



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



## Estudo climatológico de anomalia de precipitação de janeiro de 2021 em Pelotas-RS

Larissa Corrêa Santos<sup>1</sup>, Mirelle Tainá Vieira Lima<sup>2</sup> e André Becker Nunes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mestranda em Recursos Hídricos, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS, CEP 96010-610, larissasantos96@hotmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-4525-0911> (autor correspondente);

<sup>2</sup> Doutoranda em Recursos Hídricos, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS, CEP: 96010-610, mirellet.vieira@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2711-1929>;

<sup>3</sup> Dr. em Meteorologia, Professor Associado, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS, CEP: 96010-610, beckernunes@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-4881-5810>.

Artigo recebido em 17/01/2022 e aceito em 28/03/2022.

### RESUMO

A região sul do Brasil sofre, frequentemente, com a ocorrência de eventos meteorológicos extremos, pois situa-se em latitudes subtropicais, sendo atingida por sistemas precipitantes de diferentes origens; resultando em impactos negativos, como os desastres naturais ocorridos em janeiro de 2021 em Pelotas-RS. Dito isto, o objetivo deste estudo consistiu em analisar a referida anomalia de precipitação do acumulado de janeiro de 2021 – na cidade, considerando a série histórica de totais mensais (1979-2021) disponibilizada pelo INMET, a fim de avaliar possíveis causas para as anomalias. Observou-se que o mês de janeiro de 2021 apresentou anomalia positiva (maior que o desvio padrão) de precipitação com acumulado de 230,2 mm. Foram utilizados dados de reanálise do ERA5 para a análise sinótica, onde evidenciou-se que os eventos anômalos ocorreram devido a um maior transporte de norte para o sul de calor e umidade pelos Jatos de Baixos Níveis, que acarretou na elevada concentração de umidade, assim como à advecção de vorticidade ciclônica, que favoreceram a ocorrência de precipitações e ventos fortes ao longo do mês no município.

Palavras-Chave: Sul do Brasil. Jato de Baixos Níveis. Baixa do Chaco. Ciclone Extratropical. Advecção de vorticidade.

### Climatological study of precipitation anomaly in January 2021 in Pelotas-RS

### ABSTRACT

The southern region of Brazil often suffers from the occurrence of extreme weather events, since it is located in subtropical latitudes, being affected by precipitation systems from different origins, resulting in negative impacts, such as natural disasters occurred in January 2021 in Pelotas-RS. Thus, the objective of this study consisted in the analysis of this precipitation anomaly of January 2021 in the city, according to the monthly precipitation historical series (1979-2021) from INMET Meteorological Database, in order to assess possible causes for the anomalies. It was observed that the month of January 2021 presented a positive anomaly (greater than the standard deviation) of precipitation with an accumulated amount of 230,2 mm. Reanalysis data from ERA5 were used for synoptic analysis, where a greater north-south transport of heat and moisture by Low Level Jets was observed, which resulted in high moisture concentration, as well as cyclonic vorticity advection, which favored the occurrence of rainfall and strong winds throughout the month in the city.

Keywords: Southern Brazil. Low Level Jet. Chaco Low. Extratropical Cyclone. Vorticity advection.

## Introdução

A Região Sul do Brasil é um cenário frequente de eventos meteorológicos extremos que afetam o tempo e o clima local, influenciada pelos oceanos Atlântico e Pacífico, que acarretam variações nos regimes de chuva, tendo em vista o seu posicionamento geográfico em latitude subtropical favorável a estas condições, onde predomina o encontro de massas de ar tropicais e polares, associadas à passagem de sistemas frontais e ciclones extratropicais que, por sua vez, são influenciados pelas correntes de jatos de altos e baixos níveis (Grimm, 2009; Reis e Aquino, 2018); sendo os jatos de baixos níveis também conhecidos como “Rios Voadores” por transportarem grandes quantidades de vapor d’água (Newell et al., 1992). Conforme Moreno (1961) e Grimm (2009), a dinâmica atmosférica no Estado do Rio Grande do Sul é influenciada pelo anticiclone subtropical do Atlântico, pelos deslocamentos de massas de ar e por sistemas de pressão continentais. Essas características geram grande variabilidade de sistemas meteorológicos atuantes e de condições de tempo, ao longo do ano (Satyamurty et al., 1998; Reboita et al., 2010; Cardoso et al., 2020).

Para Moura e Lima (2018), o conhecimento dos padrões de transporte de umidade auxilia na formulação de modelos para previsão, cujos processos de ganho e perda de umidade em massas de ar e do seu transporte têm importância nas escalas de clima e de tempo, e possibilita a estimativa das origens da umidade e o rastreamento da trajetória de partículas das massas de ar.

A conceituação de um evento extremo depende do histórico climatológico de cada localidade e da metodologia empregada para a sua avaliação. A literatura apresenta grande variedade de critérios para identificação deste tipo de evento. Teixeira e Satyamurty (2007) consideram extremos os eventos que compreendem 10% dos episódios que apresentavam a maior área de isoieta maior que 100 mm dia<sup>-1</sup>. Nunes e Da Silva (2013) utilizaram dois limiares para este fim: o primeiro consiste em identificar eventos com potencial de gerar inundações em um curto período de chuva acumulada de até 4 dias, causado por sistemas transitórios, com base no menor desvio padrão; o segundo, consiste na identificação de tempestades com precipitação média acumulada nos 15 dias anteriores à data da cheia, que também tende a causar inundações. Brito (2016) considerou como extremo aqueles eventos com até 5% de probabilidade de exceder a média esperada para um determinado tempo de retorno. Pereira e Nunes (2018) observaram as precipitações acumuladas nas 48 horas anteriores a cada evento de alagamento urbano, empregando percentis de 25 para casos de

atenção e 75 para casos de alerta, para a identificação dos limiares para a detecção dos eventos extremos de precipitação com potencial para causar alagamentos; associados à observação dos casos de alagamentos divulgados pela Defesa Civil do Estado. Caballero et al. (2018) utilizaram como critério a seleção dos casos de precipitação intensa que atingissem ou superassem um valor acumulado de 120 mm em dois dias consecutivos. Já Santos e Galvani (2019) consideraram como eventos extremos aqueles com acumulados maiores que 99% do conjunto de dados.

Fenômenos meteorológicos extremos contribuem para a ocorrência de desastres naturais. Um destes fenômenos é a precipitação, que, em demasia, pode ocasionar impactos de ordem social, ambiental e econômica; mas que são possíveis de previsão, a partir do entendimento e da análise dos sistemas que contribuem para a sua formação (Dorneles et al., 2020). Para Bertoli et al. (2021), embora os eventos de precipitação extrema durante a estação quente nessa região favoreçam a recarga a umidade do solo e os volumes de água dos rios, eles são frequentemente associados às chuvas intensas e granizo, causando severos danos diretos à população e aos lotes agrícolas. Conforme Garcia et al. (2018), os eventos extremos estão relacionados à dinâmica climática global, que tem sido alterada pelas mudanças no uso da terra em escala local, tais como o desmatamento e a impermeabilização do solo. Os extremos de precipitação podem ter origem natural ou antrópica. Levando em consideração as alterações naturais, Regoto et al. (2021) ressaltam que, se em um clima futuro mais quente, a intensidade e a frequência de fenômenos naturais como El Niño Oscilação Sul e monções forem modificadas, eles também afetarão eventos de precipitação. Este fato foi evidenciado por Reboita et al. (2021) em seu estudo de classificação dos diferentes tipos de El Niño e sua influência em ocorrência de precipitação na América do Sul, o qual identificou através de análises de campos meteorológicos que as anomalias de precipitação são mais intensas no verão.

Palenzuela et al. (2019) afirmam que, durante o verão é possível observar na cidade de Pelotas - RS precipitações associadas a sistemas frontais, que podem registrar grandes volumes de chuva acumulados. Os mesmos autores citam o exemplo da precipitação do dia 28 de janeiro de 2009, que acarretou em alagamentos com efeitos devastadores em toda a região, com mortes e interdições de estradas. No geral, eventos extremos de precipitação de escala diária sobre o RS ocorrem com mais frequência no verão e na primavera

conforme Teixeira e Prieto (2020) em estudo entre 2004 e 2013.

Nesse contexto, no mês de janeiro de 2021, o Estado do Rio Grande do Sul presenciou algumas tempestades, sendo este fato amplamente relatado em mídia digital e visual. A Defesa Civil RS foi um dos responsáveis pelos diversos avisos e alertas ao longo do mês de janeiro referente às chuvas intensas e ventos fortes que variavam de 60 a 90 km/h.

Segundo a Gaúcha ZH (2021) e G1 RS (2021), com a ocorrência de tempestades que atingiram o litoral sul do país no mês de janeiro de 2021 aproximadamente 310 mil pessoas abastecidas pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) tiveram sua energia elétrica interrompida, frente aos eventos mais extremos. De acordo com a Revista News (2021), foram registradas mais de 20 quedas de árvores de grande e médio porte, além de quedas de postes de distribuição de rede elétrica e destelhamento de residências e galpões. O Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa registrou ventos com velocidade máxima que chegaram a 96 km/h (Lopes, 2021), e foram observados alagamentos em diversos bairros do município de Pelotas.

Pressupõe-se que no mês de janeiro de 2021 ocorreu uma anomalia climática, no município de

Pelotas. Dito isto, o presente trabalho visou analisar o ambiente sinótico médio de janeiro de 2021, associado ao excesso de precipitação em Pelotas – RS, através da análise de campos meteorológicos, a qual vêm sendo utilizada em diferentes estudos climatológicos (Hunt e Dimri, 2021; Chen et al., 2022 e Ha et al., 2022) e assim apresentar um cenário que pode ser usado por meteorologistas para se prever um mês instável na região.

## Materiais e métodos

### Área de estudo

O presente estudo foi realizado no município de Pelotas (Figura 1), localizado no Estado do Rio Grande do Sul no extremo sul do Brasil, que possui área territorial de aproximadamente 1.609,708 km<sup>2</sup> (IBGE, 2020) e uma população estimada em 343.826 habitantes (IBGE, 2021). Encontra-se na região do Bioma Pampa, de clima temperado, formado por campos e várzeas, apresentando relevo caracterizado como planalto, com áreas baixas e úmidas (IBF, 2021).

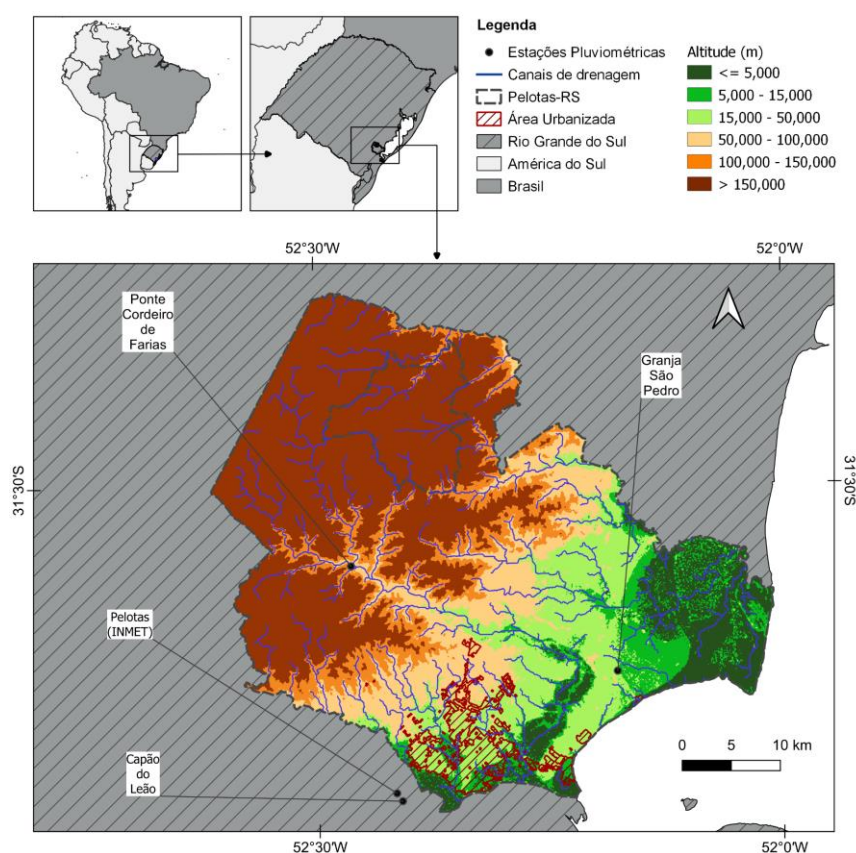


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Segundo a classificação climatológica de Köppen-Geiger, o clima da região do município de

Pelotas, está classificado como “Cfa”, ou seja, subtropical, com temperatura média do mês mais

frio inferior a 18°C e temperatura média do mês mais quente maior que 22°C (Wrege et al., 2012).

#### Obtenção e tratamento de dados de precipitação

Inicialmente, realizou-se o levantamento de informações pluviométricas no Banco de Dados Meteorológicos do INMET, onde foi solicitada a série histórica da estação convencional de Pelotas (código 83985), com intervalo de tempo de 1979 a 2021 e total mensal da estação automática do Capão do Leão (código A887), ambas localizadas na mesma área, conforme mapa de localização do município de Pelotas (Figura 1). Além deste, também se realizou um levantamento no site do HidroWeb (ANA, 2021), das estações pluviométricas existentes na área de estudo, sendo estas, Ponte Cordeiro de Farias e Granja São Pedro, dos códigos 3152016 e 3152008, respectivamente, com o mesmo intervalo de tempo das estações citadas anteriormente, para posterior preenchimentos de dados com falhas se necessário.

Optou-se pelo uso dos dados das estações pluviométricas do INMET como referência, por serem mais representativas do município de Pelotas, uma vez que, as demais estações encontram-se em áreas mais afastadas, nas zonas rurais. Os dados dos meses de interesse (verão) foram organizados e identificadas a falha de dados nas séries históricas. Com isto, foi necessária a realização do preenchimento de falhas, em que, devido às limitações para a aplicação de determinados métodos, utilizou-se a aplicação do método de regressão linear simples.

De acordo com Bertoni e Tucci (2007), o método de regressão linear simples relaciona as precipitações da estação pluviométrica que apresenta falhas com a estação mais próxima e com dados de precipitação no respectivo ano que se pretende preencher na primeira estação. Para isto, são feitas estimativas dos parâmetros da equação utilizada no preenchimento por meio de gráfico ou de mínimos quadrados. Neste estudo, aplicou-se o método de obtenção dos parâmetros através do gráfico cartesiano ortogonal, em que foram plotados os valores de precipitação de duas estações pluviométricas e traçada a linha de tendência, reta que passa pelo ponto definido pelos valores médios das duas variáveis envolvidas e de melhor ajuste.

A Figura 2 apresenta o gráfico obtido com a correlação dos valores de precipitação das estações do INMET (composta pelas estações de Pelotas, nos dados de janeiro de 1979 a 2020 e do Capão do Leão,

no dado total de janeiro de 2021, pois a estação Pelotas não gerou dados para este mês) e da Granja São Pedro, a qual apresentou melhor ajuste e coeficiente de correlação entre os dados do que a estação Ponte Cordeiro de Farias. Salienta-se que a estação do Capão do Leão não foi utilizada para os testes de correlação de dados e consequente preenchimento, devido a limitação da disponibilidade dos dados com intervalo de dados incompatíveis com a estação de Pelotas. Conforme Pruski et al. (2004), são aceitáveis valores de coeficiente de correlação ( $R^2$ ) acima de 0,7 para o preenchimento de falhas em séries de dados de chuva; dessa forma, resolveu-se empregar a presente metodologia neste estudo.

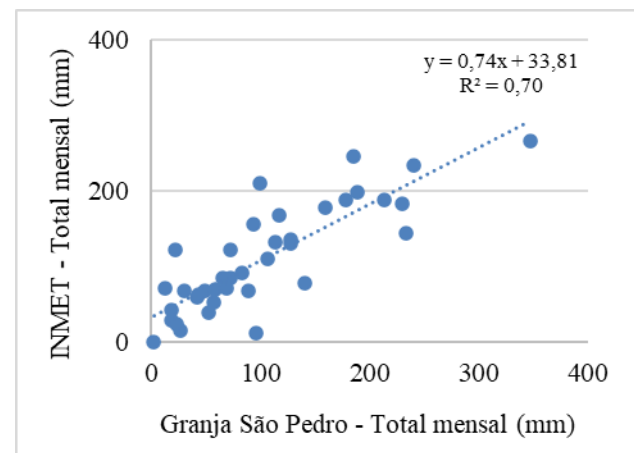


Figura 2. Gráfico do resultado da análise de regressão linear simples.

#### Análise de anomalias

Com o objetivo principal do estudo sendo a análise do mês de janeiro, extraiu-se o desvio padrão e a média mensal anual para todos os meses que compõem a estação do verão: dezembro, janeiro, fevereiro e março. Com estes dados, foi possível a obtenção da normal climatológica (média mensal), com 43 anos de série histórica, intervalo este correspondente aos dados de 1979-2021. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM), a normal climatológica corresponde a um número de anos suficiente (mínimo 30 anos) para que seja possível admitir que ele é representativo do valor predominante daquele elemento em análise no local em estudo. O cálculo de identificação de anomalia, ou seja, a existência de um evento extremo, pode ser obtido por diferentes métodos, neste estudo optou-se pela simples aplicação da Equação 1 a seguir:

$$\text{Variação} = \text{Evento de interesse}_{(\text{Janeiro } 2021)} - \text{Normal climatológica} \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Anomalia, se Variação} > |\text{Desvio Padrão}| \\ \text{Sem anomalia, se Variação} < |\text{Desvio Padrão}| \end{array} \right\}$$

Em que a variação, correspondente a diferença entre o evento analisado de janeiro de 2021 e a normal climatológica de média mensal anual dos dados de 1979-2021, sendo possível a identificação ou não de anomalia no caso de a variação ser maior que o desvio padrão do mês.

O desvio padrão refere-se à dispersão dos dados relativos à média, obtido conforme Equação 2 (Barbeta et al., 2010):

$$Dp = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / N} \quad (2)$$

Onde Dp refere-se ao desvio padrão,  $X_i$  o acumulado mensal de janeiro para o intervalo de 1979-2021,  $\bar{X}$  a normal climatológica e N refere-se ao número de dados do intervalo da série histórica, sendo este, 43 anos.

Realizada a análise de anomalias do verão de 2021 para o município de Pelotas, constatou-se que dos quatro meses que a compõem (dezembro, janeiro, fevereiro e março), os meses de dezembro, janeiro e março apresentaram anomalias, sendo o mês de análise do estudo (janeiro) de maior acumulado, com 230,2 mm de precipitação total. A normal climatológica de 115,18 mm, utilizada neste estudo, se refere aos dados da estação convencional de Pelotas (código 83985). Contudo, justamente no período de janeiro de 2021, esta estação apresentou problemas técnicos. Assim, o dado deste mês foi obtido da estação automática do Capão do Leão (código A887), localizada no mesmo sítio da estação convencional.

#### Dados de reanálise

A análise sinótica de janeiro, tanto a da média normal 1979-2021, como a de 2021, foi feita por meio de campos meteorológicos obtidos de dados de reanálise do ERA5 (Hersbach et al., 2020). Esta reanálise deriva do modelo do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), em sua quinta geração, com resolução horizontal de  $0.25^\circ$ , resolução temporal de 1h e 137 níveis verticais. A análise sinótica do evento em estudo foi realizada por meio da observação de campos meteorológicos mensais gerados pelo software GrADS (Grid Analysis and Display System) versão 2.1.1.b0.

#### Resultados e discussão

Para a análise sinótica do mês de janeiro de 2021, foram gerados 3 tipos de campos meteorológicos: normal climatológica (1979-2021), mês de janeiro de 2021 e anomalia de janeiro de 2021, este último refere-se à diferença de janeiro de 2021 e a normal climatológica, de modo a facilitar a compreensão de possíveis fenômenos e sistemas meteorológicos que tenham favorecido a ocorrência do evento extremo de chuva e vento. De acordo com

a metodologia proposta, foram observadas a seguinte quantidade de eventos extremos por década: 1 caso de 1979 a 1990, 1 caso de 1991-2000, 2 casos de 2001-2010, 4 casos de 2011-2021 (Figura 3).

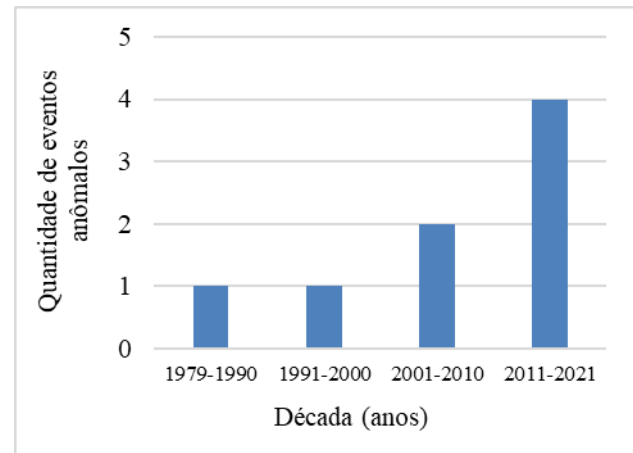


Figura 3. Panorama climatológico do mês de janeiro ao longo das décadas.

Na Figura 4, especificamente no Estado do RS, onde situa-se o município de Pelotas, observa-se que na média climatológica não há advecção de vorticidade, caracterizando o escoamento zonal.

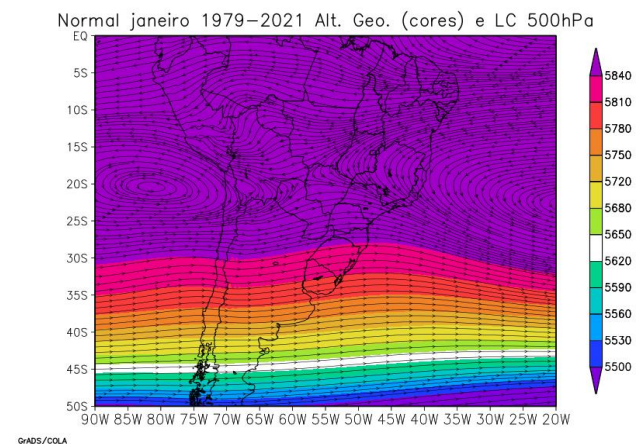


Figura 4. Altura geopotencial (m) (sombreado) e linha de corrente em 500 hPa da normal climatológica (1979-2021) de janeiro.

Referente ao mês de janeiro de 2021 (Figura 5), podemos observar sobre a área de estudo uma difluência do escoamento em níveis médios, que caracteriza instabilidade em superfície e potencial intensificação das chuvas (Sanders, 1993; Ramos et al., 2021b); além de um grande cavado com eixo sobre a costa oeste do continente, indicando uma possível influência de advecção de vorticidade ciclônica sobre a região de estudo.

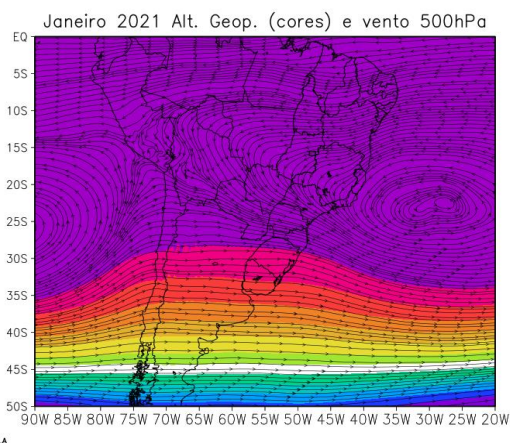


Figura 5. Altura geopotencial (m) (cores) e linhas de corrente do vento (linhas pretas) para janeiro de 2021 em 500 hPa.

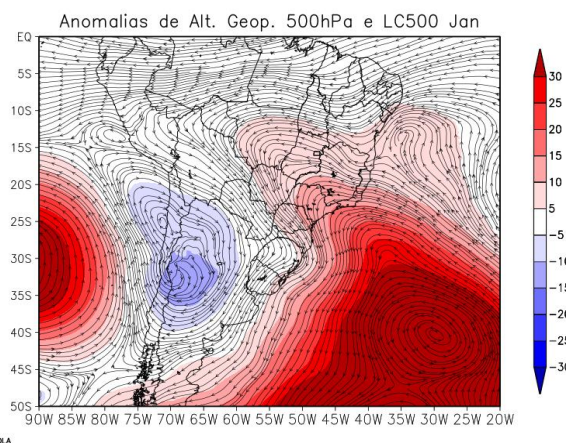


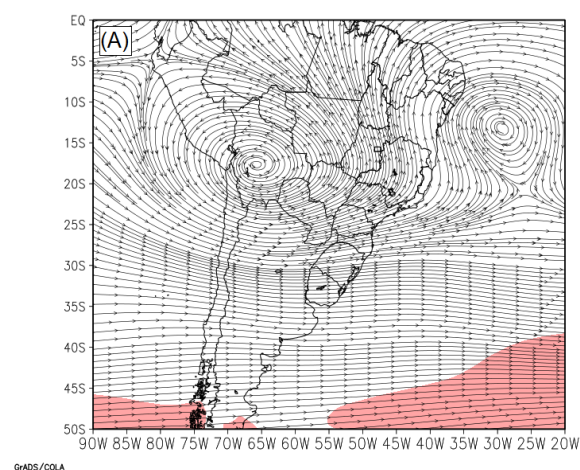
Figura 6. Anomalia de altura geopotencial (m) (cores) e linhas de correntes (linhas pretas) em 500 hPa de janeiro de 2021.

De acordo com o campo de anomalia de altura geopotencial e linhas de corrente em 500 hPa (Figura 6), nota-se sobre a Argentina uma grande anomalia negativa confirmando a ideia de Advecção de Vorticidade Ciclônica (AVC) sobre a área de estudo. A AVC gera movimento ascendente e por consequência favorece a instabilidade na superfície (Holton, 2004).

Cerón et al. (2021), analisando a intensificação recente de eventos extremos de precipitação na região da Bacia do Prata no sul da América do Sul, com base em dados de reanálise do ERA5 entre 1981 a 2018, identificaram que as anomalias de circulação oceânicas e atmosféricas de longo prazo explicam parte da variabilidade nos eventos extremos de precipitação, no sul do Brasil, sobretudo durante a primavera e o verão austral. O manuscrito aponta que alguns efeitos podem estar correlacionados ao aquecimento global crescente no período 1981-2018.

Além deste, vários trabalhos, como por exemplo, Ogassawara et al. (2021) e Da Silva Júnior e Nunes (2021), já mostraram a associação de cavado em altos níveis com instabilidades sobre a América do Sul, e respectivamente as ocorrências de diferentes fenômenos nos países posicionados no continente. Ogassawara et al. (2021) em estudo de eventos extremos na Bacia do Rio Piratini, evidenciaram a ocorrência de instabilidade sobre o RS, corroborando com o presente estudo.

A normal climatológica para janeiro em 250 hPa (Figura 7-A) mostra a circulação anti-horária da Alta da Bolívia se estendendo para o sudeste do Brasil e o VCAN (Vórtice Ciclônico de Altos Níveis) no nordeste brasileiro, configurações típicas do verão (Satyamurty et al., 1998). Sobre o RS observa-se o escoamento zonal padrão de oeste para leste. Na normal em 850 hPa (Figura 7-B), observa-se o escoamento da região norte para a região sul, significativo do transporte de calor e umidade advindos da Amazônia, assim como a convergência do escoamento sobre o RS, que favorecem a instabilidade em superfície (Salio et al., 2002; Marengo et al., 2004; Saulo et al., 2007; Nascimento et al., 2016; Ogassawara et al., 2021; Ramos et al., 2021a; Santiago et al., 2021b).



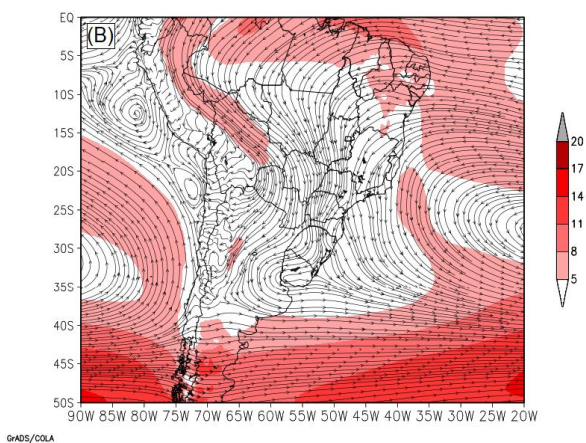


Figura 7. Linhas de corrente (linhas pretas) e magnitude do vento ( $m.s^{-1}$ ) (sombreado) da normal (1979-2021) para janeiro em: (A) 250 hPa; (B) 850 hPa.

Em janeiro de 2021, em altos níveis (250 hPa) (Figura 8-A), o fluxo apresenta comportamento semelhante à normal discutida anteriormente (Figura 7-A) para a área de estudo, porém com a deformação da Alta da Bolívia (AB) devido à presença de um cavado ao sul.

Em baixos níveis (850 hPa) (Figura 8-B) observamos, em comparação com a Figura 7-B, uma intensificação do escoamento da região norte para a região sul do país. O primeiro critério para se determinar o JBN é o vento com magnitude acima de 12 m/s em 850 hPa (Bonner, 1968), e visto que a

Figura 8-B refere-se à média mensal, consiste em uma indicação muito provável de que, ao longo do mês, tivemos vários episódios de JBN, o que ajuda a explicar o excesso de precipitação. Os Jatos de Baixos Níveis (JBN) da América do Sul são responsáveis pelo transporte de calor e, principalmente, umidade oriunda dos ventos alísios que escoam sobre a Amazônia e deslocam-se em direção a região sul do Brasil, paralelo aos Andes (Saulo et al., 2007; Marengo et al., 2009). Analisando as anomalias, em altos níveis (250 hPa) (Figura 8-C) ocorre uma mudança de sentido do escoamento da AB devido à presença do cavado ao sul (Figura 8-A).

Já em baixos níveis (850 hPa) (Figura 8-D), no RS, observa-se a influência do escoamento do JBN e a formação de um ciclone na região da Baixa do Chaco (Lenters et al., 1999; Seluchi et al., 2012). De acordo com Andreolina e Reboita (2021), o escoamento atmosférico ao longo da costa sudeste e sul do Brasil é marcado pela curvatura ciclônica dos ventos observada que aparece na climatologia do verão. Os autores afirmam observar em experimentos numéricos de sensibilidade que, mesmo sem a região côncava, os ventos continuam apresentando curvatura ciclônica. Pode-se observar (Figura 8-D) que a anomalia positiva de magnitude dos ventos alcança Pelotas, indicando maior potencial para a formação de instabilidades.

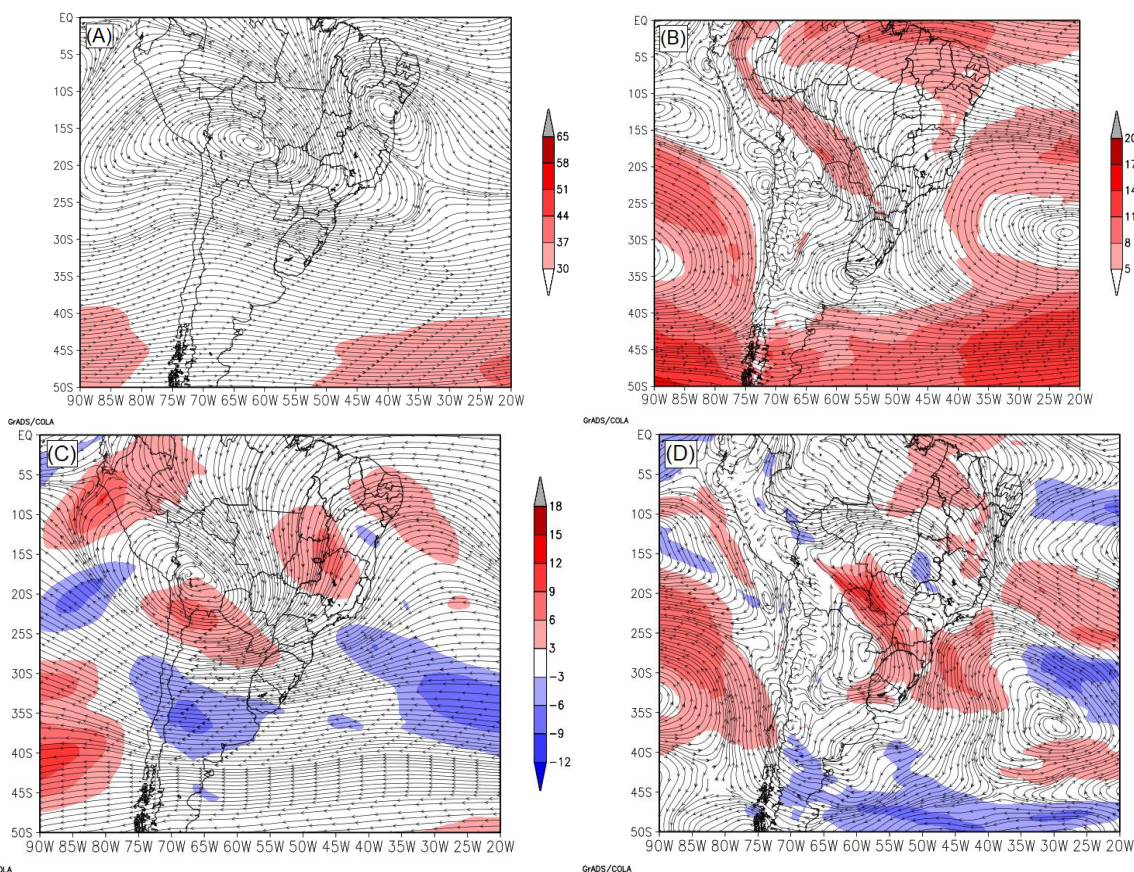


Figura 8. Linhas de corrente (linhas pretas) e magnitude do vento ( $m.s^{-1}$ ) (sombreado) para janeiro de 2021. (A) 250 hPa; (B) 850 hPa; (C) anomalia do vento em 250 hPa; (D) anomalia do vento em 850 hPa.

A Figura 9-A mostra o Fluxo de Vapor d'água Integrado na Vertical, obtido diretamente da plataforma Copernicus do ECMWF, da normal climatológica (1979-2021) para janeiro, e com zoom sobre o Estado do RS (Figura 9-B). Dessa forma, é possível identificar o deslocamento do fluxo de vapor d'água do norte do Brasil para a região sul. Em escala sinótica (Figura 9-A), tem-se o deslocamento dos fluxos de vapor d'água da região norte do Brasil, passando por Bolívia, Paraguai e Argentina, alcançando a região sul do Brasil, sendo identificado sobre o RS, conforme zoom (Figura 9-B), uma variação dos fluxos de 120 a 60  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , da região nordeste do RS com maior umidade e vento, para a região sul do RS com umidade e vento inferiores. A normal (1979-2021) dos fluxos compostos por vento e umidade no mês de janeiro sobre Pelotas é de 60  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , caracterizando baixo FVIV. Contudo, observa-se que estes valores baixos ocorrem na região de difluência do escoamento, indicando a diminuição da velocidade, sendo este fator o principal para os baixos valores.

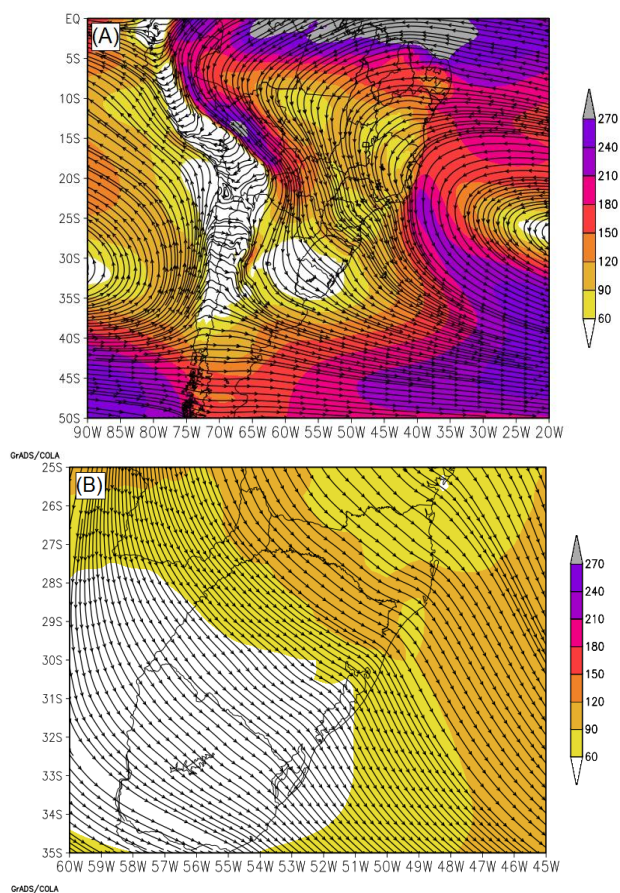


Figura 9. Fluxo de vapor d'água integrado na vertical ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (sombreado) e linha de corrente de fluxo integrado na vertical (linhas pretas) da normal (1979-2021) para janeiro: (A) escala sinótica; (B) zoom no RS.

Em contrapartida à normal climatológica, foi identificado para o mês de janeiro de 2021 (Figura 10) maior variação da magnitude dos fluxos de vapor d'água sobre o RS, com valores de 180 a 90  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , escoados da região norte do Brasil. No município de Pelotas, observa-se valores de fluxos mais elevados com 90  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , indicativo de maior intensidade nos fluxos de vapor d'água, devido ao excesso de umidade advindo dos JBN. Nota-se que, comparando-se com a normal (1979-2021), o núcleo com FVIV acima de 270  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  em janeiro de 2021 aumentou de tamanho e está situado mais ao sul, concordando com o referido campo de FVIV de verão para os dias de JBN, de acordo com Montini et al. (2019).

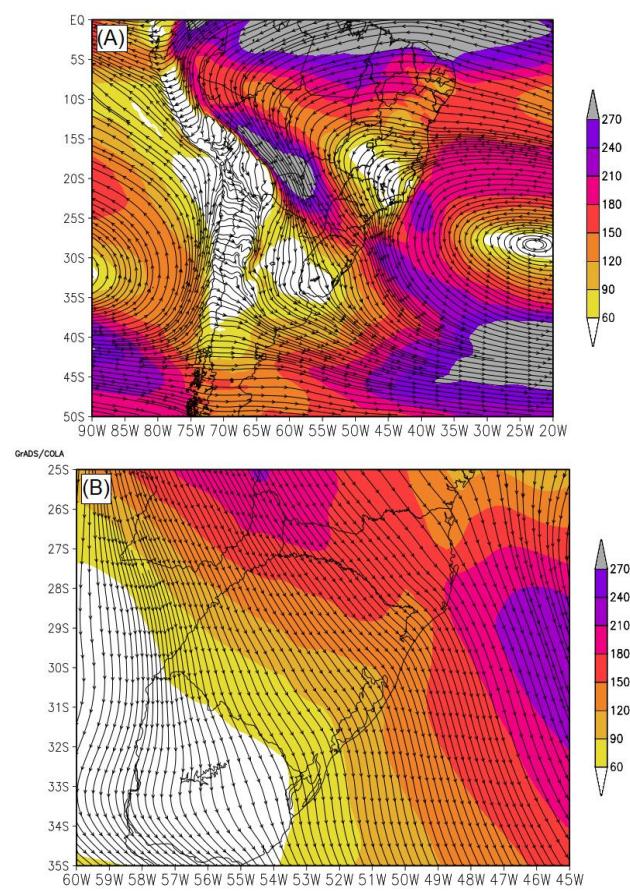


Figura 10. Fluxo de vapor d'água integrado na vertical ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (sombreado) e linha de corrente do fluxo integrado na vertical (linhas pretas) para janeiro de 2021: (A) escala sinótica; (B) zoom do RS.

O campo de anomalia de FVIV para o mês de janeiro de 2021 (Figura 11-A), mostra na região sudeste e centro-oeste do país valores negativos devido à predominância de uma massa de ar seca, caracterizando uma onda de calor que impede a chegada de frente fria e a ocorrência de chuvas, mantendo a frente fria e o canal de umidade da

Amazônia apenas para o sul do país, como explica a meteorologista do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Marlene Leal (Altino, 2021). Todavia, ressalta-se que a crista anômala sobre o Sudeste também é observada no campo de linha de corrente em 850 hPa conforme Figura 8-D. Na área de estudo (Figura 11-B), observa-se anomalia positiva na faixa de  $40 \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  com escoamento de norte, com influência significativa da Baixa do Chaco, favorecendo as instabilidades.

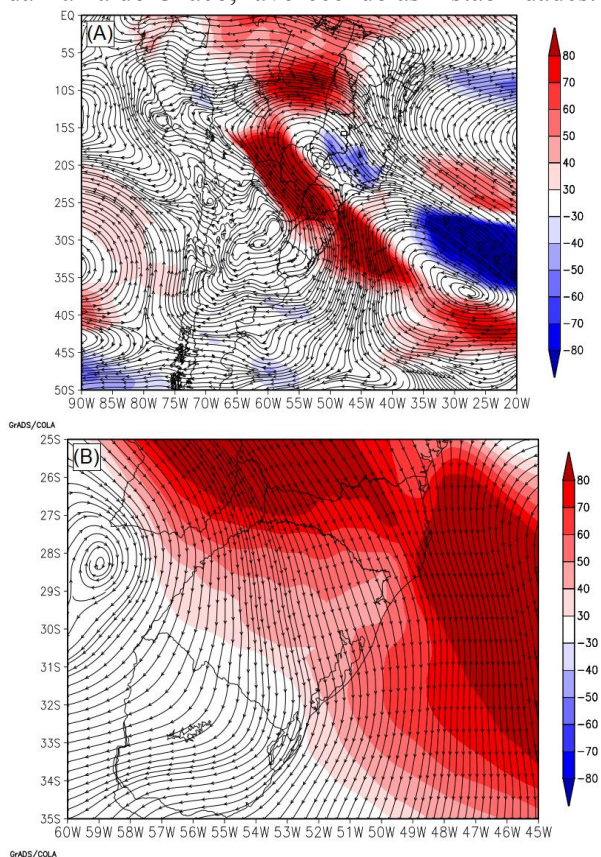


Figura 11. Anomalia de fluxo de vapor d'água integrado na vertical ( $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ) (sombreado) e linha de corrente do fluxo integrado na vertical (linhas pretas) para janeiro de 2021: (A) escala sinótica; (B) zoom do RS.

Para uma melhor compreensão do ambiente sinótico associado à precipitação anômala sobre Pelotas, também foi analisada a divergência de umidade integrada na vertical (VIMD) juntamente com o escoamento do fluxo de vapor d'água integrados na vertical (FVIV). Assim como o FVIV, o VIMD foi obtido diretamente da plataforma Copernicus do ECMWF. Na Figura 12-A são apresentadas em escala sinótica o clima normal (1979-2021) para o mês de janeiro, identificado uma concentração de umidade (convergência) de até  $-4 \text{ kg.m}^{-2}$  na região norte do Brasil se deslocando em direção ao Sul, onde observa-se divergência de fluxo de umidade no RS. Para o município de Pelotas (Figura 12-B) se observa a normal climatológica característica de

neutralidade quanto à divergência, uma vez que se encontra em região com valores próximos de zero.

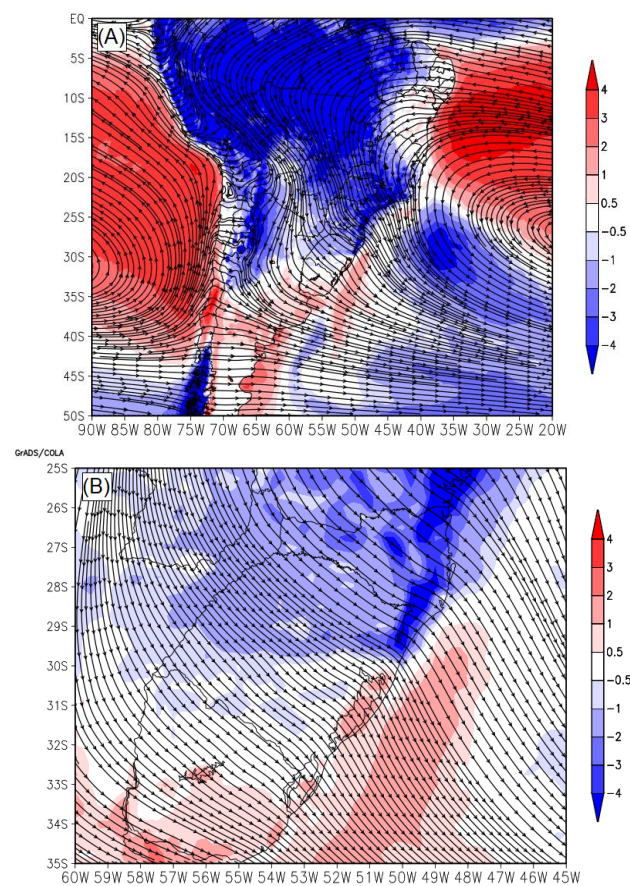
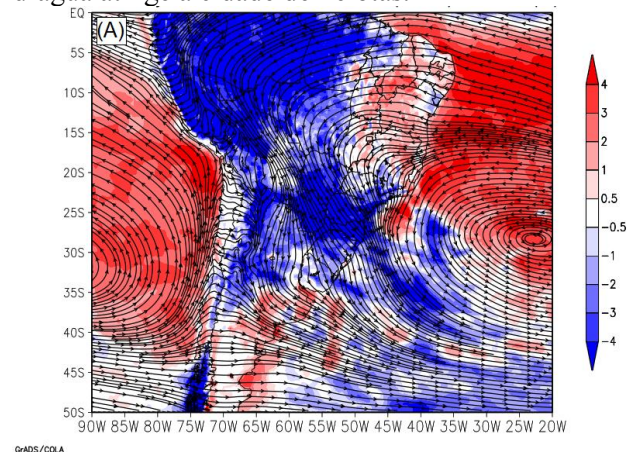


Figura 12. Divergência de umidade integrada na vertical ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) (sombreado) e linha de corrente do fluxo de vapor d'água integrado na vertical (vetores – linhas pretas) da normal (1979-2021) para janeiro: (A) escala sinótica; (B) zoom no RS.

Por outro lado, nota-se convergência do fluxo de umidade no mês de janeiro de 2021 (Figura 13-A), sobre o Estado do RS, característico de concentração de umidade e favorecimento à ocorrência de chuvas. Na Figura 13-B, pode-se observar que a convergência de fluxo de vapor d'água atinge a cidade de Pelotas.



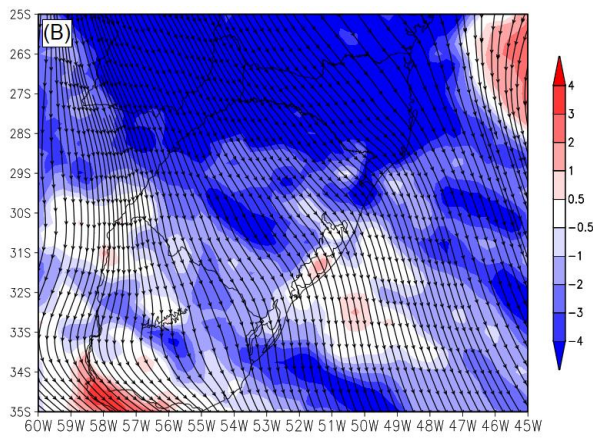


Figura 13. Divergência de fluxo de umidade integrada na vertical ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) (cores) e linha de corrente do fluxo de vapor d'água integrado na vertical (linhas pretas) para janeiro de 2021: (A) escala sinótica; (B) zoom no RS.

O campo de anomalia de VIMD para o mês de janeiro de 2021 (Figura 14-A) mostra uma tendência de maior convergência (anomalia negativa) para a área de estudo, (Figura 14-B), variando de  $-0,5$  a  $-2 \text{ kg.m}^{-2}$ , característico da concentração de umidade, corroborando com a ocorrência de maior precipitação, diferentemente do que foi encontrado em estudo de caso de estiação em Pelotas por Santiago et al. (2021a).

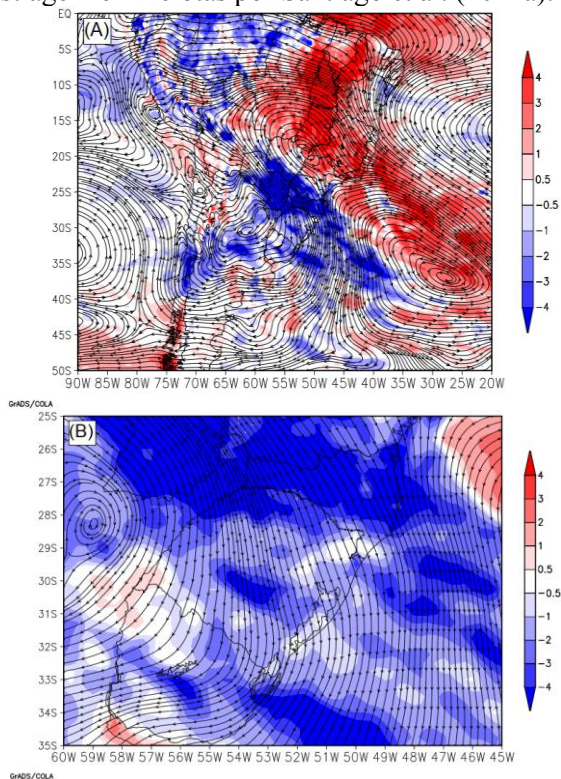


Figura 14. Anomalia de divergência de fluxo umidade integrada na vertical ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) (cores) e linha de corrente fluxos de vapor d'água integrados na vertical (linhas pretas) para janeiro de 2021: (A) escala sinótica; (B) zoom no RS.

Levando-se em consideração a importância de se desenvolver estudos acerca das condições e fenômenos climatológicos, que venham a dar suporte às previsões e tomadas de decisão, assim como, sistemas de alertas para eventos extremos, estudos com este foco ainda são muito incipientes na literatura, uma vez que, os estudos existentes analisam tais fenômenos abordados neste estudo de modo abrangente, o que dificulta a associação de acontecimentos em locais distintos.

### Conclusões

O presente trabalho apresentou a configuração sinótica associada à anomalia de precipitação que ocasionou em transtornos na cidade de Pelotas-RS em janeiro de 2021. Em suma, observou-se aumento de umidade e calor advindas do transporte de norte, especialmente pelos Jatós de Baixos Níveis, conforme mostram os campos de vento em 850 hPa e fluxo de vapor d'água integrados na vertical, intensificando a instabilidade em superfície sobre a região de estudo.

Observou-se anomalia negativa de altura geopotencial (500 hPa) à oeste da região de estudo, indicando também uma provável influência de advecção de vorticidade ciclônica nas instabilidades em Pelotas - RS.

Para um estudo mais detalhado desta anomalia de precipitação, sugere-se, como trabalhos futuros, a análise isolada dos dias que apresentaram precipitação mais intensa.

### Agradecimentos

Ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pelotas (PPGRH – UFPel) com apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), financiamento com código 001, fornecido ao 1º autor e 2º autor.

### Referências

- Altino, L., 2021. Janeiro de 2021 é um dos mais secos do século: Entenda os motivos da falta de chuva. O Globo. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/janeiro-de-2021-um-dos-mais-secos-do-seculo-entenda-os-motivos-da-falta-de-chuva-24859651.html>. Acesso: 12 out. 2021.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021. Hidroweb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso: 31 ago. 2021.
- Barbeto, P.A., Reis, M.M., Borna, A.C., 2010. Estatística para cursos de engenharia e computação. 3 ed. São Paulo: Atlas.

- Bettolli, M.L., Solman, S.A., Rocha, R.P., Llopart, M., Gutierrez, J. M., Fernández, J., ... Cuadra, S. V., 2021. The CORDEX Flagship Pilot Study in southeastern South America: a comparative study of statistical and dynamical downscaling models in simulating daily extreme precipitation events. *Climate Dynamics* 56, 1589-1608.
- Bertoni, J.C., Tucci, C.E.M., 2001. Precipitação. In: Tucci, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2. Ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 177-241.
- Bonner, W.D., 1968. Climatology of the low level jet. *Monthly Weather Review* 96, 833-50.
- Brito, G. R. A., 2016. Predicción probabilística del escurrimiento superficial y la pérdida de sedimento para eventos extremos. Parte I: Metodología. *Revista de Ciências Técnicas Agropecuárias [online]* 25, 31-42. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.13601.61288>. Acesso em: 18 out. 2021.
- Caballero, C.B., Ogassawara, J.F., Dorneles, V.R., Nunes, A.B., 2018. A precipitação pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP. *Revista Brasileira de Geografia Física [online]* 11, 1429-1441. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1429-1441>. Acesso: 10 nov. 2021.
- Cardoso, C. S., Quadro, M. F. L., Bonetti, C., 2020. Persistência e Abrangência dos Eventos Extremos de Precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade Espacial e Padrões Atmosféricos. *Revista Brasileira de Meteorologia [online]* 35, 219-231. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-7786352031>. Acesso em: 18 out. 2021.
- Cerón, W.L., Kayano, M.T., Andreoli, R.V., Avila-Diaz, A. Rivera, I.A., Freitas, E.D., Martins, J.A., Souza, R.A.F., 2021. Recent intensification of extreme precipitation events in the La Plata Basin in Southern South America (1981–2018). *Atmospheric Research [online]* 249, 105299. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105299>. Acesso: 8 mar. 2022.
- Chen, Y., Luo, Y. Liu, B., 2022. General features and synoptic-scale environments of mesoscale convective systems over South China during the 2013–2017 pre-summer rainy seasons. *Atmospheric Research [online]* 266, 105954. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105954>. Acesso: 8 mar. 2022.
- CPTEC/INPE. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2012. *Noções básicas de meteorologia. Curso prático de análise e previsão de tempo*. São Paulo. Disponível em: [http://cursos.cptec.inpe.br/~recursos/pratico\\_analise\\_previsao\\_tempo/pdf/MetBasico.pdf](http://cursos.cptec.inpe.br/~recursos/pratico_analise_previsao_tempo/pdf/MetBasico.pdf). Acesso: 20 out. 2021.
- Da Silva Júnior, L. G., Nunes, A. B., 2021. Análise do Eixo Vertical de dois Ciclones Extratropicais na América do Sul. *Revista Brasileira de Geografia Física [online]* 14 (1), 068-081. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p068-081>. Acesso: 9 mar. 2022.
- Defesa Civil RS, 2021. Avisos e Alertas. Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/avisos-e-alertas?pagina=4&ordem=RECENTES>. Acesso: 12 set. 2021.
- Dorneles, V.R., Riquetti, N.B., Nunes, A.B., 2020. Forçantes dinâmicas e térmicas associadas a um caso de precipitação intensa sobre o Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia [online]* 26, 220-232. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.58162>. Acesso: 9 out. 2021.
- Garcia, J.R., Miyamoto, B.C.B., Maia, A.G., 2018. Eventos extremos de precipitação: identificação e análise da bacia hidrográfica do Rio Jundiá, São Paulo. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia*, 37. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.15586>. Acesso: 20 nov. 2021.
- Gaúcha ZH, 2021. Temporal deixa 310 mil clientes sem luz e uma pessoa morta no sul do RS. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2021/01/temporal-deixa-310-mil-clientes-sem-luz-e-uma-pessoa-morta-no-sul-do-rs-ckjtdzd2f00bm019wsq7bprco.html>. Acesso: 12 set. 2021.
- G1 RS, 2021. Temporal deixa milhares de clientes sem luz na Região Sul do RS., 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2021/01/11/temporal-deixa-200-mil-clientes-sem-luz-em-pelotas-e-rio-grande-diz-cccc.gh.html>. Acesso: 02 set 2021.
- Grimm, A.M., 2009. Clima da Região Sul do Brasil. In: Cavalcanti, I.F.A., Ferreira, N.J., Silva, M.G.A.J., Dias, M.A.F.S. (Org.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 259-276.
- Ha, Y., Zhong, Z., Zhao, H., Zhu, Y., Yao, Y., Hu, Y., 2022. A Climatological Perspective on Extratropical Synoptic-Scale Transient Eddy Activity Response to Western Pacific Tropical Cyclones. *Advances in Atmospheric Sciences [online]* 39(2), 333-343. Disponível em:

- <https://doi.org/10.1007/s00376-021-0375-9>. Acesso: 10 mar. 2022.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, P. ... Thépaut, J.N., 2020. The ERA5 global reanalysis.. The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 146, 1999–2049. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>. Acesso: 20 nov. 2021.
- Holton, J.R., 2004. An Introduction to Dynamic Meteorology. Washington: Elsevier Academic Press 553.
- Hunt, K.M.R., Dimri, A. P., 2021. Synoptic-scale precursors of landslides in the western Himalaya and Karakoram. Science of The Total Environment [online] 776, 145895. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145895>. Acesso: 11 mar. 2022.
- IBF. Instituto Brasileiro de Florestas, 2021. Bioma Pampa. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/bioma-pampa>. Acesso: 12 set. 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Área da unidade territorial: Área territorial brasileira 2020.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2021. Banco de dados meteorológicos. Brasil. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso: 31 agos. 2021.
- Lenters, J. D., Cook K. H., 1999. Summertime Precipitation Variability over South America: Role of the Large-Scale Circulation Monthly Weather Review 127, 409–431.
- Lopes, L., 2021. Tempestade ajusta e deixa estragos em Pelotas. Diário Popular. Disponível em: <https://www.diariopopular.com.br/geral/tempestade-assusta-e-deixa-estragos-em-pelotas-157544/>. Acesso: 12 set. 2021.
- Marengo, J. A., Ambrizzi, T., Soares, W.R., 2009. Jatos de Baixos Níveis ao longo dos Andes. In: Cavalcanti, I. F. de A., Ferreira, N. J., Silva, M. G. A. J. da, Dias, M. A. F. da S. (org.). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 169-180.
- Marengo, J.A., Soares, W.R., Saulo, C., Nicolini, M., 2004. Climatology of the low level jet east of the Andes as derived from the NCEP–NCAR reanalysis: Characteristics and temporal variability. Journal of Climate 17, 2261-2280. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017%3C2261:COTLJE%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017%3C2261:COTLJE%3E2.0.CO;2). Acesso: 22 nov. 2021.
- Montini, T.L., Jones, C., Carvalho, L.M.V., 2019. The South American Low-Level Jet: a New Climatology, Variability, and Changes. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 124, 1200-1218. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2018JD029634>. Acesso: 23 nov. 2021.
- Moreno, J. A., 1961. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura.
- Nascimento, M., Herdies, D.L., Souza, D.O., 2016. The South American water balance: the influence of low-level jets. Journal of Climate 29, 1429- 1449. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0065.1>. Acesso: 20 nov. 2021.
- Moura, L. Z., Lima, C. H. R., 2018. Analysis of atmospheric moisture transport to the Upper Paraná River basiInternational Journal of Climatology [online] 38, 5153–5167. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.5718>. Acesso: 19 nov. 2021.
- Newell, R. E., Newell, N. E., Zhu, Y. E Scott, C., 1992. Tropospheric rivers? – A pilot study. Geophysical Research Letters [online] 19, 2401–2404. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/92GL02916>. Acesso em: 15 out. 2021.
- Nunes, A.B., Silva, G.C., 2013. Climatology of extreme rainfall events in eastern and northern Santa Catarina State, Brazil: present and future climate. Revista Brasileira de Geofísica [online] 31, 413-425. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22564/rbgf.v31i3.314>. Acesso: 19 nov. 2021.
- Ogassawara, J. F., Nunes, A. B., Riquetti, N. V., 2021. Eventos extremos de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Piratini: relação com Enos e estudo de caso. Revista Brasileira de Climatologia [online] 28. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rbelima.v28i0.72705>. Acesso em: 15 out. 2021.
- Palenzuela, Y.G., Teixeira, M. DA S., Toledo, D. R., Correia, M. DE F, 2019. Influência da Escala Sinótica na Evolução de um Evento de Precipitação Extrema na Cidade de Pelotas - RS em Janeiro de 2009. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 12, 1770-1783. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.5.p1770-1783>. Acesso: 23 nov. 2021.
- Pereira, R. S., Nunes, A. B., 2018. Estudo climático dos eventos de precipitação associados a alagamentos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Geografia Física [online], 11, 2010-2017. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.6.p2010-2017>. Acesso: 18 out. 2021.
- Pruski, F.F., Pereira, S.B., Novaes, L.F., 2004. Precipitação média anual e vazão específica

- média de longa duração, na Bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online] 8, 247-253. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000200013>. Acesso: 22 nov. 2021.
- Ramos, E.C.P., Cassol, L.G. M., Nunes, A.B., 2021a. Study of three days duration coupling between jets in South America. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* [online] 12, 240-248. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0023>. Acesso: 22 nov. 2021.
- Ramos, E.C.P., Nunes, A.B., Cassol, L.G. M., 2021b. Study of a mesoscale convective complex associated with the coupling between jets in South America. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 14, 1367-1381. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1367-1381>. Acesso: 23 nov. 2021.
- Reboita, M.S., Gan, M.A., Rocha, R.P., Ambrizzi, T., 2010. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 25, 185-204. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>. Acesso: 26 nov. 2021.
- Reboita, M.S., De Oliveira, K.R., Corrêa, P.Y.C., Rodrigues, R., 2021. Influência dos Diferentes Tipos do Fenômeno El Niño na Precipitação da América do Sul. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 14, 729-742. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p729-742>. Acesso: 10 mar. 2022.
- Regoto, P., Dereczynski, C., Chou, S.C., Bazzanella, A.C., 2021. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. *International Journal of Climatology* 41, 5125-5142.
- Reis, P. A., Aquino, F. E., 2018. Análise sinótica e a composição isotópica de um evento extremo de precipitação em Porto Alegre. In: *Salão UFRGS 2018: SIC - XXX Salão de Iniciação Científica da UFRGS. Campus do Vale - UFRGS*.
- Revista News, 2021. Pelotas é atingida por temporal com ventos de 90 km/h. Disponível em: <https://revistanews.com.br/2021/01/12/pelotas-e-atingida-por-temporal-com-ventos-de-90-km-h/>. Acesso: 12 set. 2021.
- Rocha, F. P., Aravéquia, J. A., Ribeiro, B. Z., 2016. Estudo de Ciclones e de Padrões de Circulação Atmosférica no Oceano Atlântico Sul Próximo à Costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil Usando Dados da Reanálise do Era-Interim. *Revista Brasileira de Meteorologia* [online] 31, 141-156. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-77862016000200004>. Acesso: 18 out. 2021.
- Salio, P., Nicolini, M., Saulo, A. C., 2002. Chaco low-level jet events characterization during the austral summer season. *Journal of Geophysical Research* 107, 4816. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2001JD001315>. Acesso: 23 nov. 2021.
- Sanders, F., 1993. Upper-Level Geostrophic Difffluence and Deepening of Surface Lows. *Weather and Forecasting*, 8, 339-344.
- Santiago, M. M., Cardoso, I. P., Nunes, A. B., 2021a. Escoamento em baixos níveis associado ao déficit de precipitação do verão 2019/2020 do município de Pelotas - RS. *Revista Brasileira de Geografia Física, Recife/PE*, 14, 3096-3107.
- Santiago, M.M., Santos, G.B., Cardoso, I.P., Nunes, A.B., 2021b. Preliminary study on the case of black rain in Rio Grande do Sul, Brazil: A synoptic point of view. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 1268-1281.
- Santos, D.D., Galvani, E., 2019. Proposta para determinação de eventos extremos de chuva no litoral norte paulista. *Revista Brasileira de Climatologia* [online] 25. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.67605>. Acesso: 19 out. 2021.
- Satyamurty, P., Nobre, C.A., Silva Dias, P.L., 1998. South America. In: Karoly, D.J., Vincent, D.G. (org.). *Meteorology of the Southern Hemisphere* (ed.). American Meteorological Society, Meteorological Monographs, 119-139.
- Saulo, A.C., J. Ruiz, Skabar, Y. G., 2007. Synergism between the low-level jet and organized convection at its exit region. *Monthly Weather Review* 135, 1310-1326. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/MWR3317.1>. Acesso: 25 nov. 2021.
- Seluchi M.E., Garreaud, R.D., 2012. Campos médios e processos físicos associados ao ciclo de vida da Baixa do Chaco. *Revista Brasileira de Meteorologia* 27, 447-462.
- Silva, G. L., Escobar, G.C.J., 2007. Tempo severo no Rio Grande do Sul (RS) ocorrido em outubro de 2006: estudo de caso e validação do modelo ETA 20 (Parte II). In.: *XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Aracaju - SE*.
- Teixeira, M.S., Satyamurty, P., 2007. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in Southern Brazil. *Monthly Weather Review* [online] 135, 598-617. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/MWR3302.1>. Acesso: 23 nov. 2021.
- Teixeira, M. S., Prieto, R. B., 2020. Eventos extremos de chuva no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 1: Definição dos eventos e estatísticas. *Revista*

Brasileira de Meteorologia [online] 35, 45-52.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786351027>. Acesso: 15 mar. 2022.

Wrege, M. S., Steinmetz, S., Reisser Junior, C., Almeida, I. R., 2012. Atlas climático da

Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2.ed. Brasília: Embrapa, 333 p.