

# **ESTUDO DA VARIABILIDADE TEMPORAL DE CHUVA EM PORTO ALEGRE-RS E SUA RELAÇÃO COM A TELECONEXÃO MODO ANULAR SUL**

Sara Canuto Cordeiro<sup>1</sup>, Maria Eduarda Andrade Pitombeira<sup>2</sup>, Marcus Vinicius Correa Ferreira<sup>3</sup>,  
Ariadne Fernanda Ferraz Vieira<sup>4</sup> e Cristiana Coutinho Duarte<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, [sara.canuto@ufpe.br](mailto:sara.canuto@ufpe.br)

<sup>2</sup>Graduanda em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, [mariaeduarda.pitombeira@ufpe.br](mailto:mariaeduarda.pitombeira@ufpe.br)

<sup>3</sup>Graduando em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, [marcus.mvcf@ufpe.br](mailto:marcus.mvcf@ufpe.br)

<sup>4</sup>Mestranda em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, [ariadne.vieira@ufpe.br](mailto:ariadne.vieira@ufpe.br)

<sup>5</sup>Professora Doutora do Departamento de Ciências Geográficas na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE,  
[cristiana.duarte@ufpe.br](mailto:cristiana.duarte@ufpe.br)

## **INTRODUÇÃO**

Vários estudos fornecem evidências de que os oceanos Atlântico e Pacífico desempenham um papel significativo na dinâmica climática que ocorre na região Sul do Brasil (Ropelewski e Halpert, 1988; Grimm et al, 2000). O Modo Anular Sul ou Southern Annular Mode (SAM), também conhecido como oscilação antártica (AAO em inglês), é uma oscilação caracterizada por anomalias de sinais opostos entre partes da Antártica e as latitudes de 45°S (Thompson e Wallace, 1998). Ou seja, trata-se de fenômeno advindo de uma mudança na massa atmosférica entre regiões polares e de latitudes médias.

O maior índice de polaridade do Modo Anular, conhecido como fase positiva, ocorre quando há pressões mais baixas do que o normal sobre as regiões polares e pressões mais altas do que o normal sobre as latitudes médias, acompanhadas de anomalias positivas de vento de oeste ao longo de aproximadamente 55-60° de latitude. Por outro lado, o menor índice, ou fase negativa, apresenta o cenário oposto (Pizzochero, 2018).

Na fase positiva do SAM, observam-se anomalias de vento de leste à medida que se aproxima da região equatorial e anomalias de vento de oeste ao se dirigir em direção aos polos. As anomalias de vento de leste próximas à superfície se estendem do equador até os subtrópicos (Thompson e Wallace, 2000). O cisalhamento do vento zonal

em baixos níveis aumenta nas latitudes médias, conhecidas como "Storm Tracks". Na fase negativa, ocorre o fenômeno inverso (Rao, Do Carmos e Franchito, 2003).

Assim, a variabilidade temporal da precipitação é fundamental para entender os impactos climáticos e desenvolver estratégias de gestão de recursos hídricos. Por sua vez, Porto Alegre, tem clima subtropical úmido - Cfa segundo a classificação de tipos climáticos de Köppen-Geiger (1936), e é influenciada por teleconexões climáticas de grande escala, como o Modo Anular Sul (SAM) (Cardozo et al. 2015).

Nimer (1989) observou que as precipitações na região sul do Brasil são bem distribuídas e apresentam altos totais anuais, que variam entre 1250 mm e 2000 mm. Grimm (2009) destaca que a região onde se localiza Porto Alegre é caracterizada por chuvas recorrentes ao longo do ano todo, mesmo apresentando chuvas mais intensas durante o inverno, ao contrário da porção norte da região sul do Brasil onde se encontra um clima de estação chuvosa mais restrita ao período pluviométrico, isso ocorre pois o regime de chuva tem características de latitude média, além das condições topográficas onde se encontra o Porto Alegre, já que grande parte da precipitação acaba por se associar a barreiras topográficas.

Porto Alegre apresenta uma precipitação anual média de 1.580 mm, com o mês de maio sendo o mais seco, registrando uma média de 109 mm, enquanto outubro se destaca como o mês mais chuvoso, com uma média de 174 mm. Em termos de temperatura, a média anual é de 19,7°C. Junho é o mês mais frio, com uma temperatura média de 14,0°C, enquanto janeiro é o mês mais quente, com uma média de 24,8°C. De acordo com os dados históricos, junho registra a maior umidade relativa do ar, com 82,49%, enquanto dezembro apresenta a menor, com 72,29% (Climate-Data.org).

Para compreender o comportamento pluviométrico de Porto Alegre-RS, este trabalho objetiva analisar a influência das teleconexões, em específico as fases do Modo Anular Sul (SAM) na variabilidade pluviométrica do município na série histórica de 1993-2023. Será utilizada a técnica idealizada por Rooy & Van (1965), o "Rainfall Anomaly Index (RAI)" ou Índice de Anomalia de Chuva (IAC), que permite compreender e classificar regimes pluviométricos, bem como a severidade dos ciclos secos e chuvosos (Costa, 2019).

## **METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram coletados dados pluviométricos mensais do município de Porto Alegre-RS, obtidos no Instituto Nacional

de Meteorologia (INMET). No processo de tratamento dos dados, foram calculados os totais anuais da série histórica, a fim de gerar uma tabela que subsidia a realização dos cálculos de IAC, procedimento escolhido para a realização da análise da variabilidade pluviométrica em relação à ocorrência da teleconexão, Módulo Anular Sul (SAM).

Os dados referentes ao Módulo Anular Sul (SAM) são provenientes do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e foram obtidos através do site da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), disponíveis online (<https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes/>) (Souza e Reboita, 2021).

Após a tabulação dos totais pluviométricos anuais da série histórica (1993-2023), calculou-se a média pluvial anual e a partir dela, os anos que acima do valor médio são positivos e abaixo, negativos, a serem utilizados nas equações:

Para anomalias positivas:

$$IAC = 3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right]$$

Para anomalias negativas:

$$IAC = -3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right]$$

Sendo,  $N$  a precipitação total (mm) do ano em que será gerado o IAC;  $\bar{N}$  a média anual da série histórica (mm) obtida após a soma de todos os totais pluviométricos divididos pela quantidade de anos da série (30).  $\bar{M}$  corresponde à média das dez maiores precipitações da série histórica (mm) e  $\bar{X}$  corresponde à média das dez menores precipitações da série histórica (mm). Após a obtenção do resultado das equações, observa-se o valor, e se este está acima ou abaixo da média de cada grau de intensidade, de acordo com a tabela (1) abaixo:

Tabela 1: Classes de Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva

	Faixa do IAC	Classe de Intensidade
	De 4 acima	Extremamente úmido

<b>Índice de Anomalia de Chuva (IAC)</b>	2 a 4	Muito Úmido
	0 a 2	Úmido
	0 a -2	Seco
	-2 a -4	Muito Seco
	De -4 abaixo	Extremamente Seco

Adaptado de Araújo *et. al.* (2007)

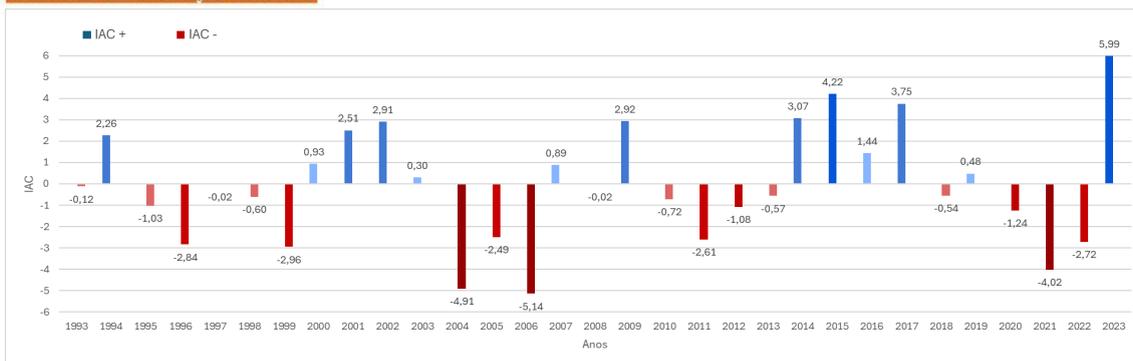
Após a realização do IAC na série histórica, os resultados foram comparados com a ocorrência dos eventos de teleconexão SAM, a fim de entender a influência deles com os totais pluviométricos anuais de Porto Alegre-RS.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) revelou que, em Porto Alegre, o ano de 2023 foi classificado como Extremamente Úmido, com um índice de +5,99, o maior registrado na série analisada, seguido por 2015. Foram considerados Muito Úmidos os anos de 1994, 2001, 2002, 2009, 2014 e 2017. Os anos classificados como Úmidos foram 2000, 2003, 2007, 2016 e 2019. A categoria Secos incluiu os anos de 1993, 1995, 1997, 1998, 2010, 2012, 2013, 2018 e 2020. Os anos Muito Secos foram 1996, 1999, 2005, 2011 e 2022. Por fim, 2006 foi classificado como Extremamente Seco, apresentando o índice mais baixo da série, de -5,14, juntamente com os anos de 2004 e 2021.

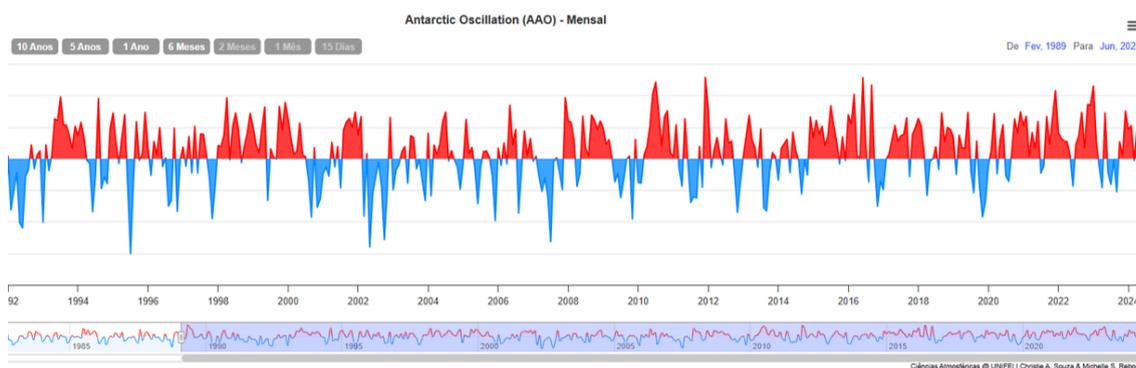
Como apontado por Cardozo *et al.* (2015) e Reboita *et al.* (2009), pode-se apurar que durante a fase positiva do SAM há um menor índice frontogenético nas latitudes médias. Contudo, o ano de 2023, caracterizado como extremamente úmido (figura 1), caiu em um ano de SAM majoritariamente positivo (figura 2).

Figura 1 - Índice de Anomalia de Chuva (IAC) do Município de Porto Alegre



Fonte: INMET; construção dos autores.

Figura 2 - Fases da Oscilação Antártica / Módulo Anular Sul entre 1993-2023/24



Fonte: Ciências Atmosféricas (UNIFEI)

Segundo reportagem na revista Agência Pública, de nome “RS teve 40% dos decretos de situação de emergência relacionados à chuva em 2023 no país”, o mês de novembro de 2023 apresentou mais ocorrências relacionadas a chuvas do que os outros. Ao analisar a figura 2, observa-se que no momento indicado, o SAM já se encontrava, novamente, em fase positiva.

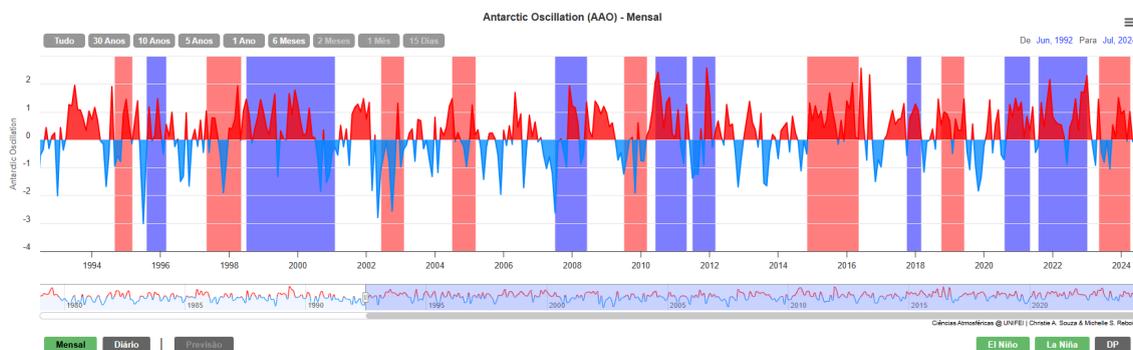
O mesmo pode-se observar no ano de 2024, onde durante o desastre que ocorreu no estado gaúcho durante o período do fim de abril e início de maio, a teleconexão indicada encontrava-se em fase positiva. No ano de 2015, segundo reportagem no G1 de título “Sobe para 53 cidades e 25 mil pessoas atingidas pela chuva no RS”, fortes chuvas foram registradas em Porto Alegre e municípios vizinhos durante o mês de outubro. Observando a série histórica do SAM, verifica-se que no período em questão o índice estava mais uma vez em sua fase positiva.

Ainda, podem ser feitas as seguintes observações: A fase positiva do SAM pode ter impacto significativo no estado do Rio Grande do Sul, ou, das anomalias pluviométricas registradas no município de Porto Alegre não terem influência do índice proposto, e sim, de diferentes sistemas.

Segundo Reboita et al. (2021), mesmo na fase positiva do SAM existem evidências de durante os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, o estado do Rio Grande do Sul estar úmido. O mesmo estudo sugere haver uma gangorra de precipitação entre o sudeste do Brasil e o sul da América do Sul nos meses de Março, Abril, Maio e Setembro, Outubro e Novembro durante ambas as fases do SAM. Logo, pode ser esta uma possível explicação de correlação entre os resultados encontrados e a influência do SAM.

Analisar tais eventos como de influência atrelada apenas ao SAM seria uma leitura rasa. L'Heureux e Thompson (2006), Carvalho et al., (2005), e Vasconcellos (2012) apresentam estudos sobre a influência e correlação do SAM com o ENOS, onde sua fase positiva (negativa) está associada com a La Niña (El Niño). O El Niño é um dos fenômenos responsáveis por chuvas no sul do Brasil (Reboita, 2021), o que evidencia o mesmo estar ativo em parte do ano de 2015 (figura 3). Contudo, nesta mesma época o SAM encontrava-se positivo, o que evidencia uma anomalia deste índice. Em 2023 além da fase positiva do SAM, o ano estava em La Niña, contudo, houve registros de chuvas extremas, o que, novamente, categoriza uma possível anomalia.

Figura 3 - Fases da Oscilação Antártica / Módulo Anular Sul entre 1993-2023/24 em comparação com fases do ENOS (EN em vermelho e LN em azul)



Fonte: Ciências Atmosféricas (UNIFEI)

A partir dos resultados obtidos e da discussão abordada, fica evidente a necessidade de aprofundamento no assunto e estudos futuros a fim de investigar melhor tais correlações para fortalecer o sistema de previsão e alerta de desastres baseado nos estudos da variação das anomalias de temperatura da superfície dos oceanos e sua influência nas chuvas do Rio Grande do Sul.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, pode-se concluir que há uma relação entre a teleconexão SAM e a variabilidade pluviométrica gerada a partir da classificação dos anos com base nos valores do Índice de Anomalia de Chuva (IAC). Dessa forma, observa-se que, para os dados de Porto Alegre (1993-2023), há uma relação lógica entre os totais pluviométricos anuais (mm) e as fases SAM, onde evidencia-se a necessidade de aprofundamento de estudos sobre estas interações.

Assim, o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) mostrou-se uma importante ferramenta para a análise da precipitação anual do município na série histórica, permitindo identificar a relação entre as teleconexões com o comportamento pluviométrico da cidade, além de proporcionar uma visão panorâmica do mesmo.

**Palavras-chave:** Análise pluviométrica; IAC; teleconexões; SAM, Porto Alegre.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Aspectos Gerais do Clima do Estado. Porto Alegre: INCRA, 1972.

CARDOZO, Amanda Balbino; REBOITA, Michelle Simões; GARCIA, Sâmia Regina. Climatologia de Frentes Frias na América do Sul e sua relação com o Modo Anular Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, 2015.

CARVALHO, Leila MV; JONES, Charles; AMBRIZZI, Tércio. Opposite phases of the Antarctic Oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral summer. *Journal of climate*, v. 18, n. 5, p. 702-718, 2005.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima de Porto Alegre (Brasil). Disponível em: <https://en.climate-data.org/south-america/brazil/rio-grande-do-sul/porto-alegre-3845/> Acesso em: 22 ago. 2024.

GRIMM, N. B., GROVE, J. M., PICKETT, S. T., & REDMAN, C. L. (2008). Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems (pp. 123-141). Springer US.

GRIMM, A. M., 2009. Clima da Região Sul do Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A. et al., 2009. *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos: São Paulo.

L'HEUREUX, M. L.; THOMPSON, D. W. J. Observed relationships between the el niño-southern oscillation and the extratropical zonal-mean circulation. *Journal of Climate*, v. 19, n. 2, p. 276-287, Jan. 2006.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. D. Relationship between the southern annular mode and the southern hemisphere atmospheric systems. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 48-55, mar. 2009. 9, 17, 59

REBOITA, M.S., AMBRIZZI, T., CRESPO, N.M., DUTRA, L.M.M., FERREIRA, G.W.d.S., REHBEIN, A., DRUMOND, A., DA ROCHA, R.P. and SOUZA, C.A. (2021), Impacts of teleconnection patterns on South America climate. **Ann. N.Y. Acad. Sci.** DOI: 10.1111/NYAS.14592

ROPELEWSKI, C. F., and M. S. HALPERT, 1989: Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, 2, 268–284, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1989\)002<0268:PPAWTH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1989)002<0268:PPAWTH>2.0.CO;2).

SOUZA, C. A. de; REBOITA, M. S. Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão na América do Sul. **Terrae Didactica**, Campinas, SP, v. 17, n. 00, p. e02109, 2021. DOI: 10.20396/TD.v17i00.8663474

VASCONCELLOS, F. C A oscilação Antártica-mecanismos físicos e a relação com características atmosféricas sobre a América do Sul/oceanos adjacentes. 2012. 192 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.09.19.33-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.