

## **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO (IC) E TENDÊNCIAS OBSERVADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POMBA (BHRP)**

Thiago Alves de Oliveira<sup>1</sup>  
Camila de Moraes Gomes Tavares<sup>2</sup>  
Yan Carlos Gomes Vianna<sup>3</sup>  
Paulo Miguel de Bodas Terassi<sup>4</sup>  
Emerson Galvani<sup>5</sup>

### **INTRODUÇÃO**

A precipitação está associada à reposição hídrica do planeta terra. Desta forma, a sua distribuição temporal é importante na medida em que se torna fundamental para as atividades humanas. No domínio tropical em território brasileiro, marcado pelo sistema de monção da América do Sul (SMAS), onde a precipitação é concentrada no período de outubro a março, períodos de seca e períodos de chuva intensa são comuns e, por vezes, estão associados aos danos observados tanto no campo, quanto nas cidades (Reboita et al., 2010; Gan et al., 2016; Siqueira e Nery, 2021).

Com isso, avaliar a variabilidade espaço-temporal das chuvas é fundamental para o planejamento e a gestão territorial. Dentre as técnicas disponíveis para a investigação observar-se a análise da concentração da precipitação a partir da técnica proposta por Martin-Vide (2004). O índice de Concentração (CI) parte do pressuposto que quanto menos intensa é a precipitação, mais frequente esta será. Por outro lado, os eventos mais intensos possuem uma menor frequência (Martin-Vide, 2004).

Diversos trabalhos aplicaram a técnica do índice de concentração, como os seguintes: Royé e Martin-Vide (2017) estudaram as chuvas nos Estados Unidos; Llano (2018) na Argentina; Azioune et al (2023) utilizaram a técnica para avaliar as chuvas na Argélia; Sa'adi et al (2024) avaliaram, com base em dados estimados por satélite, a concentração da precipitação na bacia do rio Johor na Malásia. No Brasil, destaque para Siqueira e Nery (2018; 2020; 2021), que avaliaram a concentração das chuvas nos estados de São Paulo, Paraná e no

---

<sup>1</sup> Doutorando em Geografia (Geografia Física) na Universidade de São Paulo- USP, [thiago.a.oliveira@usp.br](mailto:thiago.a.oliveira@usp.br);

<sup>2</sup> Doutoranda em Geografia na Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ;

<sup>3</sup> Mestre em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora- UFJF;

<sup>4</sup> Doutor em Geografia (Geografia Física), Universidade Federal da Integração Latino-Americana - UNILA;

<sup>5</sup> Professor orientador: Doutor em Agronomia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas- FFLCH/USP.

Nordeste brasileiro, respectivamente. Nery, Carfan e Martin-Vide (2017) analisam a irregularidade pluviométrica a partir do IC para a região Sudeste do Brasil.

Localizada nas mesorregiões da Zona da Mata Mineira e na Região Noroeste Fluminense, a bacia hidrográfica do rio Pomba (BHRP) drena 42 municípios mineiros e 4 municípios fluminenses, onde residem aproximadamente 812 mil habitantes. A partir de tais considerações, o objetivo do estudo destina-se a avaliar a concentração das chuvas na bacia do rio Pomba, estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, entre os anos de 1970 a 2020 e suas relações com a altimetria e a proximidade com o oceano Atlântico.

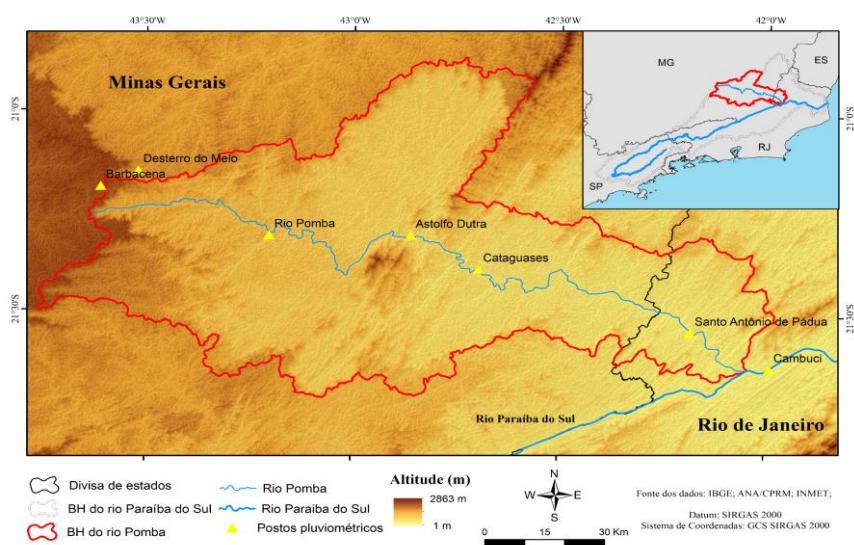
## MATERIAIS E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Pomba (BHRP) (figura 1). É tributária do rio Paraíba do Sul, drenando trechos da zona da Mata Mineira e noroeste fluminense. A bacia do rio Pomba (BHRP) abrange uma área de 8.589,7 km<sup>2</sup>. As chuvas na BHRP se concentram no período de outubro a março, com mais de 80% da precipitação total anual, enquanto que os meses de abril a setembro representam, em média, pouco mais de 17%.

O relevo regional na BHRP é marcado por altimetrias que variam entre os 100 metros e superam os 2000 metros nas cabeceiras, em grande parte o relevo na bacia é marcado pela depressão do rio Paraíba do Sul. Os divisores de água estão localizados no domínio da Serra da Mantiqueira, alojados em contato com importantes bacias hidrográficas do sudeste do Brasil, como as bacias hidrográficas dos Rios Doce e Paraná.

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Pomba (BHRP)



Fonte: Organizado pelos autores.

No período de verão, são registrados os maiores totais pluviométricos na região, sobretudo quando a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) está configurada. A ZCAS também é, em grande medida, responsável pela ocorrência dos eventos extremos na região (Cavalcanti, 2012). No período do inverno, a atuação dos sistemas frontais pelo interior do continente e, conseqüentemente, o ingresso da massa Polar Atlântica, marcam condições de tempo estável e com temperatura do ar mais baixa. Além disso, a atuação da massa Tropical Atlântica também está associada à condição de estabilidade. Portanto, no período do inverno as chuvas estão associadas apenas à passagem dos sistemas frontais e/ou da massa Tropical Atlântica em áreas de influência orográfica (Borsato, 2016).

A mTa apesar de ser um centro de Alta Pressão (atmosférica estável) a combinação com o relevo da Serra do Mar e da Mantiqueira potencializa chuvas orográficas na Leste da região Sudeste do Brasil, inclusive contribuindo com importantes volumes de precipitações ocultas na região (Arcova et al., 2021 (a), Arcova et al., 2021 (b)).

## METODOLOGIA

Foram selecionados 7 postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas-ANA, localizados na área de estudo. O período utilizado em todos os postos foi de 1970 a 2020, totalizando 51 anos. Na bacia hidrográfica do rio Pomba, Oliveira et al. (2023) observaram a existência de três agrupamentos homogêneos (AH) de precipitação, com base na análise de dendrograma, o AH I é representado pelo alto curso da bacia, AH II pelo médio curso e o AH III pelo baixo curso (Tabela 1).

Tabela 1: Informações dos postos pluviométricos: código do posto, % de dados faltantes.

Posto pluviométrico	ID	Código	% de falhas	AH
Barbacena	12	2143007	4,8	I
Desterro do Melo	10	2143003	0,7	I
Pio Pomba	8	2143000	2,4	II
Astolfo Dutra	6	2142000	0,2	II
Cataguases	4	2142001	1,8	II
Santo Antônio de Pádua	2	2142058	1,0	III
Cambuci	0	2141007	0,7	III

ID: Número para identificado dos postos nas figuras subsequentes. AH: Agrupamento homogêneo, segundo Oliveira et al. (2023). Fonte dos dados: Agência Nacional de Águas-ANA (2024). Organizado pelos autores.

Para o preenchimento dos dados faltantes, foi utilizada a técnica de ponderação regional, de acordo com Tucci (2002), “é um método simplificado normalmente utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações” (Tucci, 2002, p. 183). De acordo com as pesquisas de Fante e Sant’Anna Neto (2016) e Oliveira et al. (2021), a técnica da

ponderação regional é aquela que produz os melhores resultados, quando comparada a outras formas de preenchimento de falhas.

O IC foi obtido segundo a metodologia descrita por Gonçalves e Back (2017) -(equação 1) onde o  $P_i$  corresponde aos percentuais acumulados de precipitação;  $a$  e  $b$  denominados como coeficientes de regressão;  $\text{Sum}(N_i)$  o percentual acumulado de dias chuvosos;  $\text{Sum}(P_i)$  como a função do percentual acumulado de quantidade de chuva.

$$\text{Sum}(P_i) = a * \text{Sum}(N_i) \exp(b * \text{Sum}(N_i)) \text{ (Equação 1)}$$

O IC é determinado pela curva de Lorenz onde o grau de concentração é expresso pela área entre a bissetriz do quadrante e a linha poligonal, sendo obtido pela equação 2 que se assemelha ao índice de Gini. A classificação do IC foi baseada em Martin-Vide (2004) conforme apresentado na tabela 2.

$$CI = \frac{S'}{5000} = \frac{(5000-A')}{5000} \text{ Equação 2}$$

Tabela 2: Classificação do Índice de Concentração

IC	Classificação
$\leq 0,50$	Baixo
0,50 a 0,60	Médio
0,60 a 0,70	Alto
$\geq 0,70$	Muito Alto

Fonte: adaptado de Martin Vide (2004).

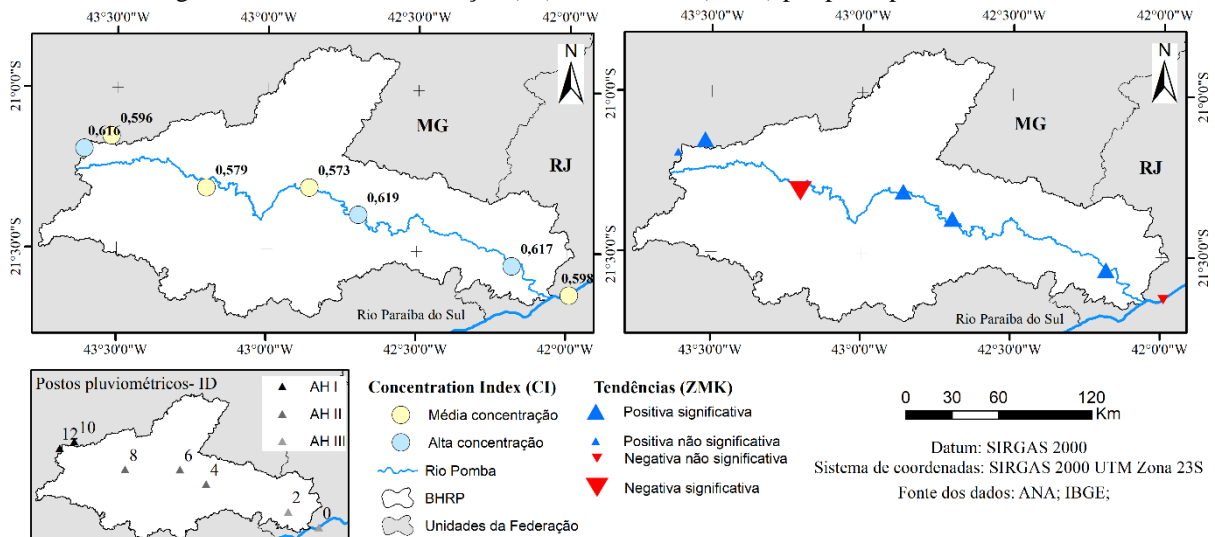
Após a aplicação do CI, realizou-se a análise de tendência através do teste não paramétrico Mann-Kendall (Fernandes et. al., 2022). Para verificação dos pontos de ruptura da série, foi feita a aplicação do teste Pettitt. O teste Mann-Kendal diz respeito a um teste não paramétrico de duas hipóteses em que a hipótese  $H_0$  corresponde a não existência de tendência na série de dados; e  $H_1$  em que há uma tendência de aumento (+) ou redução (-) no conjunto de dados analisados. O p-valor determina a significância estatística da tendência, onde valores menores que 0,05 corresponde a significância estatística. O valor de Z atesta a força da tendência identificada. O teste Pettitt corresponde a um teste não paramétrico onde verifica-se o ponto de ruptura dos dados em que o valor de K corresponde a posição da série onde houve mudança no comportamento dos dados, atestando, assim, o ponto de ruptura da série (Fernandes et. al., 2022). A aplicação do IC, do Mann-Kendall e do Teste Pettitt foram executados no Software RStudio. Para representação gráfica e cartográfica dos dados foram utilizados os softwares Excel, RStudio, Arcgis 10.7.2 e Surfer 22.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta a distribuição espacial do IC e das tendências observadas para área de estudo. É possível, a partir dos dados obtidos, visualizar que as chuvas na bacia hidrográfica do rio Pomba possuem uma concentração que varia entre média e alta. No alto curso (AHI), o posto de Barbacena possui uma alta concentração e o posto de Desterro do Melo tem média concentração.

No agrupamento homogêneo II (AH II) dois postos apresentaram média concentração das chuvas (Rio Pomba e Astolfo Dutra), enquanto que o posto de Cataguases a precipitação possui uma alta concentração. No AH III (baixo curso) os dados de Santo Antônio de Pádua possuem uma alta concentração, enquanto que os dados de Cambuci apresentam média concentração. As condições na BHRP estiveram bem próximas, ao visualizar o CI geral, pois a variação foi de 0,573, no posto de Astolfo Dutra, a 0,619 em Cataguases.

Figura 2: Índice de concentração (CI) e tendências (ZMK) por posto pluviométrico, na BHRP.



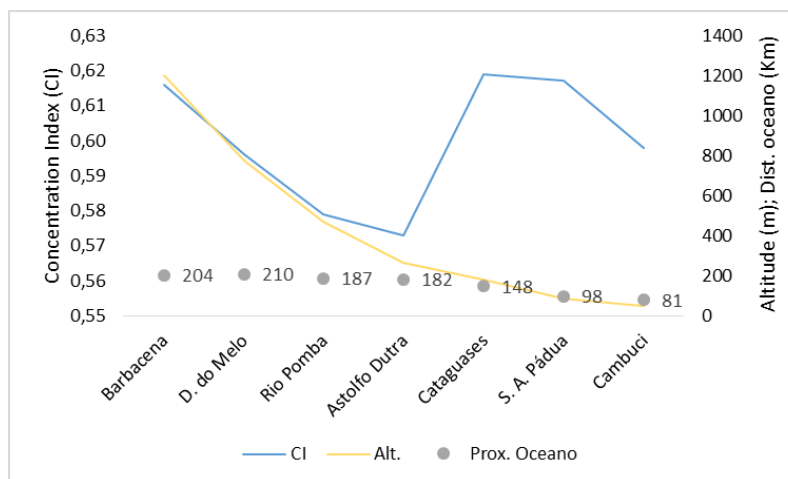
Fonte: Organizado pelos autores.

A figura 3 demonstra que há uma redução do índice de concentração do alto curso em direção ao médio curso da bacia, porém a partir de Cataguases há novamente um aumento deste indicador. É importante destacar que na medida em que a altitude diminui, reduz também a distância para o oceano Atlântico. Dessa forma, sugere-se que no médio curso da bacia predomina uma condição de média concentração das chuvas, também em função da altitude mais baixa, associada a uma maior distância em relação ao oceano.

Os resultados apresentados anteriormente são condizentes com aqueles observados por Siqueira e Nery (2018), que ao estudar o índice de concentração no estado de São Paulo, apontaram que a faixa litorânea e de maior altimetria apresentam maior concentração da precipitação, superando os 0,58. Essa condição pode estar associada ao fator orográfico e a proximidade com o Oceano Atlântico como fator geográfico do clima na formação das chuvas.

Considerando os dados obtidos para a BHRP, a altimetria apresenta maior influência no alto curso da bacia, mas não se apresenta como elemento explicativo do baixo curso, o que, nesse caso, a explicação se dá em função da maior proximidade com o oceano.

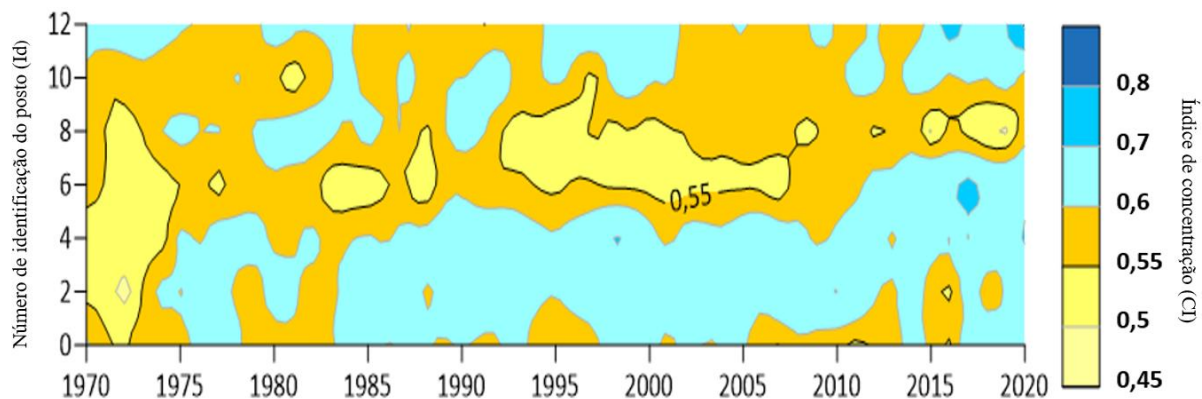
Figura 3: Comparativo entre o índice de concentração, altitude e a distância para o oceano.



Fonte: Organizado pelos autores.

A distribuição espaço-temporal do índice de concentração (Figura 4) permite visualizar que no médio/baixo curso há uma concentração alta da precipitação na maior parte da série. Do médio para o alto curso há o contrário, um predomínio de valores que indicam uma média concentração.

Figura 4: Série temporal do índice de concentração (CI) para os postos pluviométricos da BHRP.



Legenda: Id0=Cambuci; Id2:S. A. Pádua; Id4: Cataguases; Id6: Astolfo Dutra; Id8: Rio Pomba; Id10: Desterro do Melo; Id 12: Barbacena. Fonte: Organizado pelos autores.

Além disso, o período entre 2015 e 2020 representou uma maior concentração das chuvas na área de estudo. E de uma forma geral, o gráfico permite visualizar uma tendência de elevação, na medida em que a classe de alta concentração (entre 0,6 e 0,7) aumenta ao longo da série. Essa perspectiva pode ser confirmada pela análise de tendência verificada a partir da figura 2.

A partir da avaliação temporal do índice de concentração, para o período de 1970-2020, observou-se que há uma indicação de ampliação da concentração das chuvas em 5 postos (Barbacena, Desterro do Melo, Astolfo Dutra, Cataguases e Santo Antônio de Pádua) e redução da concentração nos postos de Rio Pomba e Cambuci. A partir da mediana entre os sete postos, observa-se uma tendência de elevação significativa no computo geral da BHRP.

Tabela 3: Estatísticas de tendência para a BHRP: Testes de Mann-Kendall e Pettitt.

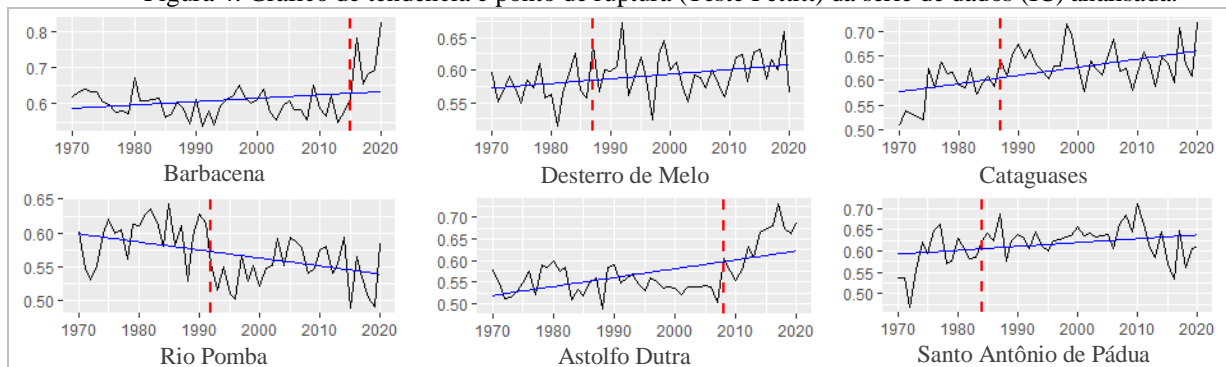
Id	Barbacena	D. do Melo	R. Pomba	A. Dutra	Cataguases	S. A. Pádua	Cambuci	BHRP
<b>z</b>	0,28658	2,2819**	-3,1124***	2,9875***	3,4707***	2,2706**	-0,10647	2,0507**
<b>p</b>	0,77443	0,022493	0,0018555	0,0028129	0,0005192	0,023169	0,91521	0,0403
<b>U</b>	240	288	446	438	418	270	154	240
<b>Ano</b>	2014	1986*	1991***	2007***	1986***	1983*	2005	2011

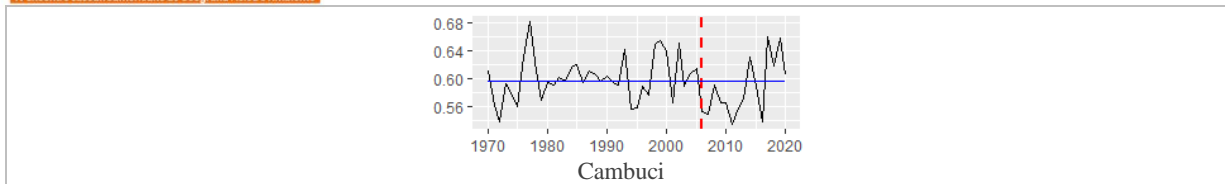
Legenda: testes com significância estatística a 10%=\*; 5%=\*\*; 1%=\*\*\*. Organizado pelos autores.

Dos sete postos analisados, cinco deles tiveram tendências significativas, sendo que quatro indicam elevação e um indica redução nas concentrações diárias de precipitação. Os dois postos do alto curso da BHRP apontam para um aumento na concentração da precipitação. No médio curso, dois postos apontam para um aumento da concentração e um deles para redução, todas as tendências foram significativas. Já no baixo curso, o posto de Santo Antônio de Pádua apresenta tendência de elevação significativa, enquanto o posto de Cambuci apresentou redução não significativa.

Além disso, os três postos representantes do médio curso da BHRP (Astolfo Dutra; Rio Pomba e Cataguases) apresentaram ruptura significativa (1%) nas séries de dados. Porém, dois postos indicam uma ruptura positiva, com aumento da concentração das chuvas e um posto aponta para uma descontinuidade negativa, com redução da concentração das chuvas. A partir da figura 4 é possível visualizar os valores de IC anuais coma as respectivas linhas de tendências e pontos de ruptura da série. Segundo os resultados obtidos, não foi possível verificar um padrão do ponto de ruptura das séries analisadas.

Figura 4: Gráfico de tendência e ponto de ruptura (Teste Pettitt) da série de dados (IC) analisada.





Legenda: Traço vermelho na vertical indica o ponto de ruptura. Fonte: Organizado pelos autores.

Nery e Teixeira (2018) analisaram a tendência do índice de concentração (CI) no estado do Paraná e destacam que no estado predominam tendências negativas do CI. No sudeste do Brasil, Nery et al. (2017) afirmam que predominam tendências negativas do CI, quando estudaram os dados de 120 estações meteorológicas. Todavia, esses resultados divergem dos obtidos na presente pesquisa, uma vez que, dos 7 pontos analisados, 5 apresentaram tendência de aumento, sendo que dessas, 4 foram tendências significativas.

Nery et al. (2017) afirmam que uma tendência de elevação no índice de concentração indica uma ampliação da irregularidade das chuvas, propiciando mais episódios extremos, sejam eles secos ou chuvosos. Fato que pode ser observado na BHRP, onde há um aumento do CI a partir dos dados medianos para a área de estudo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliar a concentração das chuvas é importante no domínio tropical que em função do SMAS há registro das chuvas de forma concentrada ao longo de seis meses do ano. Com isso, são comuns os episódios extremos de secas e chuvas, bem como os produtos associados a esses eventos como inundações, movimentos de massa, desabastecimento hídrico etc.

Na bacia hidrográfica do rio Pomba (BHRP) as chuvas apresentam uma concentração média, principalmente no médio curso da BH, e alta, no alto e baixo cursos. Esta maior concentração no alto e baixo curso podem estar associadas ao fator altimétrico e às maiores elevações (orografia) e com a proximidade do oceano atlântico (maritimidade).

De uma forma geral, há predominância de tendência de aumento na concentração da precipitação na área de estudo, com tendências significativas de aumento nos dados medianos para a BHRP. Importante destacar que este aumento da concentração pode ampliar os danos associados aos eventos extremos na região, como episódios de inundação, movimentos de massa etc.

**Palavras-chave:** Sudeste do Brasil; variabilidade pluviométrica; fatores climáticos; eventos extremos.



**AGRADECIMENTOS** O primeiro autor agradece à CAPES pela bolsa de Doutorado. O quinto autor agradece ao CNPQ por meio da bolsa de Pesquisa e Produtividade (1D).

## REFERÊNCIAS

ARCOVA, F. C. S.; GALVANI, E.; RANZINI, M.; DE CICCIO, V. Avaliação da precipitação oculta na serra do Mar com coletores passivos de nevoeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 25, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v25i0.64388.

ARCOVA, F. C. S.; GALVANI, E.; RANZINI, M.; CICCIO, V. Ocorrência de nevoeiros em uma microbacia experimental na serra do Mar, Cunha, SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 18, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v18i0.44956.

AZIOUNE, R. et al. Analysis of daily rainfall concentration in northeastern Algeria 1980–2012. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 153, n. 3, p. 1361-1370, 2023.

BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Editora CRV, 2016.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic associated with extreme precipitation over South America: a review and case studies for the first decade the 21st century. **Atmospheric Research**, 118, p. 27-40, 2012.

FANTE, K. P.; SANT'ANNA NETO, J. L. Técnicas estatísticas para a homogeneização de dados de temperatura em séries temporais climatológicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016.

FERNANDES, A. C. G.; BORGES, I. M. S.; SILVA, J. A.; SILVA, E. C. B.; SANTOS, M. J. R.; PESSOA, D. S.; MARTINS, M. S.; SILVA, J. A.; CAMPOS, J. O.; MEDEIROS, L. R. A. O uso do teste de mann-kendall para detecção de tendência da precipitação em região semiárida pernambucana. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11.

GAN, M. A.; SANTOS, L. F.; LIMA, J. R. A.; AFONSO, M. S.; SILVA, A. B. Monção da América do Sul. Edição comemorativa de 30 anos do Climanálise, **Revista Climanálise**, 2016.

GONÇALVES, F. N.; BACK, A. J. Índice de concentração de chuva no estado de Santa Catarina. **Anais do XXII SBRH**, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Florianópolis, 2017.

LLANO, M. P. Spatial distribution of the daily rainfall concentration index in Argentina: comparison with other countries. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 133, n. 3, p. 997-1007, 2018.

MARTIN-VIDE, J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 24, n. 8, p. 959-971, 2004.

NERY, J. T.; CARFAN, A. C.; MARTIN-VIDE, J. Analysis of rain variability using the daily and monthly concentration indexes in Southeastern Brazil. **Atmospheric and Climate Sciences**, 2017, 7, 176-190 <http://www.scirp.org/journal/acs>.

OLIVEIRA, T. A.; SANCHES, F. O.; FERREIRA, C. C. M. Aplicação e avaliação de técnicas para o preenchimento de falhas de dados pluviométricos em anos habituais, secos e chuvosos. **ENTRELUGAR**, 12(24), 301–320, 2021. <https://doi.org/10.30612/rel.v12i24.15137>

OLIVEIRA, T. A.; TERASSI, P. M. B.; GALVANI, E. Variabilidade espacial da precipitação nas bacias hidrográficas dos rios Pomba e Muriaé-MG/RJ: Investigação via técnica de agrupamento. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, XV. 2023, Guarapuava. **Anais [...]**. UNICENTRO, 2023.

REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.25, n.2, p. 185-204, 2010.

ROYÉ, D.; MARTIN-VIDE, J. Concentration of daily precipitation in the contiguous United States. **Atmospheric research**, v. 196, p. 237-247, 2017.

SA'ADI, Z. et al. CHIRPS rainfall product application for analyzing rainfall concentration and seasonality in Johor river basin, Malaysia. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 256, p. 106203, 2024.

SIQUEIRA, B.; NERY, J. T. A dinâmica climática e a variabilidade da precipitação no estado de São Paulo: o índice de precipitação e o índice de precipitação concentrada. **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 67, p. 99–108, Set/2018.



**Simpósio Brasileiro  
de Geografia Física Aplicada**

IV Encontro Lusofonamericano de Geografia Física e Ambiente

SIQUEIRA, B.; NERY, J. T. Concentração Diária e Mensal da precipitação pluvial no Nordeste do Brasil: Uma contribuição dos índices CI e PCI. **Revista Geografar** - Curitiba, v.16, n.2, p.555-570, jul. a dez./2021.

SIQUEIRA, B.; NERY, J. T. Tendências das séries temporais de precipitação no estado do Paraná. **Geosp – Espaço e Tempo** (On-line), v. 24, n. 3, p. 616-633, dez. 2020. ISSN 2179-0892.

TUCCI, C. E.M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. reimpr. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2002.