

ANÁLISES DE ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS NA ZONA COSTEIRA FLUMINENSE

Fernanda Corrêa Cécio ¹
Eduardo M. R. Bulhões ²

INTRODUÇÃO

A complexidade da zona costeira está associada à interação de processos continentais, atmosféricos e marinhos em diferentes escalas de tempo, além da influência das atividades humanas, muitas vezes conflitantes, que se tornam desafios adicionais no contexto das mudanças climáticas globais (Masselink; Gehrels, 2014).

O 6º Relatório do Clima do IPCC (2021) destaca que atividades humanas, como as crescentes emissões de gases de efeito estufa (GEEs), têm aquecido a atmosfera, o oceano e a terra. Desde 1850-1900 até 2010-2019, a temperatura média global aumentou 1,07°C, com 1,59°C atribuídos aos GEEs. Observou-se um aumento médio de 0,88°C na temperatura da superfície do oceano e um aumento de 0,20 m no nível médio do mar entre 1901 e 2018.

Projeções indicam um aumento de temperatura global entre 1°C e 1,8°C no cenário de emissões baixas e de 3,3°C a 5,7°C no cenário de emissões altas até o final do século. A intensificação de eventos de forte precipitação é provável em muitas regiões devido ao aquecimento global, afetando diretamente os geossistemas terrestres e exigindo adaptação humana e dos ecossistemas (Tebaldi et al. 2006).

A climatologia de extremos climáticos é uma ferramenta relevante para apontar tendências de alterações climáticas e variabilidade regional (Chang et al. 2014; Cordeiro et al. 2021). O Projeto Climdex, da Organização Meteorológica Mundial, destaca-se nesse cenário.

No Estado do Rio de Janeiro, 33 municípios integram a Zona Costeira Fluminense (ZCF), ocupando ~17,5 mil km² (~40% do território estadual) e abrigando

¹ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense - UFF,
fernanda_cecio@id.uff.br;

² Professor orientador: Dr. Eduardo M. R. Bulhões, Universidade Federal Fluminense - UFF,
eduardobulhoes@id.uff.br.

~13,2 milhões de habitantes (~83% da população estadual). Também de acordo com dados do IBGE, predominam mosaicos de ocupações em área florestal (~27%), vegetação florestal (~22%), pastagens (~16%) e áreas urbanizadas (11%).

No contexto da Geografia Marinha e das mudanças climáticas na ZCF, o objetivo deste trabalho é discutir índices de extremos climáticos ao longo das estações do INMET na ZCF, apontando tendências de 1961-2022 para indicadores calculado a partir das variáveis temperatura máxima (TX), mínima (TN) e precipitação (PRCP).

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

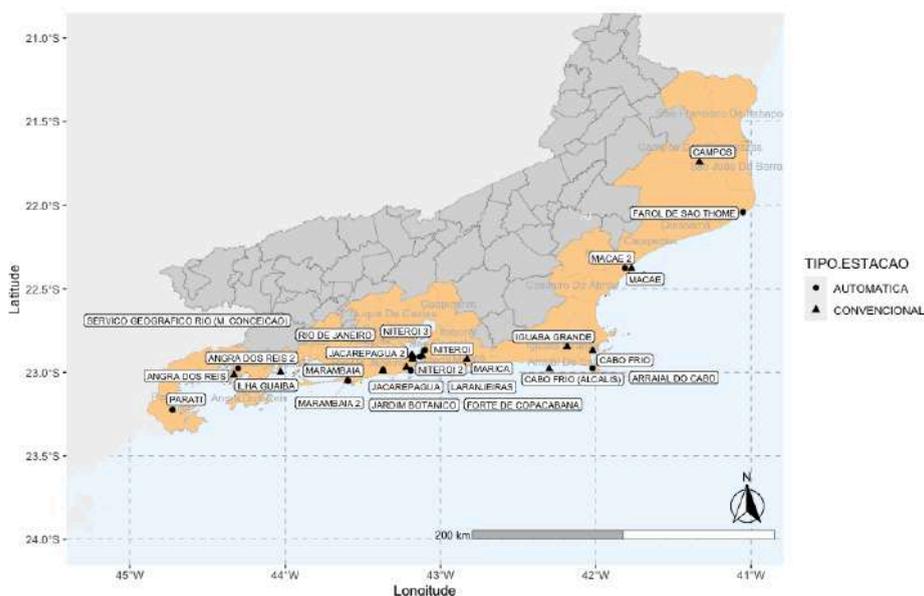
A série histórica foi obtida da base de dados diários do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 1961-2021, abrangendo estações convencionais e automáticas em municípios da ZCF. Embora a obtenção de registros contínuos seja difícil, foram utilizadas estratégias de interpolação de dados faltantes.

O Projeto Climdex oferece índices para análise de extremos climáticos de temperatura e precipitação. Foram escolhidos 18 índices para este estudo. O índice TXm calcula a média anual das temperaturas máximas diárias, e o índice TNm faz o mesmo para as temperaturas mínimas diárias. O índice DTR calcula a amplitude térmica diária. O índice TXx extrai a temperatura máxima mensal e o TXn, a mínima mensal. O índice TX10p indica o percentual anual de dias com temperatura máxima inferior ao décimo percentil e o TX90p, superior ao nonagésimo percentil. Os índices TNn e TNx calculam, respectivamente, as temperaturas mínima e máxima mensais das mínimas diárias. Os índices TN10p e TN90p indicam os percentuais anuais de dias com temperatura mínima inferior ao décimo e superior ao nonagésimo percentil.

Os índices SU e TR totalizam, respectivamente, o número anual de dias com temperatura máxima superior a 25°C e o número de noites com temperatura mínima superior a 20°C. Os índices de precipitação incluem PRCPTOT, que totaliza anualmente a precipitação em milímetros, e R10mm e R20mm, que contabilizam o número de dias por ano com precipitação superior a 10mm e 20mm, respectivamente. Os índices R95p e R99p calculam a precipitação anual acumulada em dias superiores ao nonagésimo quinto e nonagésimo nono percentis.

A organização, cálculo e processamento dos índices foram realizados utilizando ferramentas e pacotes de modelagem em R, como Climpack, Kendall, Mice e Ggplot2. A consulta abrangeu estações com pelo menos 10 anos de dados, totalizando 28 estações conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Estações automáticas e convencionais disponíveis na plataforma BDMEP INPE correspondentes aos municípios da ZCF



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela III apresenta um resumo das taxas de variação interanuais e decadais para cada um dos índices de extremos climáticos para todas as estações analisadas ao longo da ZCF e inclui também as tendências de aumento (positiva) e redução (negativa) dos resultados dos índices ao longo da série utilizada. Cabe destacar que de uma forma geral há uma tendência positiva de elevação das temperaturas médias conforme indicam os índices TXm e TNm. Há também uma tendência positiva de elevação das temperaturas máximas (TXx) e mínimas (TNn) mensais.

Tabela III - Resultados agrupados para todas as estações analisadas ao longo da ZCF acerca das tendências interanuais e decadais dos índices de extremos climáticos

ÍNDICE	DESCRIÇÃO	SLOPE INTERANUAL MÉDIO	TENDÊNCIA	TAXA DE VARIAÇÃO POR DÉCADA
TXm	Temperatura Máxima Anual Média	0,030	POSITIVA	0,30°C
TXx	Dia Mais Quente. Máximo mensal de temperatura máxima.	0,025	POSITIVA	0,25°C
TNm	Temperatura Mínima Anual Média	0,019	POSITIVA	0,19°C

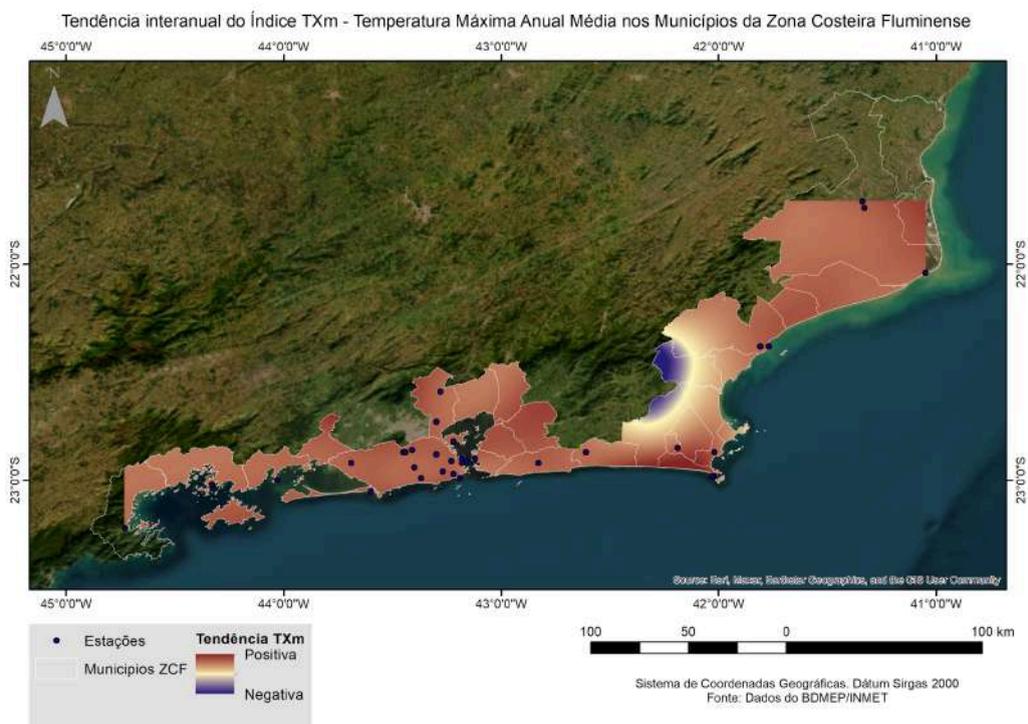
DTR	Amplitude Térmica Diária	0,004	POSITIVA	0,04°C
TXn	Dia Mais Frio. Mínimo mensal de temperatura máxima.	0,024	POSITIVA	0,24°C
TX10p	Fração de Dias Frios. Percentual de dias do ano em que a temperatura máxima foi menor que o 10º percentil.	-0,124	NEGATIVA	-1,24%
TX90p	Fração de Dias Quentes. Percentual de dias do ano em que a temperatura máxima foi maior que o 90º percentil.	0,211	POSITIVA	2,11%
TNn	Noite Mais Fria. Mínimo mensal de temperatura mínima.	0,017	POSITIVA	0,17°C
TNx	Noite Mais Quente. Máximo mensal de temperatura mínima.	-0,005	NEGATIVA	-0,05°C
TN10p	Fração de Noites Frias. Percentual de dias do ano em que a temperatura mínima foi menor que o 10º percentil.	-0,105	NEGATIVA	-1,05%
TN90p	Fração de Noites Quentes. Percentual de dias do ano em que a temperatura mínima foi maior que o 90º percentil.	0,131	POSITIVA	1,31%
SU	Dias de Verão. Quantidade anual de dias onde a temperatura máxima diária é superior a 25°C	1,689	POSITIVA	17 dias
TR	Noites Tropicais. Quantidade anual de noites onde a temperatura mínima diária é superior a 20°C	1,017	POSITIVA	10 dias
PRCPTOT	Precipitação Total Anual	-0,459	NEGATIVA	-4,59 mm
R10mm	Número de dias com chuvas fortes. Quantidade de dias por ano em que a precipitação foi maior que 10mm.	0,019	POSITIVA	0,19 dias
R20mm	Número de dias com chuvas muito fortes. Quantidade de dias por ano em que a precipitação foi maior que 20mm.	0,040	POSITIVA	0,40 dias
R95p	Dias muito molhados. Precipitação anual total dos dias em que a precipitação foi maior que o 95º percentil.	-0,548	NEGATIVA	-5,48 mm
R99p	Dias extremamente molhados. Precipitação anual total dos dias em que a precipitação foi maior que o 99º percentil.	-4,342	NEGATIVA	-43,42 mm

Quanto aos índices de precipitação há uma tendência geral ligeiramente negativa na precipitação total anual (PRCPTOT) ao longo do conjunto das estações e também há uma tendência ligeiramente positiva no número de dias de chuvas fortes (R10mm) e muito fortes (R20mm). Os resultados encontrados para todas as estações ao longo da ZCF não revelam algumas discrepâncias ao longo do litoral fluminense e então

selecionamos três exemplos de mapas a seguir que permitem uma identificação regionalizada de alguns resultados.

A Figura 2 que apresenta a espacialização interpolada do índice TXm permite observar uma tendência positiva generalizada. As nuances mais escuras indicam tendências positivas mais proeminentes, com destaque para as estações Arraial do Cabo e Cabo Frio ambas na região dos lagos e apresentando taxas de $+0,09^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ enquanto as nuances mais claras como na estação Duque de Caxias ($-0,05^{\circ}\text{C}/\text{ano}$) indicam tendências mais suaves de alteração neste índice.

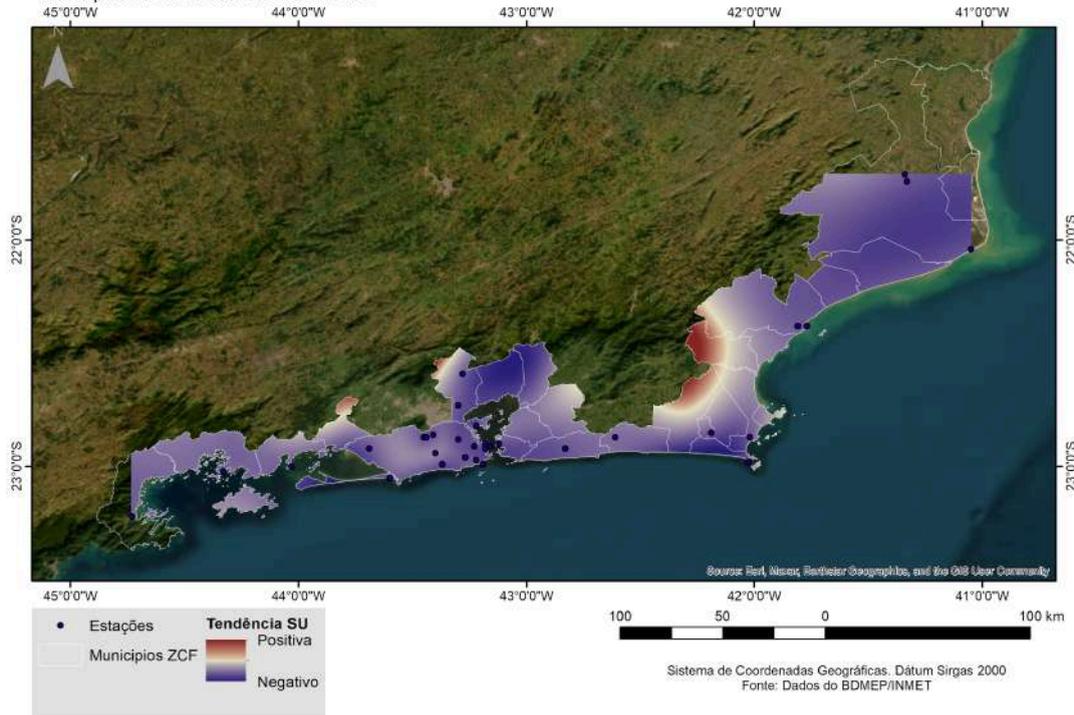
Figura 2. Distribuição interpolada das tendências para o índice TXm



Já a Figura 3 apresenta a espacialização interpolada do índice SU e nota-se uma tendência negativa generalizada. As maiores tendências positivas foram apresentadas pelas estações Duque de Caxias Xerém ($+8,25$ dias por ano), Rio de Janeiro Marambaia ($+8,34$ dia por ano), Arraial do Cabo ($+8,03$ dias por ano). Em tendências negativas a estações de Campos dos Goytacazes São Tomé destaca-se com $-0,89$ dias por ano.

Figura 3. Distribuição interpolada das tendências para o índice SU

Tendência Interanual do Índice SU - Quantidade Anual de Dias onde a Temperatura Máxima Diária é Superior a 25°C nos Municípios da Zona Costeira Fluminense

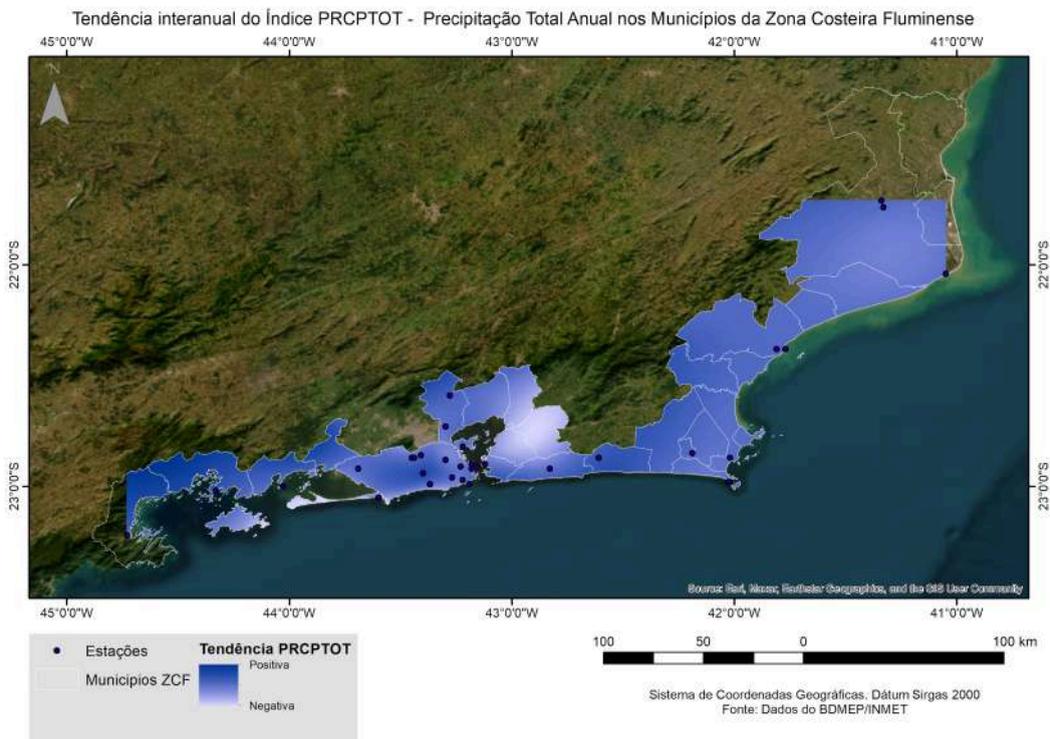


De uma maneira geral, existe a tendência de aumento nos valores dos índices derivados de temperaturas, sobretudo naqueles de temperaturas mínimas nos estudos de extremos climáticos aplicados no mundo. Alexander et al. (2005), em um estudo global, citam, por exemplo, que em 70% das áreas continentais amostradas houve uma significativa diminuição na ocorrência anual de noites frias (TN10p) e um significativo aumento na ocorrência anual das noites quentes (TN90p). Os resultados neste estudo são concordantes com ambas.

Para a América do Sul, Marengo et al. (2010) encontraram tendência clara de aumento nos índices relacionados à temperatura mínima, mais especificamente às noites quentes (TN90p) para todo o continente sul-americano, e tal cenário se mantém com elevado grau de confiança quando Marengo et al. (2009) o projetam para o futuro. Os resultados aqui são suportados por esses.

Por fim, exemplificando um índice de precipitação, a Figura 4 apresenta o mapa com a distribuição interpolada para o índice PRCPTOT e as tendências tendem a positivas com destaque para a estação Duque de Caxias Xerém (+ 55 mm/ano) na região metropolitana e com tendências negativas destacam-se as estações Marambaia com -103 mm/ano e Ilha Guaíba com -30 mm/ano.

Figura 4. Distribuição interpolada das tendências para o índice PRCPTOT



Cabe também contextualizar com Marengo et al. (2010) que encontraram para o sudeste do continente uma tendência de aumento no número de dias com chuvas fortes (R10mm) semelhante ao encontrado aqui. No Brasil, Obregón e Marengo (2007) observaram tendências de aumento na temperatura máxima média de até 0,6°C/década, superior ao (0,3°C/década) encontrado neste trabalho. Os mesmos autores verificaram que para o índice PRCPTOT existem tendências negativas para algumas estações no sudeste brasileiro incluindo dados em municípios litorâneos (entre -18 e -200 mm/ano) tais oscilações também foram aqui encontradas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nestas análises, encontrou-se que, à despeito de falhas nos registros, os dados observacionais diários de temperaturas máximas, mínimas e de precipitação permitiram o cálculo e a análise de índices de extremos climáticos e tal ferramenta é útil para a comparação de resultados e para acessar as tendências de mudanças e variabilidade climática. Na escala da ZCF tais índices apontam uma tendência geral de aumento nas temperaturas máximas e mínimas e de ligeira diminuição no volume anual de precipitação. No entanto, para os índices de precipitação os índices apontam um

aumento na concentração das chuvas fortes acima de 10mm e 20mm dia. O aprofundamento das análises poderá ser validado com dados modelados.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, litoral fluminense, climatologia geográfica

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, L.V. et al. **Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation.** Journal of Geophysical Research, 111, 2006. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>

CHANG, M.; DEREZYNSKI, C.; FREITAS, M.A.V.; CHO, S.C. **Climate change index: a proposed methodology for assessing susceptibility to future climatic extremes.** American Journal of Climate Change, V. 3, 2014.

CORDEIRO, M.L.P.; JUNIOR, G.C.S.; DEREZYNSKI, C.; CHRISPIM, Z.M.P.; MELO, M.T.C. **Analysis of indicators of climate extremes and projection of groundwater recharge in the northern part of the Rio de Janeiro state, Brazil.** Environment, Development, and Sustainability, 2021.

IPCC, 2021: **Summary for Policymakers.** In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

MARENGO, J.A.; JONES, R.; ALVES, L.M.; VALVERDE, M.C. **Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECI regional climate modeling system.** International Journal of Climatology, 29 | 2009. <https://doi.org/10.1002/joc.1863>

MARENGO, J.A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. **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 | 2010. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9743-7>

MASSELINK, G.; GEHRELS, R. **Coastal Environments and Global Change.** 1 ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd. 2014

OBREGÓN, G.; MARENGO, J.A.; **Caracterização do clima do Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas.** Relatório 2, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Conservação da Biodiversidade. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade. Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, 2007

TEBALDI, C.; HAYHOE, K.; ARBLASTER, J.; MEEHL, G. **Going to the extremes: an intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events.** Climatic Change, V. 79, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9051-4>