

## CLIMATOLOGIA SAZONAL DA ALTURA DA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA MARINHA NO OCEANO ATLÂNTICO SUL ENTRE 1980 E 2024

**RAQUEL MACHADO MACHADO**<sup>1</sup>; **JUAN PABLO GUZMÁN ESCALANTE**<sup>2</sup>;  
**SOFIA LOUREIRO DA CRUZ MACHADO**<sup>3</sup>; **DOUGLAS DA SILVA LINDEMANN**<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – machadomraquel@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – juan.escalante@correounivalle.edu.co*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas – sofialcmachado@gmail.com*

<sup>4</sup>*Universidade Federal de Pelotas – douglas.lindemann@ufpel.edu.br*

### 1. INTRODUÇÃO

A Camada Limite Atmosférica (CLA) é definida como a região da troposfera diretamente influenciada pela superfície da Terra e responde às forçantes da superfície em uma escala de tempo de uma hora ou menos (STULL, 1988). Essa camada é caracterizada por movimentos turbulentos gerados por forçantes mecânicas (cisalhamento do vento) e térmicas (aquecimento ou resfriamento da superfície). A Camada Limite Atmosférica Marinha (CLAM) é a parte da atmosfera diretamente influenciada pelo oceano.

A altura da CLA pode variar de dezenas de metros até 1 a 2 km, sendo a forçante térmica a principal responsável por essa variação (WALLACE; HOBBS, 2006). Sobre o oceano, a principal forçante é a temperatura da superfície do mar (TSM, conforme STULL, 1988). A resposta dinâmica da CLAM à variação de TSM geralmente apresenta um aumento na intensidade do vento sobre águas mais quentes e uma redução sobre águas mais frias (SHI *et al.*, 2017). Dessa forma, águas quentes induzem mudanças na magnitude e intensidade dos ventos, enquanto o cisalhamento vertical do vento na CLAM é reduzido, ocasionando ventos mais intensos na superfície do mar e tornando a CLAM mais turbulenta e instável (PEZZI *et al.*, 2005). O oposto ocorre sobre águas mais frias.

No estudo conduzido por YANG; PAN (2025) sobre a climatologia da altura da CLA (ABLH) global, utilizando 45 anos de dados da reanálise ERA5, os autores revelam que a ABLH é geralmente maior sobre os oceanos do que sobre os continentes, embora a variabilidade temporal seja maior sobre a terra. A ABLH tende a ser menor em Zonas de Convergência e maior ao longo das trajetórias de ciclones extratropicais e frentes atmosféricas. Os autores também destacam que eventos de El Niño e La Niña podem elevar ou reduzir a ABLH ao modificar o padrão de sistemas meteorológicos durante esses eventos.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é analisar a climatologia sazonal da altura da CLAM sobre o Oceano Atlântico Sul durante o período de 1980-2024, buscando compreender as principais diferenças sazonais.

### 2. METODOLOGIA

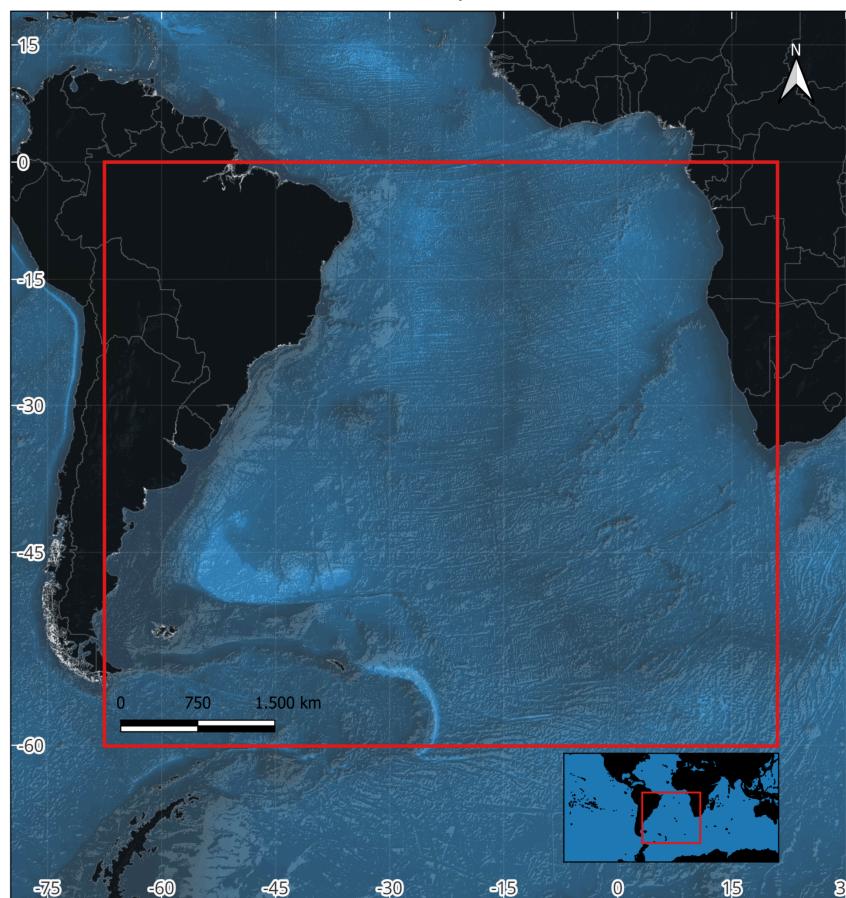
A área deste estudo comprehende o Oceano Atlântico Sul, delimitado pelas coordenadas 0° - 60° S; 70° W - 20° E, conforme apresentado na Figura 1 (área oceânica delimitada em vermelho).

Foram utilizados dados mensais da variável altura da camada limite atmosférica, no período de 1980 a 2024, provenientes da reanálise atmosférica ERA5. A ERA5 é a reanálise mais recente produzida pelo ECMWF (*European*

*Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), que disponibiliza dados horários de parâmetros atmosféricos, perfil vertical da atmosfera e das superfícies terrestre e do mar com resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  (HERSBACH *et al.*, 2020).

Para a análise do comportamento sazonal da variável, os dados foram agrupados conforme os quatro períodos sazonais no Hemisfério Sul: verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Para cada estação, foi calculada a média sazonal da altura da CLAM ao longo do período de estudo. Em seguida, foram gerados mapas das distribuições espaciais médias para cada estação, com o intuito de identificar padrões de variação da altura da CLAM, bem como regiões com comportamento sazonal diferenciado.

Figura 1. Localização da região de estudo (área oceânica delimitada em vermelho)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

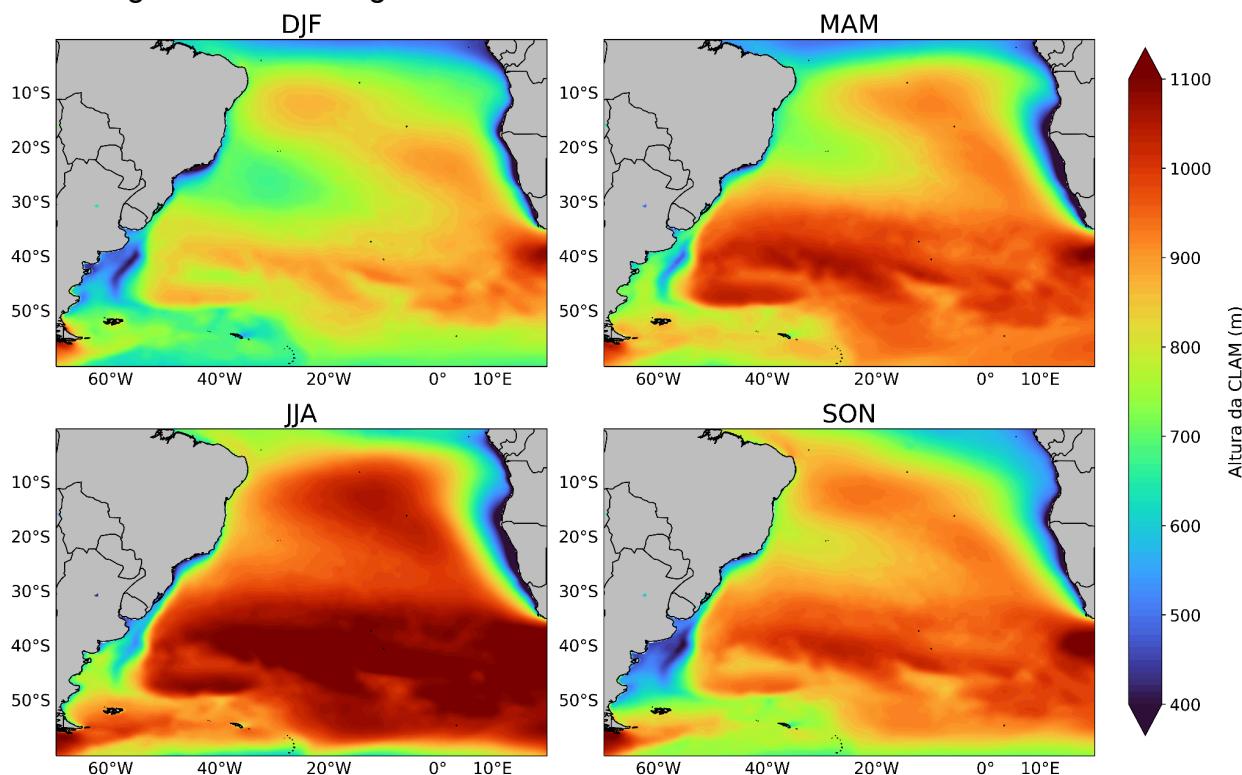
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a climatologia sazonal média da altura da Camada Limite Atmosférica Marinha (CLAM) entre 1980 e 2024. Observa-se que a CLAM tende a ser mais profunda no outono e no inverno, especialmente sobre as águas de médias latitudes (entre  $30^\circ$  S -  $50^\circ$  S), e mais rasa durante o verão e a primavera.

Segundo YANG; PAN (2025), fatores de escala sinótica explicam a maior profundidade da CLAM sobre os oceanos em latitudes médias. No Atlântico Sul, destaca-se a presença da Alta Subtropical do Atlântico Sul, um sistema de alta

pressão semi-permanente que estabelece um ambiente sinoticamente estável. A combinação desse cenário estável com a persistência dos ventos alísios de sudeste e com as temperaturas da superfície do mar mais elevadas favorece maior turbulência mecânica e térmica, que promovem maior mistura vertical e, consequentemente, aumentam a altura da CLAM.

Figura 2. Climatologia sazonal média da altura da CLAM entre 1980-2024



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

No verão (DJF), a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é marcante. A ZCAS é uma banda de nebulosidade convectiva que se estende de noroeste a sudeste do Brasil até o oceano. Ela é caracterizada por trazer maiores acumulados de precipitação, tornando a atmosfera mais instável e com presença de nuvens, o que reduz o aquecimento da superfície oceânica e estabiliza a camada limite, reduzindo a convecção térmica e, consequentemente, a altura da camada (PEZZI *et al.*, 2022).

Já no inverno (JJA), a CLAM atinge as maiores alturas, principalmente entre 30° S e 50° S. Nesse período, o contraste térmico entre o oceano relativamente mais quente e o ar mais frio intensifica os fluxos de calor sensível e latente, favorecendo a mistura vertical e o aumento da profundidade da CLAM. Os ventos de oeste, mais fortes no inverno, também contribuem para o aumento da turbulência.

Por fim, também se observa que regiões de correntes frias, como a Corrente das Malvinas, localizada na costa sudeste da Argentina, apresentam uma CLAM mais rasa em termos climatológicos. Apesar de essa região ser uma região de passagem frequente de frentes frias e ciclones extratropicais, que, de acordo com YANG; PAN (2025) podem momentaneamente aprofundar a camada, as águas frias mantêm a atmosfera mais estável e limitam o crescimento vertical.

## 4. CONCLUSÕES

A análise climatológica da altura da Camada Limite Atmosférica Marinha (CLAM) no Oceano Atlântico Sul entre 1980 e 2024 evidencia uma variabilidade sazonal marcada. A CLAM tende a ser mais profunda no outono e inverno, principalmente entre 30° S e 50° S, enquanto no verão e primavera apresenta menores alturas. Essa variação está associada à combinação de fatores sinóticos e termodinâmicos: a Alta Subtropical do Atlântico Sul, os ventos alísios persistentes, o contraste térmico ar-mar e os ventos de oeste, que favorecem maior turbulência e mistura vertical.

Fenômenos sazonais, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul no verão, contribuem para a redução da altura da CLAM devido à maior cobertura de nuvens e menor convecção térmica. Por outro lado, no inverno, o oceano mais quente em relação ao ar sobrejacente intensifica os fluxos de calor, promovendo um aprofundamento da camada. Regiões de correntes frias, como a Corrente das Malvinas, mantêm uma CLAM climatologicamente mais rasa, mesmo sob a passagem de sistemas transientes.

Em síntese, os resultados destacam que a variabilidade sazonal da CLAM no Atlântico Sul é fortemente modulada pelas interações entre dinâmica atmosférica, características oceânicas e padrões sinóticos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, p. 1999-2049, 2020.
- PEZZI, L. P. et al. Ocean–atmosphere in situ observations at the Brazil-Malvinas Confluence region. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. L22603, 2005.
- PEZZI, L. P. et al. The effect of Oceanic South Atlantic Convergence Zone episodes on regional SST anomalies: The roles of heat fluxes and upper-ocean dynamics. **Climate Dynamics**, v. 59, p. 2041-2065, 2022.
- SHI, R. et al. Ship observations and numerical simulation of the marine atmospheric boundary layer over the spring oceanic front in the northwestern South China Sea. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 122, p. 3733-3753, 2017.
- STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1988.
- WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. 2. ed.: Academic Press, 2006.
- YANG, S-S.; PAN, C-J. Climatology of the Atmospheric Boundary Layer Height using ERA5: Spatio-Temporal Variations and Controlling Factors. **Atmosphere**, v. 16, n. 5, 2025.