada passo de tempo distinto i e j, com $i \neq j$; e “sinal” é definido como:

$$\text{ sinal} = \begin{cases} 1, \text{ se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0, \text{ se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1, \text{ se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

O teste de Mann-Kendall testa a hipótese nula de não haver tendência na série contra a hipótese alternativa de presença de uma tendência. Valores positivos de S indicam uma tendência de aumento e valores negativos de S indicam uma tendência de redução. Se $n > 10$, a estatística S segue uma distribuição Gaussiana com média nula e variância (Var) dada por:

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

Onde m é o número de grupos de valores repetidos (diferença nula entre os valores comparados) e t_i é o número de dados em cada grupo repetido. A significância dessa tendência pode ser encontrada usando o z score, estimado como:

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, \text{ se } S > 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, \text{ se } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Se a hipótese nula pode ser rejeitada ao nível de significância α num teste bi-lateral, o que significa que há tendência estatisticamente significativa na série de dados.

O teste de estimativa de inclinação de Sen, que considera a inclinação entre todos os pares em séries temporais é dado por:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ para } i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

Onde N é o número de pares distintos de observações, de forma que

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (7)$$

x_j e x_k são valores dos dados nos tempos j e k, respectivamente, com $j > k$. O estimador inclinação é computado considerando o valor da mediana de todos os $Q_{(i)}$ ranqueados:

$$Q_{\text{med}} = \begin{cases} Q_{[(N+1)/2]}, \text{ se } N \text{ é ímpar} \\ \frac{Q_{(N/2)} + Q_{[(N+2)/2]}}{2}, \text{ se } N \text{ é par} \end{cases} \quad (8)$$

Onde Q_{med} representa a inclinação da tendência, com valores positivos representando tendências positivas e valores negativos representando tendências negativas. O intervalo de confiança para este teste é estimado por:

$$C_{\alpha} = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{Var}[S]} \quad (9)$$

Onde $\text{Var}[S]$ é estimado pela equação 4, e $Z_{1-\alpha/2}$ é definida a partir de uma distribuição padrão normal. O intervalo de confiança é:

$$Q_{\text{min}} = Q_{(M_1)} \text{ e } Q_{\text{max}} = Q_{(M_2+1)} \quad (10)$$

e

$$M_1 = \frac{N - C_{\alpha}}{2} \text{ e } M_2 = \frac{N + C_{\alpha}}{2} \quad (11)$$

Onde Q_{min} e Q_{max} são os limites inferior e superior do intervalo de confiança. A inclinação Q_{med} é estatisticamente diferente de zero se os dois limites (Q_{min} e Q_{max}) apresentam sinais similares.

3 Caracterização Climática do Estado do Espírito Santo

O estado do Espírito Santo (Figura 1), com área pouco superior a 46 mil quilômetros quadrados (<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=&sigla=es>), estende-se aproximadamente entre os paralelos 21°S e 18°S e os meridianos 42°O e 40°O. Apesar da pouca extensão territorial, o ES, apresenta uma variabilidade climática significativa. Isso se deve à presença de suas duas distintas regiões naturais: o litoral que se estende na direção norte-sul por 400 km e o planalto. Ao longo da costa Atlântica encontra-se uma faixa de planície que representa 40% da área total do Estado, e à medida que se penetra em direção ao interior, o planalto dá origem a uma região serrana, com altitudes superiores a 1000 metros, onde se elevam a Serra do Caparaó e a Serra do Castelo. Na Serra do Caparaó encontra-se o Pico da Bandeira, com 2890 metros de altura, o terceiro mais alto do país e o mais alto do Estado (<https://es.gov.br/geografia>). Na Figura 1 encontra-se a topografia do ES (Figura 1a) e também os limites de suas quatro mesorregiões: Noroeste, Litoral Norte, Central e Sul Espírito Santense (Figura 1b). Destaca-se na Figura 1a regiões com altitudes superiores a 1000 metros na região de fronteira com Minas Gerais, onde se encontram a Serra do Caparaó e a Serra do Castelo, essa estendendo-se aproximadamente de Cachoeiro do Itapemirim até Colatina.

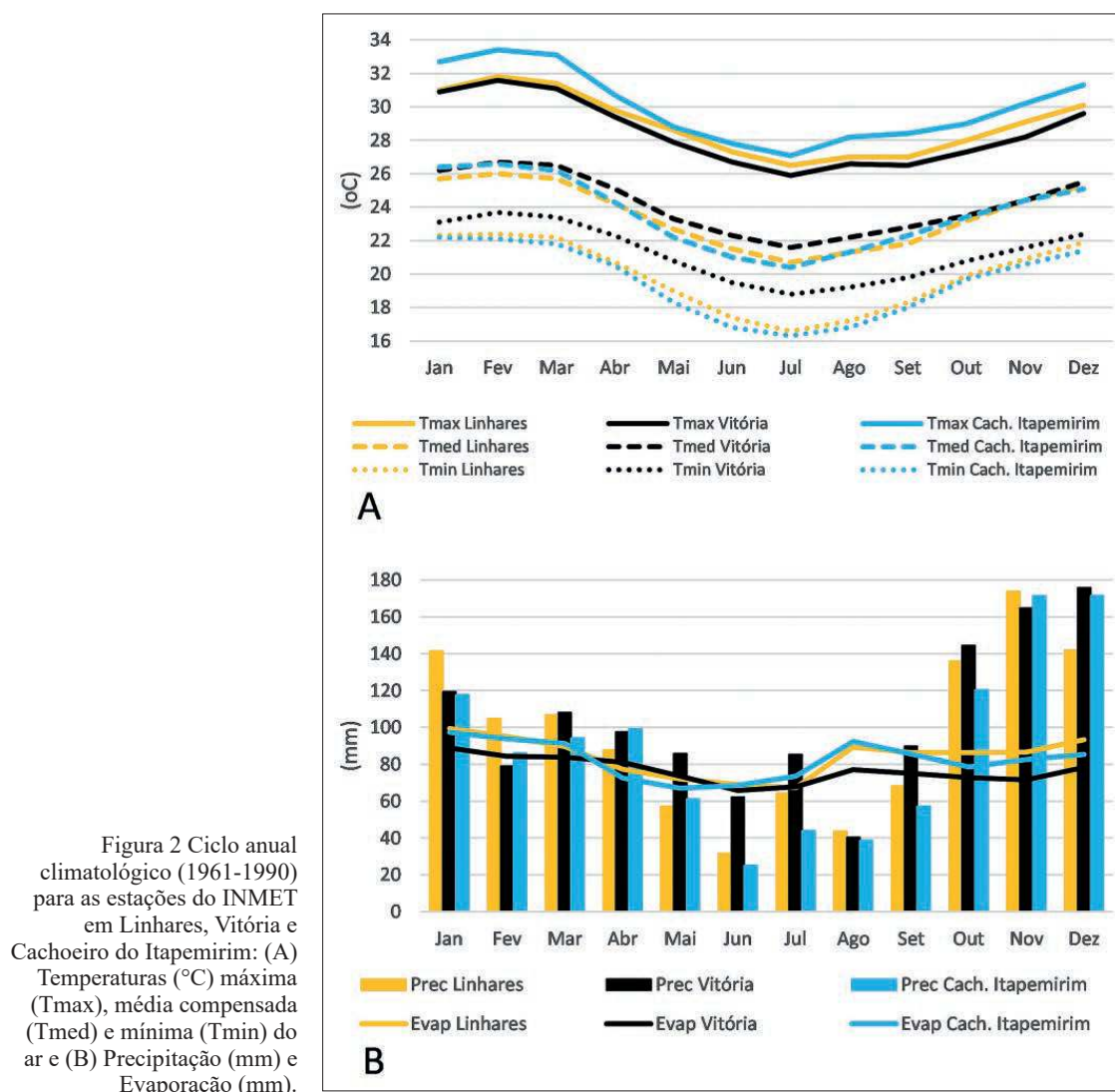
O clima no ES sofre influência direta do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), um centro de altas pressões gerado pela circulação geral da atmosfera. Nas regiões sob a influência desse sistema, a forte subsidência e a divergência dos ventos à superfície, inibem os movimentos verticais, dificultando a formação de nuvens e consequentemente a ocorrência de chuvas (Satyamurty *et al.*, 1998). Assim, no ES, o ASAS garante condições de estabilidade, com pouca nebulosidade, ventos de quadrantes norte e leste e temperaturas amenas. As mudanças de tempo na área em estudo são provocadas pela passagem de sistemas transientes, sendo os mais frequentes as frentes frias, originadas principalmente na zona de convergência extratropical, localizada em torno de 60°S. Outros sistemas meteorológicos, tais como frentes quentes, cavados, ciclones extratropicais e subtropicais e sistemas convectivos de mesoescala também atuam na área em estudo. No período do verão, com o continente mais aquecido, a pressão atmosférica reduzida e a

convecção tropical intensificada, é comum o estabelecimento da ZCAS (Kodama, 1992), causando nebulosidade e chuvas sobre as Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. A ZCAS apresenta-se como uma banda de nebulosidade alongada, orientada no sentido noroeste-sudeste, estendendo-se desde a região amazônica até o Oceano Atlântico, com duração superior a quatro dias (Kousky, 1988). A ZCAS, por sua vez é parte do Sistema de Monção da América do Sul, caracterizado pelo pronunciado ciclo sazonal da precipitação, umidade e circulação (Zhou & Lau, 2001).

Mapas climatológicos (1961-2013) mensais de temperaturas máxima, média e mínima para o ES podem ser consultados no sítio do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER; <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/>). Em todos os mapas, como esperado, os valores mínimos ficam concentrados nas regiões serranas e os máximos predominam no noroeste do Estado, confirmando o forte controle latitudinal e da topografia sobre a temperatura. A média anual da temperatura média varia entre 11°C na Serra do Caparaó a 25°C no norte do estado, ou seja, uma amplitude térmica média anual de 14°C no estado.

Na Figura 2 encontram-se os ciclos anuais climatológicos (1961-1990) respectivamente: i) das temperaturas máxima, média compensada e mínima do ar, e ii) da precipitação e evaporação obtidos nas estações meteorológicas do INMET em Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim.

Na Figura 2a observa-se que as temperaturas atingem valores mais elevados no trimestre jan-fev-mar. Com relação ao trimestre mais frio do ano, esse predomina em jun-jul-ago. Destaca-se na Figura 2a a baixa amplitude térmica anual na estação Vitória. Isso ocorre devido a regulação térmica promovida pela proximidade do oceano e também devido a sua reduzida altitude (36 m). Nunes *et al.* (2009) comentam que devido à maritimidade, as temperaturas médias do litoral norte paulista são semelhantes às do litoral capixaba, a despeito da diferença latitudinal entre os dois locais. Nota-se ainda na Figura 2a que a temperatura mínima em Vitória não cai abaixo de 18°C em julho, enquanto a temperatura máxima não ultrapassa 32°C em fevereiro. Por outro lado, a estação Cachoeiro do Itapemirim exhibe as maiores amplitudes térmicas anuais, em relação às outras duas estações



meteorológicas, alcançando temperatura mínima de 16°C em julho e temperatura máxima de 33°C em fevereiro. As temperaturas médias nas três estações são bem próximas, em torno de 21°C em julho e 26°C em fevereiro.

Na Figura 2b verifica-se que os maiores acumulados de chuva nas 3 estações meteorológicas se concentram no trimestre out-nov-dez, enquanto que os mínimos de chuva se dão nos meses de maio, junho e agosto. Verifica-se também que em torno de 70% da precipitação concentra-se no período de outubro a março. Tal padrão de precipitação, exibindo um regime monçônico é característico da região sudeste do Brasil, verão muito chuvoso e inverno seco. O ciclo anual de evaporação exibe um máximo coincidente com os meses mais quentes do ano (jan-fev-mar) e de maior intensidade do vento

(figura não apresentada). Um segundo máximo no ciclo anual da evaporação ocorre em agosto, o que coincide com o início da intensificação do vento à superfície e com um mínimo secundário de umidade relativa do ar (figura não apresentada).

A climatologia sazonal de precipitação, considerando o período de 1971 a 2010, é apresentada na Figura 3. Como discutido anteriormente, o verão é o período mais chuvoso no estado devido principalmente à atuação da ZCAS. As áreas com os maiores totais pluviométricos durante esses meses são as regiões serranas, no sul da mesorregião Central e oeste da mesorregião Sul, com máximos de 241 e 248 mm/mês localizados nos postos pluviométricos Vila Nova Maravilha e Santa Cruz – Caparaó, respectivamente (Figura 3a). A Figura 3b mostra a precipitação média no outono, com destaque para o sul da Serra do Castelo (sul da mesorregião Sul) onde

ocorrem os maiores totais pluviométricos, sobretudo no posto Vila Nova Maravilha (167 mm/mês).

A estação do ano que apresenta os menores acumulados de chuva é o inverno (Figura 3c). Nesse período, todo o estado do ES sofre uma forte redução da precipitação chegando a um mínimo de 13 mm/mês em Baixo Guandu e Ibituba (oeste da mesorregião Noroeste). O adentramento do ASAS em direção ao

continente e a baixa umidade e temperatura nessa época do ano, promovem a redução da nebulosidade e consequentemente da precipitação. Os maiores valores são observados próximos ao litoral, devido à trajetória característica dos sistemas frontais que nessa época do ano deslocam-se mais rapidamente, em trajetórias mais zonais e sem adentrar no continente (Nobre *et al.*, 1998). Os maiores valores são encontrados no leste da mesorregião Central (Vila Nova Maravilha e Duas Bocas), alcançando

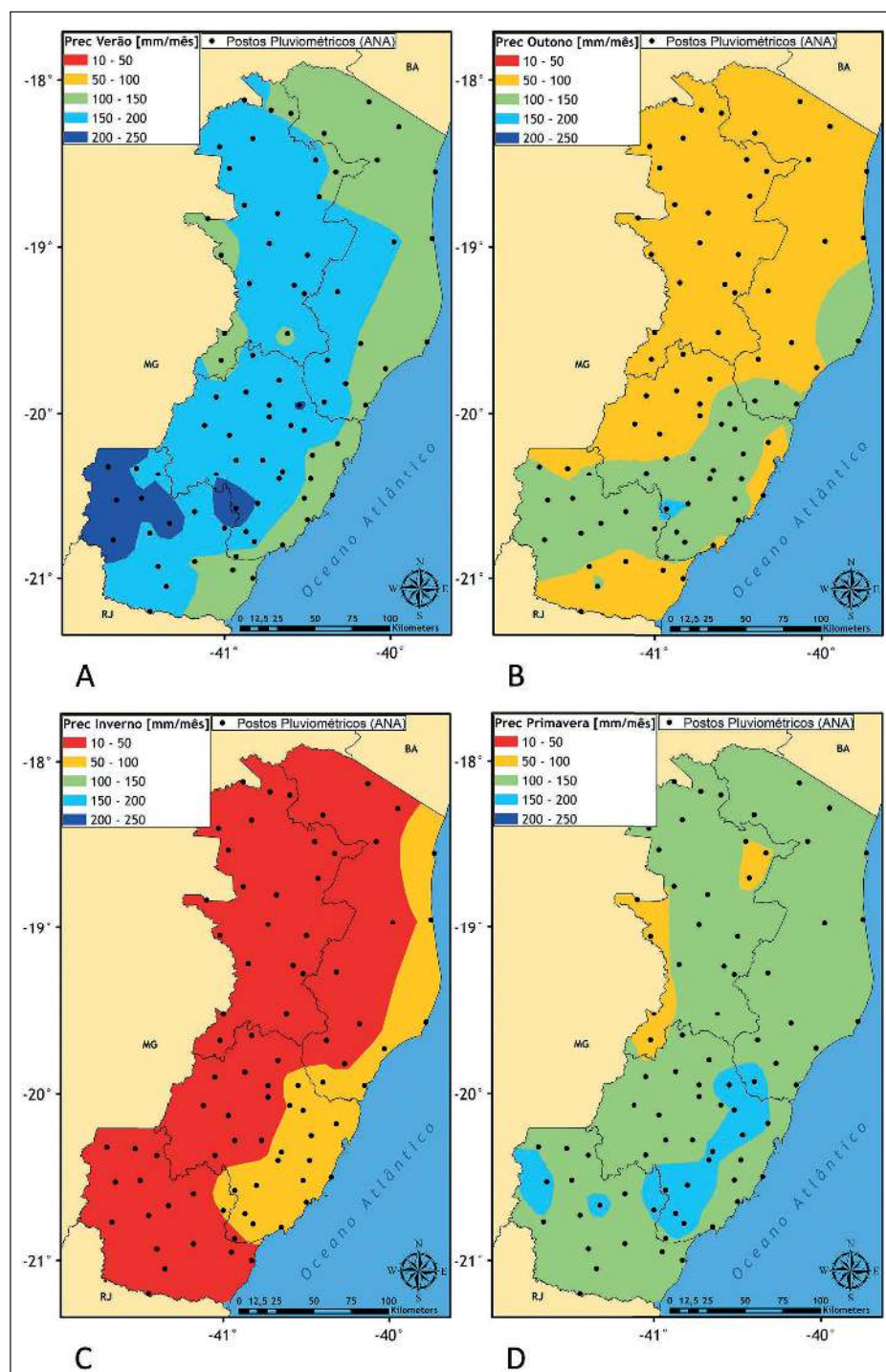


Figura 3 Precipitação (mm/mês) média sazonal para o período 1971-2010: (A) Verão (DJF), (B) Outono (MAM), (C) Inverno (JJA) e (D) Primavera (SON).

até 91 mm/mês. Por último, a Figura 3d apresenta a precipitação média da primavera, época do ano em que o regime de chuvas começa a ganhar intensidade novamente, atingindo cerca de 205 mm/mês em Vila Nova Maravilha. A atuação de sistemas frontais com trajetórias continentais é essencial para o aumento da precipitação no estado nessa época do ano.

De acordo com o apresentado acima, percebe-se que o ciclo anual da precipitação no ES acompanha o regime observado em toda a Região Sudeste do Brasil, ou seja, verão chuvoso e inverno seco, sendo a primavera mais chuvosa do que o outono. De forma geral, o sul da mesorregião Central é a área que apresenta as maiores quantidades de chuva, enquanto ocorre redução conforme se adentra ao continente, principalmente em direção ao noroeste do estado. No inverno o padrão é bem distinto, ocorrendo maior volume de chuva no litoral, com redução da precipitação em direção ao interior do estado.

4 Indicadores de Extremos de Precipitação

A Figura 4 apresenta os campos médios anuais e as tendências dos indicadores de extremos de precipitação (PRCPTOT, R95p, RX5day, R30mm e CDD) para o estado do Espírito Santo.

Analisando-se inicialmente os campos médios dos indicadores (Figura 4, linha superior) observa-se que a região serrana, além de ser a mais chuvosa, exibindo os maiores totais pluviométricos anuais (PRCPTOT), apresenta também os maiores valores de chuvas fortes no ano (R95p), os máximos pluviométricos em 5 dias consecutivos (RX5day) e também o maior número de dias no ano com chuva acima de 30 mm (R30mm). Por outro lado, o extremo sudoeste da mesorregião Noroeste é a região menos chuvosa do Estado, exibindo os mínimos de PRCPTOT, de R95p, de RX5day e de R30mm.

No campo de PRCPTOT observam-se máximos próximos às regiões serranas, alcançando valores de até 2097 mm no sul da Serra do Castelo (posto Vila Nova Maravilha – altitude de 980 m) e reduzindo-se principalmente em direção ao norte do Estado. Por outro lado, o mínimo de PRCPTOT encontra-se no posto pluviométrico Baixo Guandu (873 mm), localizado a 70 metros de altitude, no sudoeste da mesorregião Noroeste.

Os campos médios dos indicadores R95p, RX5day e R30mm apresentam padrão similar à

PRCPTOT, onde nas regiões serranas os valores são máximos e, de maneira geral, reduzem-se em direção ao norte e ao oeste do ES. Os valores mais elevados de R95p e de RX5day são de respectivamente 542 mm e 219 mm, ambos em Valsugana Velha, a norte da Serra do Castelo, enquanto que as menores intensidades de R95p ocorrem na mesorregião Noroeste (Mantenópolis: 210 mm), e para o RX5day a oeste da mesorregião Noroeste (Baixo Guandu: 131 mm). Em relação ao R30mm, o máximo encontra-se a sudeste da Serra do Caparaó com valores de até 17 dias em Burarama, enquanto o valor mais baixo localiza-se no oeste da mesorregião Noroeste (Baixo Guandu: 7 dias).

Com relação ao campo médio de CDD, nota-se como esperado que nas áreas montanhosas, onde a precipitação é mais abundante, observam-se os menores períodos de dias secos consecutivos no ano, atingindo um mínimo de 21 dias em Vila Nova Maravilha. No litoral observam-se também valores reduzidos de CDD, onde provavelmente a brisa marítima e a convergência dos ventos úmidos junto à costa promovem aumento de nebulosidade com ocorrência de precipitação ao longo do ano. Por outro lado, o extremo sudoeste da mesorregião Noroeste, afastada do litoral e à sotavento da região montanhosa, é a região que apresenta o período seco mais prolongado, alcançando valores de até 58 dias sem chuva em Baixo Guandu. O padrão climatológico observado para os indicadores de extremos de precipitação reflete principalmente a interação entre a topografia local, a atuação dos sistemas transientes e a influência do Oceano Atlântico. A passagem de sistemas transientes pela região, favorece a ocorrência da precipitação, que se torna mais intensa à barlavento das Serras do Castelo e do Caparaó e sofre redução à sotavento das mesmas montanhas, ocorrendo um mínimo pluviométrico no sudoeste da mesorregião Noroeste. Além disso, a brisa marítima soprando em direção ao continente, favorece a ocorrência de períodos mais curtos de dias secos consecutivos nas regiões próximas ao litoral, pois há convergência de ventos úmidos, gerando movimento ascendente, formação de nebulosidade e precipitação.

Analisando-se o comportamento das tendências dos indicadores de extremos de precipitação (Figura 4, linha inferior) observa-se inicialmente uma tendência geral de um clima mais úmido no Estado, contudo a maior parte das tendências (calculadas ao nível de significância de 95%) não são estatisticamente significativas.

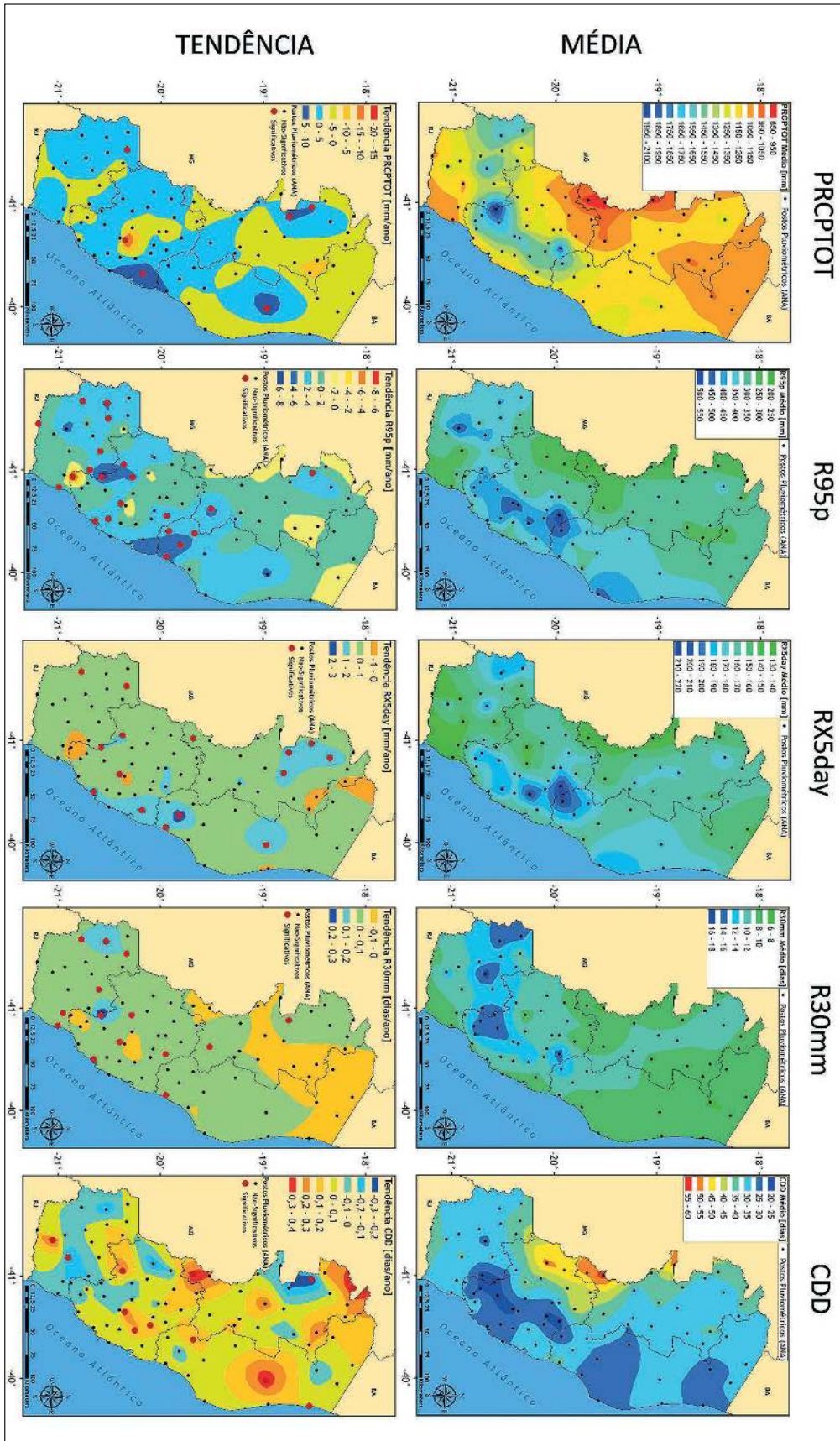


Figura 4 Linha superior: Campos médios para o período 1971-2010 dos indicadores de extremos de precipitação: PRCPTOT (mm), R95p (mm), RX5day (mm), R30mm (dias) e CDD (dias). Linha inferior: Campos de tendências dos indicadores de extremos de precipitação: PRCPTOT (mm/ano), R95p (mm/ano), RX5day (mm/ano), R30mm (dias/ano) e CDD (dias/ano). Os postos pluviométricos marcados com círculo vermelho na linha inferior indicam séries com tendências estatisticamente significativas ao nível de 95% de confiança.

Em cada um dos 5 mapas apresentados na Figura 4 (linha inferior) as estações cujas séries de dados apresentam tendências estatisticamente significativas estão marcadas com um círculo vermelho. Apenas para essas localidades os valores das tendências são listados na Tabela 4, agrupados nas quatro mesorregiões do estado (Litoral Norte, Noroeste, Central e Sul).

Os padrões apresentados para as tendências de PRCPTOT, R95p, RX5day e R30mm exibem uma tendência geral positiva, indicando um clima mais úmido, enquanto o mapa de CDD mostra uma tendência de aumento dos dias secos consecutivos, o

que sugere uma má distribuição da chuva ao longo do ano.

Dentre os indicadores apresentados na Tabela 4, destaca-se R95p e a seguir RX5day e R30mm, com tendências positivas estatisticamente significativas respectivamente em 20, 15 e 14 postos pluviométricos, dentre os 80 analisados neste trabalho. Isso sugere, como já destacado em Zilli *et al.* (2016), que o clima na Região Sudeste está se tornando mais úmido devido principalmente ao aumento da precipitação acumulada nos eventos de chuvas extremas e devido a sua maior frequência de ocorrência. A precipitação anual (PRCPTOT) também aumenta, porém só

Num	Posto Pluviométrico	PRCPTOT (mm/ano)	R95p (mm/ano)	RX5day (mm/ano)	R30mm (dia/ano)	CDD (dia/ano)
7	Aracruz		+5,7	+2,9		
17	Cavalinho		+3,5			+0,2
20	Conceição da Barra					+0,1
33	Fundão		+3,6			
60	Ponte Nova	+9,3		+1,7		+0,4
67	Santa Cruz - Litoral		+5,5	+1,1	+0,1	
2	Água Doce	+5,3	+3,5	+1,3		-0,3
10	Barra de São Francisco	+6,8		+1,3	+0,1	
18	Cedrolândia			+1,6		
19	Colatina - Corpo de Bombeiros		+4,5		+0,1	
27	Ecoporanga			+1,6		
32	Fazenda São Mateus					+0,4
38	Ibituba			+1,1		+0,4
6	Arace		+3,6	+1,1		+0,3
24	Domingos Martins	-19,6				+0,3
26	Duas Bocas					+0,2
28	Fazenda Fonte Limpa	+10,3		+2,2		
36	Guarapari		+4,4	+1,3	+0,07	
49	Marechal Floriano		+4,4	+0,8	+0,1	
64	Rio Novo do Sul		-7,3			
68	Santa Leopoldina					+0,2
74	São Rafael		+5,4		+0,1	
78	Valsugana Velha - Montante		+4,1		+0,03	
79	Vila Nova Maravilha		+8,0	+1,1	+0,3	
80	Vitória		+2,5			
8	Atílio Vivacqua					-0,2
12	Barra do Itapemirim		+2,0		+0,06	
21	Conceição do Castelo		+1,7		+0,05	
35	Guaçuí		+3,6	+0,6	+0,1	
37	Ibitirama		+4,2		+0,2	
40	Itaici		+4,0			
44	Lúna	+5,1		+1,0	+0,1	
45	Jacigua		+2,9			
51	Mimoso do Sul					+0,4
59	Ponte do Itabapoana		+0,5			
77	Usina Paineiras				+0,1	

Tabela 4 Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de cada indicador de extremo climático de precipitação para cada posto pluviométrico analisado. Os postos em lilás, azul, verde e cinza pertencem às mesorregiões Litoral Norte, Noroeste, Central e Sul, respectivamente.

exibe tendências estatisticamente significativas em 5 postos pluviométricos.

Com relação a distribuição espacial dos indicadores de extremos de precipitação dentro do Estado, observa-se que as mesorregiões Sul e Central são as que apresentam a maior quantidade de séries pluviométricas com tendências estatisticamente significativas. Na mesorregião Sul (Central) 11 dentre os 16 (12 dentre os 28) postos pluviométricos localizados nesta região, apresentam mudanças estatisticamente significativas em algum dos indicadores de extremos. Essas duas mesorregiões (Sul e Central) que são as mais chuvosas do Estado estão se tornando ainda mais úmidas.

Analisando-se o comportamento da tendência de cada indicador da Figura 4 (linha inferior) nota-se que as tendências de aumento de PRCPTOT com significância estatística estão concentradas no oeste da mesorregião Noroeste (Barra de São Francisco: +6,8 mm/ano), no centro da mesorregião Litoral Norte (Ponte Nova: +9,3 mm/ano), no nordeste da mesorregião Central (Fazenda Fonte Limpa: 10,3 mm/ano) e, também, uma elevação de menor taxa situada no noroeste da mesorregião Sul (Íúna: 5,1 mm/ano). Uma redução estatisticamente significativa ocorre apenas em um posto pluviométrico (Domingos Martins: -19,6 mm/ano), localizado no centro-leste da mesorregião Central.

Nota-se que as tendências observadas de aumento do indicador de chuvas fortes (R95p) estão presentes em praticamente todo o estado do ES, porém as maiores elevações com significância estatística estão localizadas no sul da mesorregião Noroeste (Colatina Corpo de Bombeiros: +4,5 mm/ano), sul da mesorregião Litoral Norte (Aracruz: +5,7 mm/ano), sul da mesorregião Central (Vila Nova Maravilha: +8 mm/ano) e no oeste da mesorregião Sul (Ibitirama: +4,2 mm/ano). Há redução significativa de R95p apenas em um posto pluviométrico, Rio Novo do Sul, localizado próximo ao extremo sudeste da mesorregião Central, com valor de -7,3 mm/ano.

No mapa de tendência de RX5day não há tendências de redução estatisticamente significativas. As regiões que apresentam os maiores aumentos desse índice são o oeste da mesorregião Noroeste (Ecoporanga: +1,6 mm/ano), sul da mesorregião Litoral Norte (Aracruz: +2,9 mm/ano), nordeste da

mesorregião Central (Fazenda Fonte Limpa: +2,2 mm/ano), todos com significância estatística.

Observa-se também no mapa de tendência de R30mm (Figura 4, linha inferior) apenas tendências estatisticamente significativas positivas, sendo as regiões com maiores elevações o sul da mesorregião Central (Vila Nova Maravilha: +0,3 dias/ano) e o oeste da mesorregião Sul (Ibitirama: +0,2 dias/ano).

Nas tendências de CDD predominam valores positivos. As regiões com aumento significativo do período de estiagem são encontradas no noroeste da mesorregião Noroeste (Fazenda São Mateus: +0,4 dias/ano), sudoeste da mesorregião Noroeste (Ibituba: +0,4 dias/ano), centro da mesorregião Litoral Norte (Ponte Nova: +0,4 dias/ano), sudoeste da mesorregião Litoral Norte (Cavalinho: 0,2 dias/ano), centro-leste da mesorregião Central (Domingos Martins: +0,3 dias/ano), sudoeste da mesorregião Central (Arace: 0,3 dias/ano) e sul da mesorregião Sul (Mimoso do Sul: +0,4 dias/ano). Já as tendências de diminuição de CDD cobrem uma área menor, concentrando-se no oeste da mesorregião Noroeste (Água Doce: -0,3 dias/ano) e centro-leste da mesorregião Sul (Atílio Vivacqua: -0,2 dias/ano).

A Figura 5 apresenta a série temporal de R95p desde 1925 até 2013 para a estação Vitória. Essa estação foi escolhida por apresentar a série de dados mais longa dentre as demais localizadas no ES. O valor do percentil 95 para a estação Vitória é de 43,4 mm. Dessa forma, toda a chuva diária ocorrida em Vitória com valor superior a 43,4 mm é acumulada a cada ano para compor a variável R95p. Observa-se na figura, além da tendência de aumento de R95p, uma grande variabilidade interanual. Tal variabilidade pode ser explicada por diversos fatores, tais como ocorrência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), frequência, duração e intensidade de eventos de ZCAS e ainda outros sistemas meteorológicos que influenciam localmente ou remotamente na atuação de sistemas transientes na região em estudo. Uma consulta ao Boletim Climanálise do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE; <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>) revela por exemplo, que enquanto em 1998 (ano de El Niño) ocorreram apenas 2 eventos de ZCAS, em 2013 (ano neutro com relação ao fenômeno ENOS) foram 11 eventos. O valor de R95p variou de 144 mm em 1998 a 1112 mm em 2013. No ano de 1998

ocorreram apenas 2 eventos de chuvas acima do percentil 95 e em 2013 foram 13 eventos, sendo que em 5 deles a chuva diária excedeu 100 mm. Isso demonstra a grande variabilidade interanual dos eventos de chuva extrema na região. Ressalta-se também na Figura 5, através de uma simples visualização da tendência linear, que R95p subiu de aproximadamente 300 mm/ano na década de 1920 para 500 mm/ano na década de 2000.

5 Conclusões

Neste artigo, utilizam-se dados diários observados de precipitação da ANA no Estado do Espírito Santo com o objetivo principal de detectar mudanças no comportamento da precipitação e dessa forma contribuir com estudos de vulnerabilidade e adaptação à mudança climática. Inicialmente são elaboradas as climatologias dos indicadores de extremos de precipitação (PRCPTOT, R95p, RX5day, R30mm e CDD) no período 1971-2010 e em seguida, avalia-se as tendências observadas desses mesmos índices.

Os resultados da climatologia dos indicadores de extremos de precipitação mostram que os máximos de PRCPTOT se encontram à barlavento da Serra do Castelo (2097 mm), localizada na mesorregião Central e também sobre a Serra do Caparaó (1890 mm), localizada no oeste da mesorregião Sul. A precipitação anual é reduzida em direção ao norte do estado, onde um mínimo de 873 mm ocorre sobre o sul da mesorregião Noroeste, uma área afastada do oceano e à sotavento da Serra do Castelo. A distribuição espacial dos demais índices de precipitação acompanham o padrão descrito para PRCPTOT, ou seja, máximos de R95p, RX5day e R30mm sobre as regiões serranas e mínimos na mesorregião Noroeste. Em média ocorrem no ano entre 6 e 18 dias com chuva acima de 30 mm (R30mm) no Estado. O número de dias secos consecutivos (CDD) é menor nas áreas serranas e também próximo ao litoral, onde a brisa marítima e a convergência dos ventos úmidos junto à costa promovem aumento de nebulosidade com ocorrência de precipitação ao longo do ano. Por outro lado, os maiores valores de CDD são observados no extremo sudoeste da mesorregião Noroeste. Os valores de CDD oscilam entre 21 dias em Vila Nova Maravilha (no sul da mesorregião Central) e 58 dias em Baixo Guandu (no sudoeste da mesorregião Noroeste).

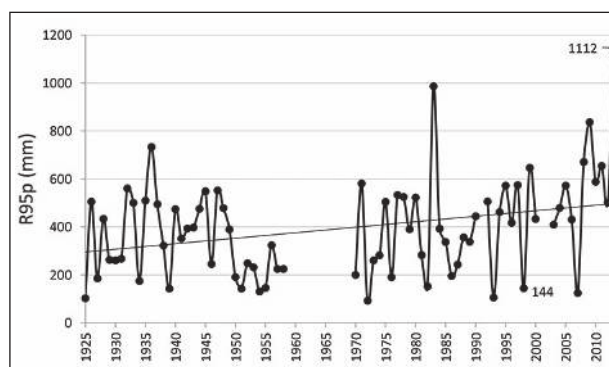


Figura 5 Série temporal de R95p (mm) de 1925 a 2013 para a estação Vitória. A linha reta representa a tendência linear da série.

Os resultados relacionados às tendências dos indicadores de extremos de precipitação mostram que a maior parte das mudanças estatisticamente significativas são de aumento da precipitação acumulada nos eventos de chuva forte (R95p e RX5day), assim como de aumento na frequência de ocorrência de chuvas fortes (R30mm) em várias localidades, principalmente nas mesorregiões Sul e Central que já são as mais úmidas do Estado. Por outro lado, aumentos de CDD predominam, indicando um prolongamento da estação seca, e portanto, indicando uma má distribuição das chuvas ao longo do ano.

Considerando todos os resultados obtidos nesta pesquisa, é possível afirmar que o clima do Estado do Espírito Santo nos últimos anos tem se tornado mais úmido. Sinais similares de tendência de aumento nos indicadores de extremos de precipitação, principalmente nos eventos de chuva forte concordam com os resultados encontrados por outros pesquisadores no Brasil e na América do Sul.

6 Agradecimentos

Este artigo foi desenvolvido como parte do trabalho de conclusão de curso do primeiro autor com apoio da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Saúde. Os autores agradecem ao Ministério do Meio Ambiente pelo apoio através do Projeto “Construção de indicadores de vulnerabilidade da população como insumo para elaboração das ações de adaptação à mudança do clima no Brasil” e também ao INMET e ANA pela disponibilização dos dados observacionais.

7 Referências

- Alexander, L.V.; Zhang, X.; Peterson, T.C.; Caesar, J.; Gleason, B.; Klein Tank, A.M.G.; Haylock, M.; Collins, D.; Trewin, B.; Rahimzadeh, F.; Tagipour, A.; Kumar, K.R.; Revadekar, J.; Griffiths, G.; Vincent, L.; Stephenson, D.B.; Burn, J.; Aguilar, E.; Brunet, M.; Taylor, M.; New, M.; Zhai, P.; Rusticucci, M. & Vazquez-Aguirre, J.L. 2006. Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111: D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.
- Allen, M.R. & W.J. Ingram 2002. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle, *Nature*, 419: 224–232.
- Ávila, A.; Justino, F.; Wilson, A.; Bromwich, D. & Amorim, M. 2016. Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil. *Environmental Research Letters*, 11(11): 114029.
- Barros, V.R.; Doyle, M.E. & Camilloni, I.A. 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 93(1): 19–33.
- Dereczynski, C.; Silva, W.L. & Marengo, J. 2013. Detection and projections of climate change in Rio de Janeiro, Brazil. *American Journal of Climate Change*, doi: 10.4236/ajcc.2013.21003.
- Dufek, A.S. & Ambrizzi, T. 2008. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 93: 167–178.
- Easterling, D.; Meehl, G.; Parmesan, C.; Changnon, S.; Karl, T. & Mearns, L. 2000. Climate Extremes: Observations, Modeling and Impacts. *Science*, 289: 2068–2074.
- Feitoza, L. R.; Scárdua, J. A.; Sediya, G. C.; Oliveira, L. M. & Valle, S. S. 1979. Estimativa das temperaturas médias mensais e anual do Estado do Espírito Santo. *Revista Centro de Ciências Rurais*, 9(3): 279–291.
- Frich, P.; Alexander, L. V.; Della-Marta, P.; Gleason, B.; Haylock, M.; Klein Tank, A. M. G. & Peterson, T. 2002. Observed Coherent Changes in Climatic Extremes during the Second Half of the Twentieth Century. *Climate Research*, 19: 193–212.
- Haylock, M. R.; Peterson, T. C.; Alves, L. M.; Ambrizzi, T.; Anunciação, Y. M. T.; Baez, J. & Corradi, V. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with sea surface temperature. *Journal of climate*, 19(8): 1490–1512.
- Held I.M. & Soden B.J. 2006. Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *Journal of Climate*, 19: 5686–5699.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. Normas Climatológicas do Brasil 1961-1990. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF: INMET, 465 p.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. The Physical Science Basis – Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Brussels.
- Karl, T.; Nicholls, N. & Gregory, J. 1997. The Coming Climate. *Scientific American*, 276: 54–59.
- Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods. 4th Edition, Charles Griffin, London.
- Liebmann, B. & Allured, D. 2005. Daily precipitation grids for South America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86: 1567–1570.
- Luiz Silva, W.; Dereczynski, C.P.; Chang, M.; Freitas, M.; Machado, B.J.; Tristão, L. & Ruggeri, J. 2015. Observed trends in climate extreme indicators of temperature and precipitation in the state of Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30(2): 181–194.
- Luiz Silva, W. & Dereczynski, C.P. 2014. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37: 123–138.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13: 245–259.
- Marengo, J. & Camargo, C.C. 2007. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. *International Journal of Climatology*, 28: 893–904
- Marengo, J.A.; Rusticucci, M.; Penalba, O. & Renom, M. 2010. An Intercomparison of Observed and Simulated Extreme Rainfall and Temperature Events during the Last Half of the Twentieth Century: part 2: Historical Trends. *Climatic Change*, 98: 509–529.
- Marengo, J.A. & Valverde, M.C. 2007. Caracterização do Clima no Século XX e Cenário de Mudanças de Clima para o Brasil no século XXI usando Modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência*, Campinas, Edição nº 8, Mudanças Climáticas, p. 5–18.
- Meehl, G.; Karl, T.; Easterling, D.; Changnon, S.; Pielke, R.; Changnon, D.; Evans, J.; Groisman, P.; Knutson, T.; Kunkel, K.; Mearns, L.; Parmesan, C.; Pulwarty, R.; Root, T.; Sylves, R.; Whetton, P. & Zwiers, F. 2000. An Introduction to Trends in Extreme Weather and Climate Events: Observations, Socioeconomic Impacts, Terrestrial Ecological Impacts and Model Projections. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81: 413–416.
- Muller, C.J.; O’Gorman P.A. & Back L.E. 2011. Intensification of precipitation extremes with warming in a cloud-resolving model. *Journal of Climate*, 24: 2784–2800.
- Nobre, C.A.; Mattos, L.F.; Dereczynski, C.P.; Tarasova, T.A. & Trosnikov, I.V. 1998. Overview of atmospheric conditions during the Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) field experiment. *Journal of Geophysical Research*, 103, n. D24: 31809–31820.
- Nobre, C.A.; Young, A.F.; Saldiva, P.; Marengo, J.A.; Nobre, A.D.; Junior, S.A.; Silva, G.C. M. & Lombardo, M. 2010. Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Sumário Executivo. 32 p.
- Nunes, L.H.; Vicente, A.K. & Candido, D.H. 2009. Clima da região sudeste do Brasil. In: Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.; Justi, M.G.A. & Dias, M.A.F.S. *Tempo e Clima no Brasil*. Editora Oficina de textos, p. 244–258.
- Obregón, G. & Marengo, J.A. 2007. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima no Século XX no Brasil: Tendências de Chuvas e Temperaturas Médias e Extremas. Relatório nº 2, MMA. 87 p.
- O’Gorman, P.A. & Schneider, T. 2008. The hydrological cycle over a wide range of climates simulated with an idealized GCM. *Journal of Climate*, 21: 3815–3832.
- Pall P.; Allen M.R. & Stone D.A. 2007. Testing the Clausius-Clapeyron constraint on changes in extreme precipitation under CO2 warming. *Climate Dynamics*, 28: 351–363.
- Rusticucci, M.; Marengo, J.A.; Penalba, O. & Renom, M. 2010. An Intercomparison of Model-Simulated in Extreme Rainfall and Temperature Events during the Last Half of the Twentieth Century. Part 1: Mean Values and Variability. *Climatic Change*, 98: 493–508.

- Santos, D.N.; Silva, V. de P.R. da; Sousa, F. de A.S. de & Silva, R.A. 2010. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14: 492-500.
- Satyamurty, P.; Nobre, C.A. & Dias, P.L.S. 1998. South America. In: METEOROLOGY OF THE SOUTHERN HEMISPHERE. American Meteorological Society, p. 119-139.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of American Statistician Association*, 63: 1379-1389.
- Skansi, M.M.; Brunet, M.; Sigró, J.; Aguilar, E.; Groening, J.A.A.; Bentancur, O.J. & Rojas, C.O. 2013. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*, 100: 295-307.
- Teixeira, M.S. & Satyamurty, P. 2011. Trends in the frequency of intense precipitation events in southern and southeastern Brazil during 1960–2004. *Journal of Climate*, 24: 1913-1921.
- Trenberth, K.E. 1999. Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change*, 42: 327–339.
- Zhang, X. & Yang, F. 2004. RClimDex (1.0) – User Manual. Climate Research Branch Environment. Canada Downsview.
- Zhou, J. & Lau, K.M. 2001. Principal modes of interannual and decadal variability of summer rainfall over South America. *International Journal of Climatology*, 21(13): 1623-1644.
- Zilli, M.T.; Carvalho, L.M.V.; Liebmann, B. & Silva Dias, M.A. 2016. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. *International Journal of Climatology*, 37: 2269–2279.