Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
ISSN 2237-8642

DINÂMICA DOS EVENTOS DE FRIAGEM NA REGIÃO DO PANTANAL: UM ESTUDO COM DADOS DE REANÁLISE DE 1981 A 2023

Dynamics of cold events in the Pantanal region: a study using reanalysis data from 1981 to 2023

Dinámica de los eventos fríos en la región del Pantanal: un estudio utilizando datos de reanálisis de 1981 a 2023

Raquel de Cássia Ramos
Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo (USP)
raquel_ramos@usp.br

Gabriel Pereira
Departamento de Geografia da Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ)
pereira@ufsj.edu.br

Emerson Galvani
Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (USP)
egalvani@usp.br

Francielle da Silva Cardozo
Programa de Pós-Graduação de Geografia da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ)
franciellecardozo@ufsj.edu.br

Paula Resende Santos
Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo (USP)
paula.resende@usp.br

Shayene Bernardo Dutra
Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo (USP)
shayenedutra@usp.br

Resumo: A friagem é um fenômeno climático caracterizado pela incursão de massas de ar polar para regiões tropicais do Brasil, impactando significativamente o Pantanal. Este estudo investigou a ocorrência e a variabilidade das friagens na região entre 1981 e 2023, utilizando dados de reanálise do ERA5, os quais foram obtidos por meio do Google Engine. Os eventos de friagem foram identificados

com base em anomalias térmicas, considerando períodos de pelo menos três dias consecutivos com temperaturas abaixo do 10º do percentil climatológico. Os resultados indicam que as friagens ocorrem predominantemente entre maio e setembro, com maior intensidade nos meses de junho e julho. Durante esses eventos, a temperatura máxima sofre queda mais acentuada nos primeiros dias, enquanto a mínima apresenta resfriamento persistente. Ainda, observou-se uma redução progressiva na precipitação associada às friagens ao longo das últimas quatro décadas, sugerindo mudanças na circulação atmosférica regional. Além dos impactos climáticos, as friagens afetam a biodiversidade, a agricultura e a saúde humana, podendo aumentar a mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares. O estudo reforça a necessidade de monitoramento contínuo e aprimoramento das previsões meteorológicas, contribuindo para estratégias de mitigação de impactos ambientais e socioeconômicos no Pantanal.

Palavras-chave: Anomalias térmicas. Circulação Atmosférica. ERA5.

Abstract: A cold spell (locally known as *friagem*) is a climatic phenomenon characterized by the intrusion of polar air masses into Brazil's tropical regions, significantly impacting the Pantanal. This study examined the occurrence and variability of cold spells in the region from 1981 to 2023, utilizing ERA5 reanalysis data obtained through Google Engine. Cold spells were identified based on thermal anomalies, specifically considering periods of at least three consecutive days with temperatures falling below the climatological 10th percentile. The results indicate that cold spells predominantly occur between May and September, with greater intensity in June and July. During these events, the maximum temperature drops sharply in the initial days, while the minimum temperature continues to cool persistently. A progressive reduction in precipitation associated with cold spells has been observed over the last four decades, suggesting changes in regional atmospheric circulation. In addition to their impact on climate, cold spells affect biodiversity, agriculture, and human health, potentially increasing mortality rates from respiratory and cardiovascular diseases. This study underscores the necessity for continuous monitoring and enhancement of meteorological forecasts, which contribute to strategies aimed at mitigating environmental and socio-economic impacts in the Pantanal.

Keywords: Thermal anomalies. Atmospheric circulation. ERA5.

Resumen: La ola de frío (conocida localmente como *friagem*) es un fenómeno climático caracterizado por la incursión de masas de aire polar en las regiones tropicales de Brasil, lo que tiene un impacto significativo en el Pantanal. Este estudio investigó la ocurrencia y variabilidad de las olas de frío en la región entre 1981 y 2023, utilizando datos del reanálisis ERA5, los cuales se obtuvieron a través de Google Engine. Las olas de frío se identificaron a partir de anomalías térmicas, considerando períodos de al menos tres días consecutivos con temperaturas por debajo del percentil 10 climatológico.Los resultados indican que las olas de frío se producen predominantemente entre mayo y septiembre, con mayor intensidad en junio y julio. Durante estos eventos, la temperatura máxima desciende de manera más pronunciada en los primeros días, mientras que la temperatura mínima se enfría de forma persistente. En las últimas cuatro décadas, se ha observado una reducción progresiva de las precipitaciones asociadas a las olas de frío, lo que sugiere cambios en la circulación atmosférica regional. Además de las repercusiones climáticas, las olas de frío impactan la biodiversidad, la agricultura y la salud humana, y pueden incrementar la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Este estudio subraya la necesidad de un monitoreo continuo y de la mejora en las previsiones meteorológicas, lo que contribuirá a las estrategias de mitigación de los impactos ambientales y socioeconómicos en el Pantanal.

Palabras clave: Anomalías térmicas. Circulación atmosférica. ERA5.

Submetido em: 01/04/2025

Aceito para publicação em: 30/06/2025

Publicado em: 03/07/2025

1. INTRODUÇÃO

A friagem é um fenômeno climático caracterizado pela incursão de massas de ar polar do Sul para as regiões tropicais do Brasil, afetando principalmente o Pantanal e a Amazônia Ocidental (Serra; Rastibona, 1960). Essas massas frias geralmente percorrem a Bacia do Prata antes de atingir o território brasileiro, podendo causar quedas bruscas de temperatura, com variações entre 5°C e 10°C abaixo da média mensal. A intensidade desses eventos varia conforme a região, sendo mais expressiva no sul do Brasil e na Amazônia Meridional (Hamilton; Tarifa, 1978; Marengo *et al*., 1997).

As frentes frias ocorrem quando uma massa de ar mais fria se desloca para uma área mais quente, levando à instabilidade atmosférica. Essa instabilidade geralmente resulta no aumento da nebulosidade e da precipitação à medida que a frente fria se aproxima, devido à elevação do ar quente e úmido. Entretanto, quando a massa de ar frio se estabelece, a umidade relativa tende a diminuir, levando a condições mais secas. Esse padrão é particularmente evidente durante períodos de frio intenso, em que o influxo de ar frio e seco reduz os níveis de umidade na atmosfera (Boucek *et al.*, 2016). Essas mudanças podem afetar significativamente a saúde humana, a agricultura e os ecossistemas. Por exemplo, quedas repentinas de temperatura e umidade podem aumentar o risco de problemas respiratórios em seres humanos, causar estresse nas plantações devido às rápidas mudanças ambientais e perturbar os habitats da vida selvagem local (Skendžić *et al.,* 2021).

A ocorrência das frentes frias associadas à friagem apresenta sazonalidade bem definida, sendo mais comum entre maio e setembro, enquanto no verão austral (dezembro a fevereiro) sua frequência é reduzida (Cavalcanti; Kousky 2009).

Diversos estudos abordaram eventos de friagem e suas implicações na região do Pantanal. Pinto *et al.,* (2018), em seu estudo publicado no Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ, quantificaram e analisaram o comportamento de variáveis meteorológicas durante a atuação de friagens na região do Pantanal, com foco nas cidades de Aquidauana e Coxim entre 2007 e 2012. A identificação de eventos de friagem foi realizada com base na seção "Sistemas Frontais e Frontogêneses" do boletim mensal Climanálise, considerando os sistemas frontais que chegaram a Cuiabá. Marengo *et al.,* (2021), por sua vez, investigaram a onda de frio do inverno de 2021 na região central da América do Sul, destacando os impactos significativos do evento em cinco países, incluindo o Brasil. A onda de frio intensa causou

recordes de temperaturas mínimas, geadas e até neve no sul do Brasil, afetando severamente a agricultura, com perdas significativas na produção de café e outros cultivos. Outro estudo relevante foi o de Pampuch e Ambrizzi (2015), que, utilizando dados da Reanálise I do NCEP/NCAR, realizaram uma climatologia dos sistemas frontais sobre a América do Sul entre 1981 e 2010. O estudo revelou que esses sistemas ocorrem com maior frequência nas latitudes mais altas, como o sul da Argentina, e avançam ocasionalmente até o centro-oeste e sul do Brasil, sendo mais comuns durante o inverno e a primavera. Além disso, Marengo *et al.,* (1997) realizaram o estudo "Impactos climáticos das 'friagens' em áreas florestais e desmatadas da bacia amazônica", utilizando observações meteorológicas do Estudo de Observação Climática da Amazônia Anglo-Brasileira (ABRACOS), reanálise global do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) e imagens de satélite. O estudo analisou a intensidade e extensão das ondas de frio de 1994, destacando que a advecção fria foi o principal mecanismo responsável pelas quedas de temperatura, especialmente em locais como Ji-Paraná. Embora esses estudos forneçam valiosas informações sobre a dinâmica das friagens, é importante destacar que, para a região do Pantanal, são escassos os trabalhos que investigam os efeitos específicos dessas friagens e seus impactos ambientais, climáticos e socioeconômicos.

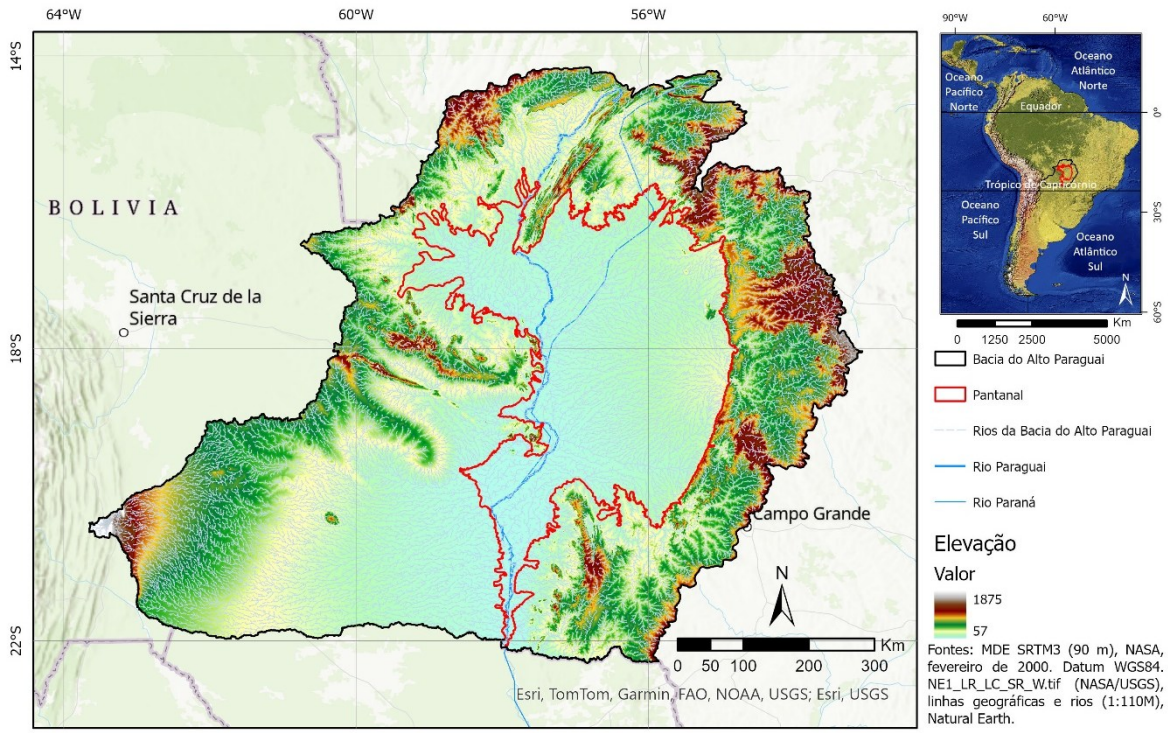
Nesse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a ocorrência e a variabilidade das friagens no Pantanal, utilizando dados de reanálise do ERA5 (1981-2023) para investigar suas tendências climáticas e efeitos no regime térmico e pluviométrico, tanto em escala anual quanto mensal.

2. ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo teve como foco Pantanal, uma das maiores planícies alagáveis do mundo, localizada na bacia do Alto Paraguai e abrangendo partes dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Keddy *et al.*, 2009). O bioma possui um clima tropical de savana (Aw, segundo Köppen), com uma estação chuvosa no verão e uma estação seca no inverno (Alvares *et al.*, 2013). As principais atividades econômicas da região incluem a pecuária extensiva e intensiva, a pesca e o turismo. Contudo, a expansão da pecuária tem provocado impactos ambientais significativos, como erosão, compactação do solo e alteração no ciclo hidrológico (Girard; Vargas, 2008; Wüst *et al*., 2015). A área de estudo está inserida na Bacia do Alto

Paraguai, que possui uma extensão de aproximadamente 1.095.000 km² e é drenada por importantes cursos d'água, como os rios Paraguai e Paraná. A porção correspondente ao Pantanal ocupa cerca de 150.501 km², o que representa 1,8% do território brasileiro (ASSINE *et al.,* 2016), abrangendo partes dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Essa região faz fronteira ao sul com o Paraguai e a oeste com a Bolívia (Chaco Boliviano). Pertencem ao Pantanal mato-grossense e sul-mato-grossense 23 municípios, sendo Corumbá, Poconé, Cáceres e Aquidauana considerados os que mais contribuem em área para a formação do Pantanal, com destaque para a primeira cidade mencionada (Ferreira, 2013). A localização do bioma Pantanal pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 - Localização da área de estudo do Bioma Pantanal – 24/08/2024**.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O padrão de chuvas na Bacia do Alto Paraguai é modulado pela Monção de Verão na América do Sul (SASM), responsável pela alta variabilidade sazonal do regime de precipitação e pela "reversão" anual dos ventos de baixo nível, em função da migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Plink-Björklund, 2015). A precipitação na Bacia do Alto Paraguai apresenta um gradiente espacial bem definido: nas porções elevadas do norte e

leste, os volumes anuais alcançam aproximadamente 1.500 mm, enquanto nas áreas centrais e ocidentais da bacia os totais podem reduzir-se a cerca de 1.000 mm (Paz *et al.,* 2011).

Nesse contexto climático marcado por forte sazonalidade, eventos de friagem ganham relevância por representarem perturbações abruptas no padrão atmosférico regional, com impactos expressivos sobre a biodiversidade, as populações locais e as atividades produtivas no Pantanal.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi fundamentado na análise de dados climatológicos obtidos a partir do ERA5-Land, um produto de reanálise climática disponibilizado pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF). O ERA5 fornece informações de alta resolução (~9 km), integrando dados de satélites, estações meteorológicas, boias oceânicas e aeronaves para oferecer uma visão detalhada das condições atmosféricas globais (Hersbach *et al.*, 2020; Copernicus Climate Change Service, 2022).

A análise dos dados foi realizada utilizando a plataforma Google Earth Engine (GEE), que permitiu o processamento eficiente dos grandes volumes de dados climáticos. Para a interpretação estatística e visualização dos resultados, foram empregados *scripts* em Python no ambiente *Spyder*, possibilitando a criação de gráficos e a análise de tendências climáticas na região do Pantanal.

O estudo concentrou-se na identificação e caracterização dos eventos de friagem, baseando-se na análise de anomalias térmicas. Para isso, seguiu-se o critério de Marengo *et al.,* (2023), que define ondas de frio como períodos em que as temperaturas mínima e máxima diárias permanecem abaixo do 10º percentil climatológico por pelo menos três dias consecutivos. Esse critério, amplamente utilizado em estudos climáticos, assegura consistência metodológica com avaliações anteriores e permite comparações ao longo do tempo e entre diferentes regiões da América do Sul. Além disso, a adoção desse limiar possibilita a identificação eficaz de eventos frios estatisticamente significativos, garantindo uma análise robusta da influência das friagens no clima e nos ecossistemas regionais (Marengo *et al.,* 1997b; 2023).

3.1. Procedimentos Metodológicos

A obtenção e o processamento dos dados foram realizados por meio de um script automatizado na plataforma GEE, no qual foram definidos a área de estudo (Pantanal) e o intervalo temporal (1981-2023). Os dados de temperatura mínima e máxima diária, precipitação mensal e umidade relativa horária foram extraídos das coleções ERA5-Land, incluindo os produtos ECMWF/ERA5_LAND/MONTHLY, DAILY_AGGR e HOURLY.

Após a extração, os dados foram exportados em formato CSV para o Google Drive e organizados para análise no Microsoft Excel e no ambiente Spyder. Os scripts em Python foram utilizados para a identificação de padrões de anomalias térmicas, caracterização da duração das friagens e visualização gráfica dos resultados.

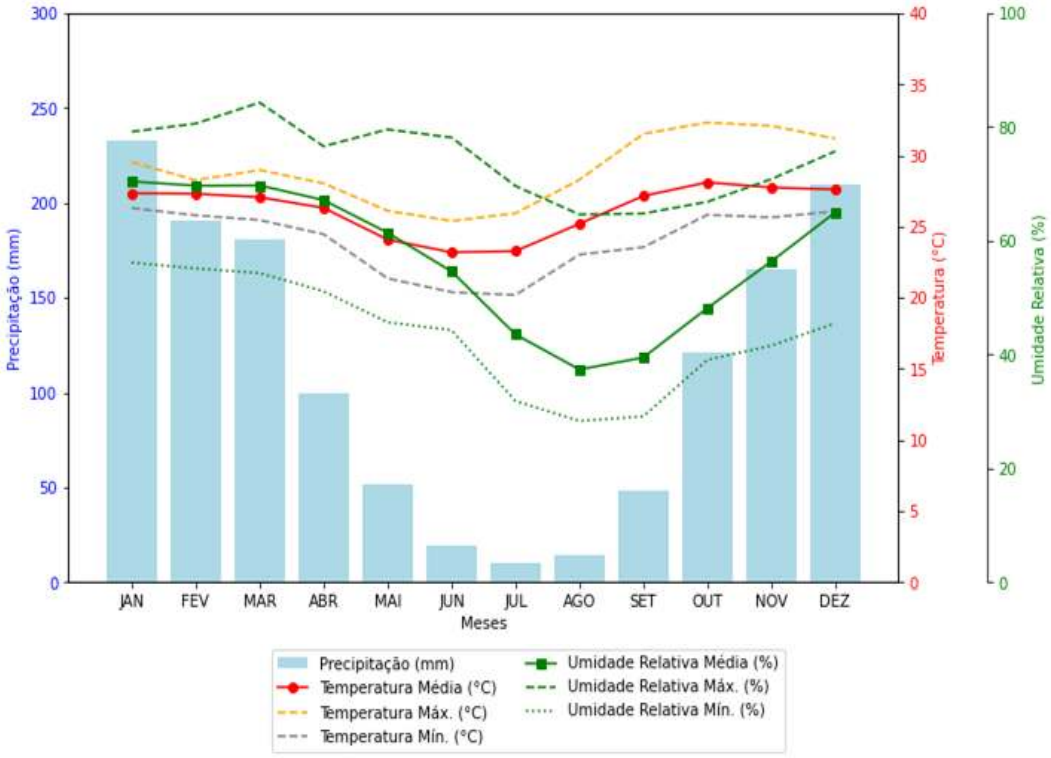
A identificação das frentes frias foi baseada na série temporal das temperaturas médias diárias, calculando-se o 10º percentil da climatologia histórica (22,23°C) como limiar para classificar episódios de frio atípico. Além disso, foram analisados os dias anteriores e subsequentes à passagem da frente fria para determinar a persistência e a magnitude das friagens.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis Climáticas Mensais no Pantanal

A análise dos dados do período de 1981 a 2023 revelou padrões característicos de um clima tropical com estação seca, como é típico no Pantanal (Figura 2). As temperaturas médias anuais oscilaram entre 20°C e 30°C, com mínimas mais baixas durante o inverno, especialmente em julho, e máximas mais elevadas no verão, entre janeiro e março. A temperatura média anual foi de 26,7°C, com extremos que variam próximo de 0°C no inverno ao sul do Pantanal até 40°C no verão ao norte, corroborando estudos anteriores sobre a climatologia da região (Reboita *et al.*, 2010).

Figura 2 - Padrões Climáticos Anuais no Pantanal: Precipitação, Temperatura e Umidade Relativa (1981-2023).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A precipitação apresentou um padrão sazonal bem definido, com maiores volumes de chuva entre outubro e março, atingindo seu pico em janeiro. Durante o inverno (maio a agosto), as chuvas foram significativamente reduzidas, evidenciando uma estação seca bem marcada. Essa variação sazonal influencia diretamente outros parâmetros climáticos, como a umidade relativa.

O padrão de precipitação na Bacia do Alto Rio Paraguai é modulado pela Monção de Verão da América do Sul (Reboita *et al*., 2010), que troca ventos e o fluxo de vapor do Oceano Atlântico equatorial (Bergier *et al*., 2018). O ciclo sazonal de inundações, que ocorre de outubro a março, transforma a paisagem da região, promovendo sua biodiversidade característica. Durante a estação seca, entre junho e julho, os níveis de água caem, revelando savanas e campos abertos (Braga; Laurini, 2024).

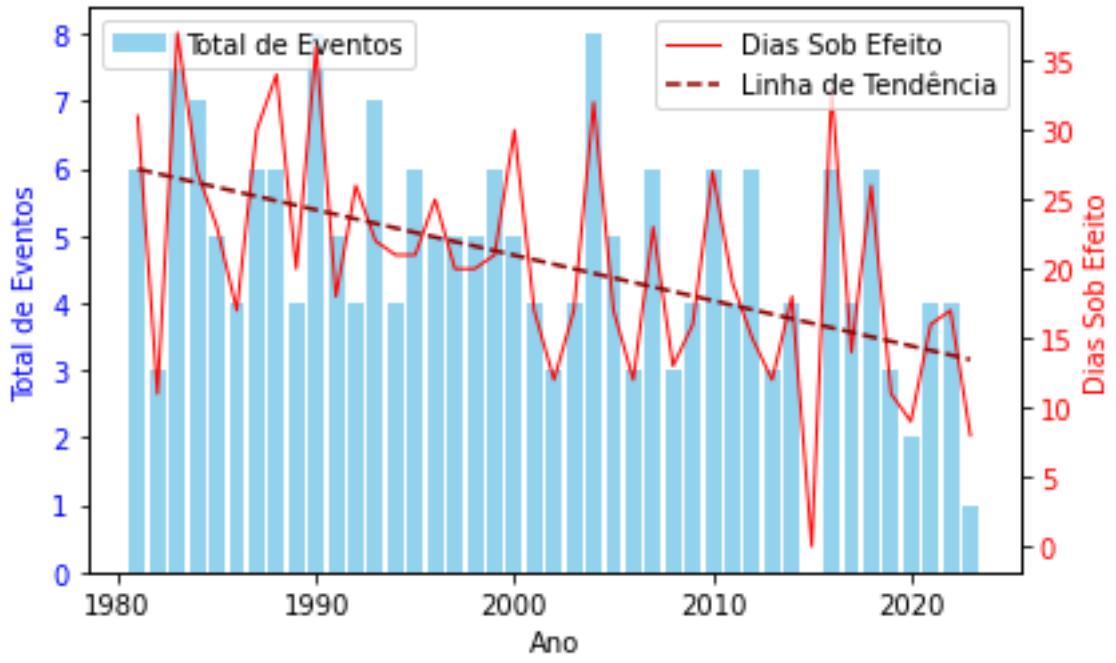
A umidade relativa também apresentou variação sazonal, sendo mais alta nos meses chuvosos (janeiro a março), entre 80% e 90%, e mais baixa no período seco (agosto), com valores próximos de 50%. De acordo com Silva *et al.,* (2024), nas últimas quatro décadas, as

tendências climáticas no Pantanal apresentaram um aumento das temperaturas e da velocidade do vento, acompanhado por uma redução da umidade relativa e da precipitação.

4.2 Distribuição e Frequência dos Eventos de Friagem

A análise dos dados de 1981 a 2023 identificou um total de 202 eventos de friagem no Pantanal, com 874 dias sob o efeito do fenômeno. Esses eventos ocorreram de forma heterogênea ao longo dos anos (Figura 3), com destaque para períodos de maior intensidade e duração, como 1983 e 1990. A tendência observada indica uma leve redução no número de dias afetados por friagens ao longo do tempo, conforme evidenciada pela linha de tendência no gráfico, sugerindo possíveis mudanças nos padrões climáticos regionais.

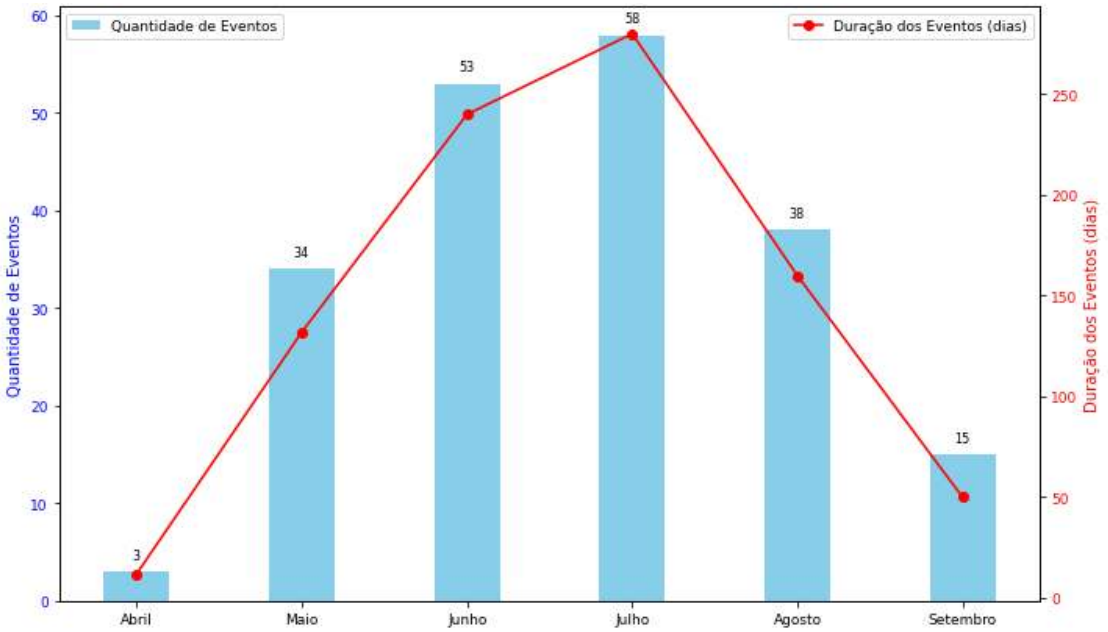
Figura 3 - Eventos de Friagem e dias de atuação do ar polar (1981 – 2023).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os eventos de friagem ocorrem com maior frequência e duração nos meses de junho e julho (média de sete dias), seguidos por maio e agosto (4 a 4,5 dias). Já nos meses de transição (abril e setembro), os eventos são menos frequentes, com duração inferior a cinco dias (Figura 4). Esses padrões estão alinhados com Cavalcanti e Kousky (2009), que destacaram a predominância de massas de ar frio na região nesse período.

Figura 4 - Distribuição Mensal dos Eventos de Friagem no Pantanal.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os padrões identificados neste estudo são consistentes com os registros de Pinto *et al.,* (2018), que analisaram a frequência de friagens no Pantanal entre 2007 e 2012 e observaram médias anuais e durações similares. Pequenas variações nos valores podem ser atribuídas a diferenças metodológicas, como os critérios adotados para definir o término dos eventos.

Além disso, os resultados obtidos por Cavalcanti e Kousky (2009) sobre a frequência das frentes frias na região do Pantanal (15-20°S, 55-60°W) entre 1979 e 2005 encontram respaldo nos dados analisados. O aumento da ocorrência de friagens a partir de abril, seguido de um pico nos meses de junho e julho, e o declínio progressivo a partir de agosto, são tendências consistentes tanto na literatura quanto nos achados deste estudo.

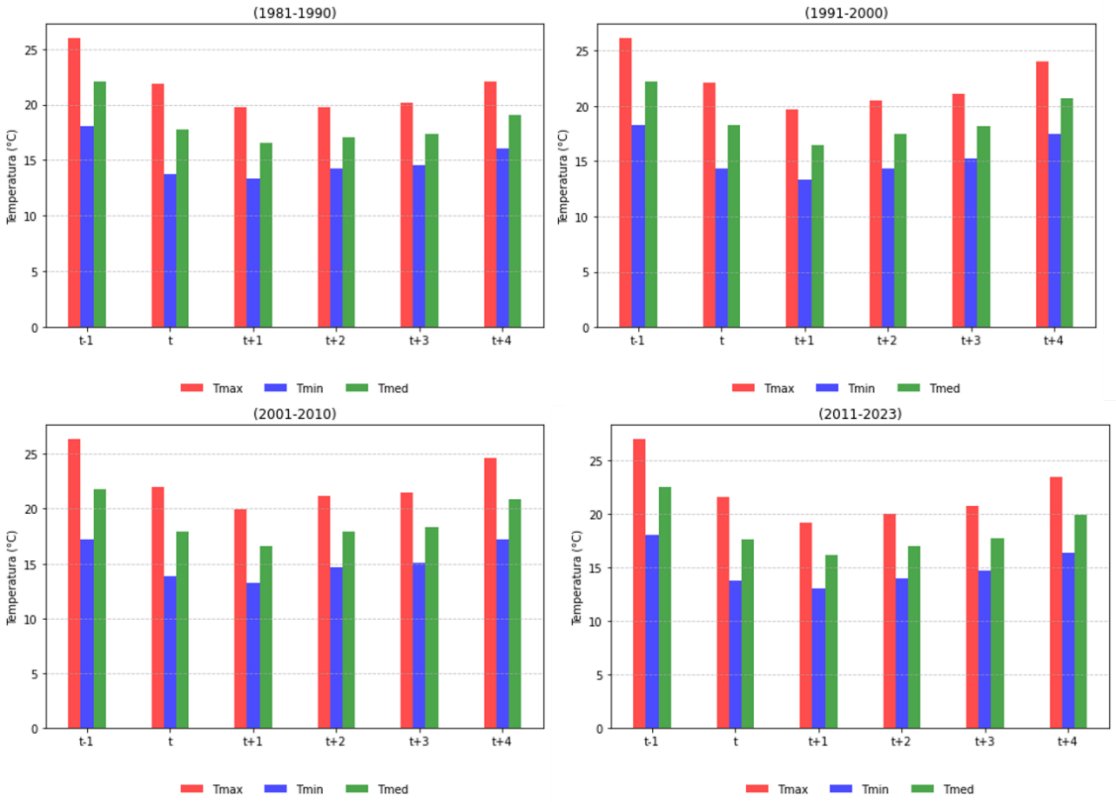
A baixa frequência de eventos nos meses de verão (dezembro a fevereiro) reforça o padrão sazonal das frentes frias na América do Sul. A relação entre quantidade de eventos e duração das friagens indica que os meses de inverno (maio a agosto) concentram a maior atividade das frentes frias, enquanto os meses de verão apresentam atividade reduzida.

4.3 Caracterização Térmica dos Eventos de Friagem

A análise dos eventos de friagem registrados entre 1981 e 2023 revelou variações significativas nas temperaturas máximas (Tmax), mínimas (Tmin) e médias (Tmed) ao longo

dos eventos. Para avaliar essas variações, foi analisada a diferença de temperatura em relação ao dia anterior à friagem (t-1), considerando a evolução ao longo do primeiro dia do evento (t) e nos dias subsequentes (t+1 a t+4). A média dessas variações para cada variável está apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Evolução diária das médias de temperaturas (°C) mínimas, médias e máximas em eventos de friagem para o Pantanal no período de 1981-2023.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os resultados indicam que o maior impacto ocorre no segundo dia de friagem (t+1), quando a Tmax sofre uma queda média de 6,5°C, enquanto a Tmin registra uma redução de 4,5°C. No primeiro dia do evento (t), as três variáveis apresentaram quedas uniformes, em torno de 4°C. Nos dias seguintes (t+2 a t+4), a Tmax continua em queda, atingindo 5,6°C no segundo dia (t+2) e 5,1°C no terceiro dia (t+3), enquanto a Tmin apresenta uma redução menos intensa. No quarto dia (t+4), a Tmax inicia sua recuperação, enquanto a Tmin permanece abaixo dos valores pré-friagem, evidenciando um efeito prolongado sobre as temperaturas mínimas.

Esse comportamento indica que as friagens impactam inicialmente com maior intensidade as temperaturas máximas, enquanto as mínimas apresentam um resfriamento mais persistente ao longo dos dias.

Entre 1981 e 2000, as friagens foram mais intensas, caracterizadas por quedas bruscas na Tmax e Tmin, além de uma recuperação térmica mais lenta nos dias subsequentes. A partir de 2001, observou-se um enfraquecimento do fenômeno, com reduções menos expressivas na Tmax e uma recuperação mais rápida das temperaturas. No período mais recente (2011-2023), essa tendência se acentuou, com a Tmax retornando rapidamente a níveis pré-friagem, enquanto a Tmin ainda apresenta um resfriamento prolongado.

Antes da passagem das frentes frias, é comum observar-se a ocorrência de aquecimento pré-frontal, caracterizado pelo aumento de temperatura e umidade na massa de ar antecedente, intensificando a instabilidade atmosférica. Seluchi *et al.,* (2017) identificaram esse comportamento ao analisarem eventos de frentes frias intensas no Vale do Itajaí, destacando que, nas 24 horas anteriores à passagem frontal, houve intensificação das anomalias positivas de espessura 500/1000 hPa, associadas à advecção quente e subsidência pré-frontal. As anomalias de temperatura e umidade atingiram valores máximos na região, favorecendo o desenvolvimento de instabilidade termodinâmica e contribuindo para a ocorrência de precipitação significativa antes da chegada da frente fria. Esses processos são compatíveis com os mecanismos observados também nas friagens da região Centro-Oeste.

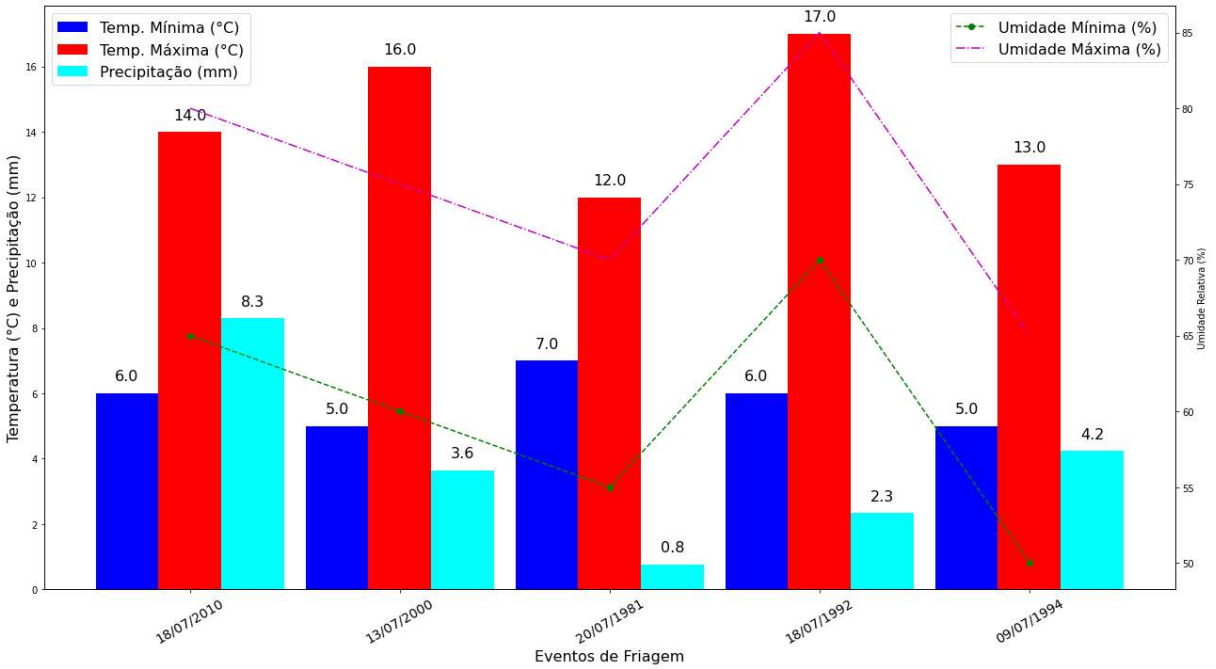
4.4 Friagens Extremas e Impactos

4.4.1 Anomalias Climáticas

Os episódios de friagem analisados apresentaram resfriamento expressivo, com anomalias térmicas significativas ao longo do período. Esses eventos representaram uma redução de 11,5°C na temperatura máxima e 11,1°C na mínima em relação às médias mensais. Os eventos mais severos registraram quedas expressivas de temperatura, como em 18 de julho de 2010 (mínima de 7,2°C) e 13 de julho de 2000 (7,6°C). Em 20 de julho de 1981, a máxima não ultrapassou 12°C, com mínima de 8,6°C. Já as friagens de 26 de junho e 10 de julho de 1994 apresentaram mínimas próximas a 8,5°C, enquanto as máximas permaneceram

abaixo de 13,2°C (Figura 6). Algumas dessas anomalias chegaram a -14,3°C em relação à média climatológica de 23,2°C, evidenciando a severidade dos eventos.

Figura 6 - Temperaturas, Umidade e Precipitação nos Eventos Extremos de Friagem no Pantanal.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise da precipitação nos eventos de friagem no Pantanal revelou padrões distintos, variando entre acumulados expressivos antes do resfriamento e períodos de baixa precipitação durante a friagem propriamente dita. Além disso, a umidade relativa do ar apresentou variações significativas, influenciadas tanto pela precipitação quanto pelas condições atmosféricas associadas às massas de ar frio.

O evento de friagem ocorrido em 18/07/2010, iniciado em 13/07, teve duração de 8 dias e registrou um volume total de 8,3 mm de precipitação, distribuído de forma esparsa ao longo do período. O maior acumulado ocorreu no terceiro dia do evento, atingindo quase 3 mm. Nesse evento, a umidade relativa mínima caiu para 55%, indicando condições mais secas, enquanto a umidade máxima permaneceu acima de 80%. Esse padrão sugere que, apesar da precipitação moderada, a incursão da massa de ar frio contribuiu para uma redução significativa na umidade mínima.

O evento de 13/07/2000, que teve início em 11/07 e durou 11 dias, apresentou 3,6 mm de precipitação durante o período de friagem, com um volume significativo de 6 mm no

dia anterior. Após os dois primeiros dias do evento, a precipitação se manteve abaixo de 1 mm/dia, refletindo a estabilização da massa de ar seco. A umidade relativa mínima atingiu 60%, enquanto a umidade máxima permaneceu elevada, próxima de 80%. Além disso, um novo evento de friagem foi registrado em 23/07, quando as temperaturas voltaram a cair, e no primeiro dia desse evento a precipitação atingiu 10,67 mm, evidenciando uma relação entre o avanço das frentes frias e a instabilidade atmosférica associada.

No evento de 20/07/1981, que começou em 17/07 e teve duração de 10 dias, a precipitação foi insignificante, totalizando apenas 0,7 mm, o que representa uma fração reduzida da já baixa precipitação mensal registrada em julho (3,6 mm), distribuída entre o primeiro e o terceiro dia de friagem. A umidade relativa mínima caiu para valores abaixo de 50%, enquanto a umidade máxima permaneceu elevada, próxima de 85%, reforçando o caráter seco dessa incursão de ar frio.

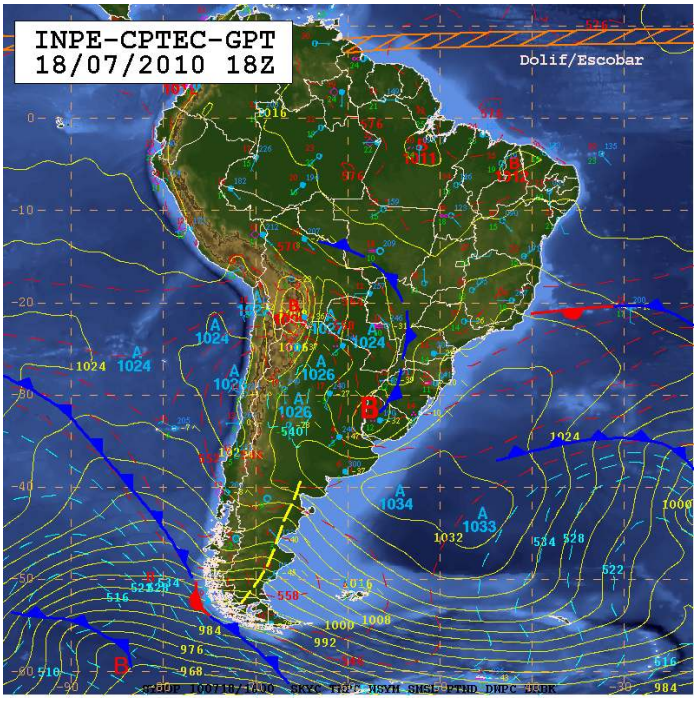
Já o evento de 18/07/1992, iniciado em 15/07, com 11 dias de duração, registrou 2,2 mm de precipitação, concentrada entre o primeiro e o quarto dia do evento. A precipitação mensal foi de 17 mm, sendo que 82% desse total foi associado a uma intensa friagem anterior, ocorrida em 06/07/1992, quando o volume acumulado no dia anterior e no primeiro dia do evento atingiu 13,93 mm. Esse padrão evidencia a relação entre os eventos de friagem sucessivos e o impacto da umidade na sua intensidade. Durante esse período, a umidade mínima manteve-se em valores elevados inicialmente, mas apresentou queda nos dias seguintes, acompanhando o resfriamento progressivo.

Por fim, o evento de 09/07/1994, iniciado em 03/07, com 10 dias de duração, apresentou um acumulado de 4,2 mm durante a friagem. No entanto, nos dois dias que antecederam o evento, o volume de precipitação foi de 11,6 mm, correspondendo a 29% da precipitação mensal, que totalizou 39,3 mm. O volume registrado durante o evento ocorreu de forma esparsa, sendo que 88% da precipitação se concentrou nos dias 07/07 e 08/07. A umidade relativa mínima caiu abaixo de 50% durante a friagem, enquanto a umidade máxima manteve-se próxima de 85%, evidenciando um padrão de diminuição da umidade conforme a massa de ar frio se estabelecia sobre a região.

4.4.2 Impactos Regionais, Setoriais e em Escala Continental

Os eventos de friagem analisados afetaram significativamente a Região Centro-Oeste, principalmente o Mato Grosso do Sul. De acordo com a interpretação elaborada pela meteorologista Caroline Vidal, baseada na análise sinótica do Boletim Técnico do INPE (Figura 7), durante a friagem de 18/07/2010, a configuração atmosférica foi marcada pela atuação de um cavado sobre o Sul do Brasil, Mato Grosso do Sul, Paraguai e norte da Argentina, favorecendo instabilidades. Esse cavado originou uma onda frontal, que avançou pelo continente até o sul da Amazônia, intensificada pela presença de um Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN). À medida que a frente fria se deslocava gradativamente para leste, ela influenciou o tempo no Sul de Mato Grosso do Sul, sul de Mato Grosso e partes do Sudeste. A frente fria manteve sua influência até o dia 24/07, provocando chuvas intensas no Sul e ao longo da faixa litorânea das regiões Sul e Sudeste.

Figura 7 -Temperaturas Mínima e Máximas nos Eventos Extremos de Friagem no Pantanal.



Fonte: Análise sinótica do Boletim Técnico do CPTEC/INPE, disponível em: CPTEC/INPE - Boletim Técnico 18/07/2010.

A Sociedade Brasileira de Meteorologia (SBMET, 2010) relatou que essa onda de frio teve impactos severos na Região Centro-Oeste, especialmente em Cuiabá (MT), onde os termômetros registraram uma redução de 20°C, caracterizando o dia mais frio em 35 anos. O

frio extremo resultou na morte de moradores de rua por hipotermia e na perda de aproximadamente 2.900 cabeças de gado, gerando prejuízo estimado em R$ 3 milhões para pecuaristas da região. Municípios como Caarapó, Ponta Porã e Antônio João foram severamente impactados, com registros de morte de animais devido à exposição prolongada ao frio. Além disso, em Campo Grande (MS), a formação de um forte nevoeiro afetou o transporte aéreo, resultando em cancelamento de voos e transtornos logísticos.

Em uma escala geográfica mais ampla, segundo o UOL Notícias, a onda de frio de julho de 2010 deixou pelo menos 80 mortos em cinco países, sendo as principais vítimas moradores de rua, idosos e bebês. Muitas mortes ocorreram por hipotermia, enquanto outras foram causadas por intoxicação por gases devido ao uso inadequado de sistemas de calefação.

Além dos impactos humanos, essa friagem levou o Chile a declarar emergência agrícola e provocou o cancelamento de dezenas de voos na Argentina, evidenciando a relevância continental desses eventos climáticos extremos.

A friagem ocorrida entre os dias 12 e 19 de junho de 2023 se destacou pela intensidade e abrangência dos seus efeitos, especialmente sobre o setor agropecuário da região Centro-Oeste do Brasil. Nos dias 13 e 14 de junho, a temperatura mínima chegou a aproximadamente 9,3 °C, contrastando com a média mínima mensal de 20,1 °C. Reportagens veiculadas à época destacaram a morte de mais de mil bovinos em propriedades rurais do estado de Mato Grosso do Sul, em decorrência das baixas temperaturas provocadas pela entrada de uma massa de ar polar na região. Estima-se que os prejuízos ultrapassaram R$ 3 milhões, afetando diretamente a economia local e evidenciando a vulnerabilidade do setor produtivo a eventos extremos de origem climática (COMPRERURAL, 2023).

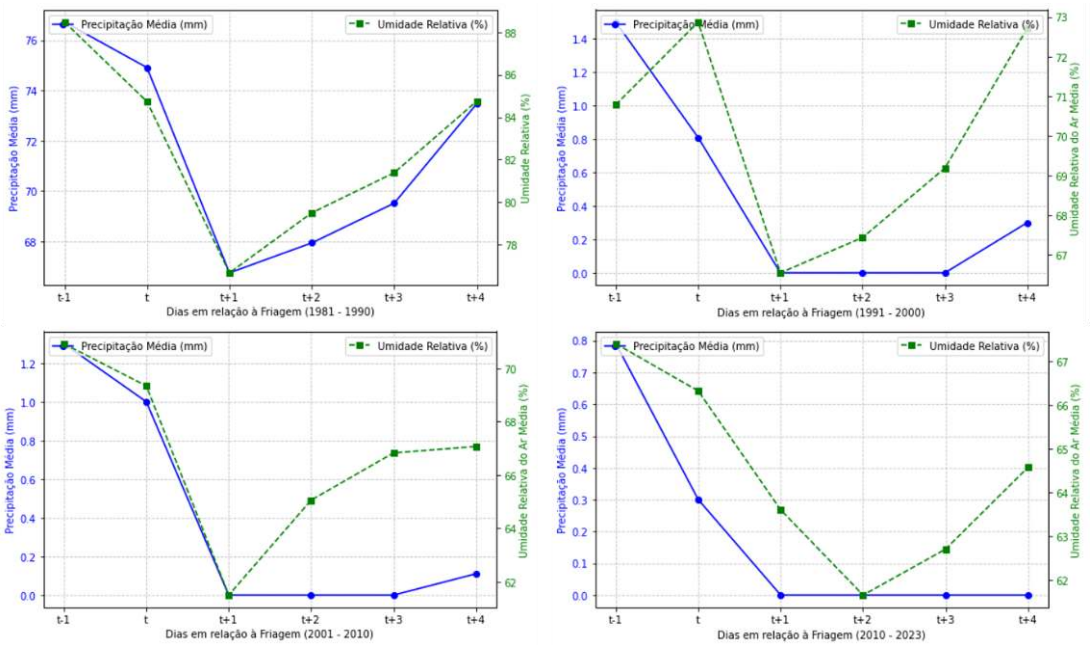
Além disso, eventos de friagem podem representar riscos diretos à saúde, como observado em diversas regiões do Brasil. Segundo Moraes *et al.,* (2022), quedas bruscas de temperatura estão associadas ao aumento da mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias. O frio extremo pode desencadear respostas fisiológicas adversas, como elevação da pressão arterial e broncoconstrição, aumentando o risco de eventos cardiovasculares. Estudos indicam que mulheres são mais vulneráveis a doenças isquêmicas do coração, enquanto homens apresentam maior risco de mortalidade por AVC isquêmico. Esses achados ressaltam a necessidade de estratégias de saúde pública para mitigar os

impactos do frio, especialmente em regiões menos adaptadas a variações bruscas de temperatura.

4.5 Precipitação e Umidade em Eventos de Friagem

A análise da evolução diária da precipitação média durante eventos de friagem nos períodos de 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 e 2011-2023 revela mudanças significativas no comportamento das chuvas associadas a essas ocorrências (Figura 8).

Figura 8 - Precipitação e Umidade Relativa do Ar Média (1981-1990) Durante Eventos de Friagem.



Fonte: Elaborados pelos autores (2025).

A análise da precipitação média durante eventos de friagem no Pantanal evidencia uma tendência de redução progressiva ao longo das últimas quatro décadas. No primeiro período analisado (1981-1990), a precipitação atingiu valores mais elevados, ultrapassando 70 mm antes do início do evento (t-1). No entanto, houve uma queda acentuada já no primeiro dia da friagem (t) e nos dias subsequentes (t+1 e t+2), com uma leve recuperação observada a partir de t+3 e t+4. Durante esse período, a umidade relativa manteve valores elevados, com mínimas superiores a 76% e máximas acima de 88%, o que pode ter favorecido a ocorrência de precipitação associada à entrada das massas de ar frio.

Nos períodos seguintes, observa-se uma redução significativa da precipitação durante as friagens. Entre 1991-2000, os volumes foram consideravelmente menores, com um máximo inferior a 15 mm em t-1 e valores praticamente insignificantes nos dias subsequentes. A umidade relativa acompanhou essa redução na precipitação, com mínimas atingindo aproximadamente 72% e uma maior amplitude entre os valores mínimos e máximos. Esse comportamento sugere que, além da redução da precipitação, a umidade disponível para formação de chuvas durante os eventos frios também se tornou mais limitada.

Essa tendência tornou-se ainda mais evidente entre 2001-2010, quando os volumes de precipitação caíram drasticamente para menos de 2 mm logo no início da friagem, mantendo-se baixos nos dias subsequentes (t+1 a t+4). A umidade relativa mínima, nesse período, apresentou valores médios inferiores a 70%, indicando um ambiente progressivamente mais seco. Já no período mais recente (2011-2023), a redução da precipitação foi ainda mais acentuada, com valores iniciais abaixo de 1 mm no dia anterior a friagem (t-1) e praticamente nenhuma precipitação nos dias seguintes.

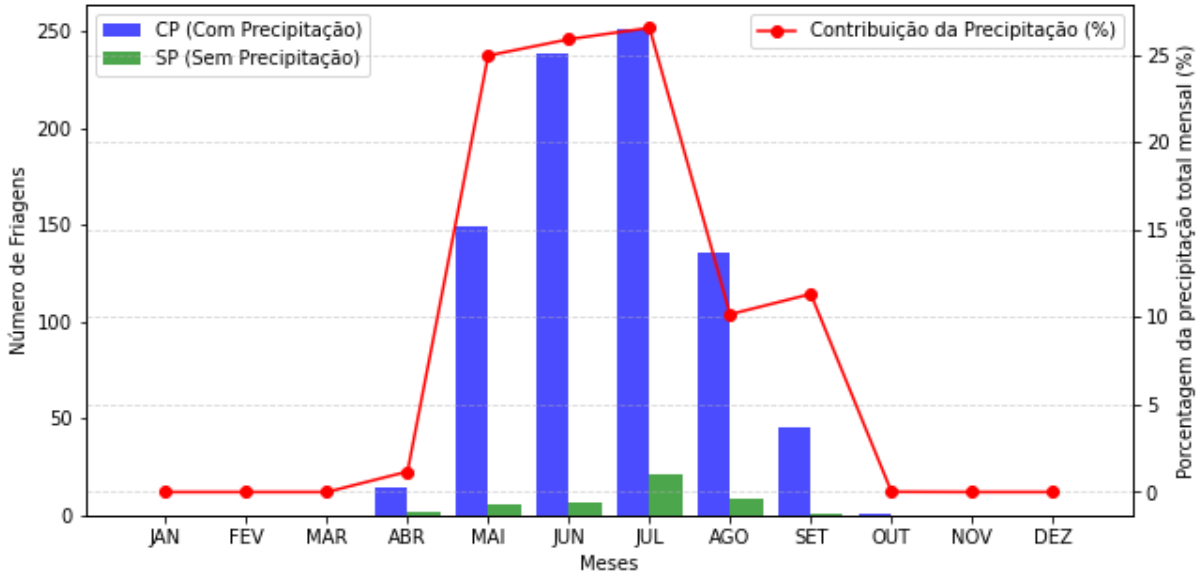
As tendências climáticas recentes no Pantanal indicam um declínio constante da umidade relativa ao longo das últimas quatro décadas, associado ao aumento das temperaturas e à intensificação das condições climáticas favoráveis a incêndios. A redução da umidade é particularmente relevante durante as friagens, uma vez que níveis mais baixos de umidade podem acentuar o desconforto térmico e afetar significativamente os ecossistemas locais. Estudos indicam que a combinação da diminuição da precipitação e da umidade relativa contribui para a intensificação de eventos climáticos extremos, incluindo períodos de seca prolongada (Silva *et al.*, 2024). A convergência desses fatores sugere que as flutuações na umidade podem impactar não apenas a frequência e a severidade das friagens, mas também seus efeitos ambientais, influenciando a dinâmica do fogo, a resiliência da vegetação e os ciclos hidrológicos locais.

4.5.1 Ocorrência de Chuvas Durante Eventos de Friagem

A análise da distribuição mensal das friagens com e sem precipitação (1981-2023) revela variações significativas na contribuição dessas ocorrências para o regime de chuvas no Pantanal. O período entre abril e setembro, característico da estação seca, concentra a maior

parte dos eventos de friagem, com destaque para junho e julho, quando o número de ocorrências atinge seu pico máximo (Figura 9).

Figura 9 - Distribuição Mensal das Friagens com e sem Precipitação no Pantanal (1981-2023).



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Nos primeiros períodos analisados (1981-1990 e 1991-2000), abril e maio apresentaram valores de precipitação mais elevados durante as friagens, com médias de 3,94 mm e 2,09 mm (1981-1990) e 4,39 mm e 2,28 mm (2001-2010), respectivamente. No entanto, nos períodos mais recentes (2011-2023), esses valores caíram drasticamente, com abril registrando apenas 0,19 mm e maio 0,57 mm, sugerindo uma diminuição na associação entre friagens e precipitação nesse intervalo.

Já junho e julho, apesar de historicamente apresentarem menor precipitação média, mantiveram um padrão relativamente estável ao longo das décadas. Por outro lado, setembro demonstrou grande variabilidade, com um pico expressivo de precipitação entre 1991 e 2000 (4,74 mm), contrastando com valores significativamente menores em outras décadas.

4.5.2 Distribuição Sazonal da Precipitação e Friagens

A contribuição das friagens na precipitação mensal total do Pantanal apresenta um padrão sazonal bem definido, com influência reduzida nos meses mais chuvosos e maior

participação no inverno austral. Entre março e outubro a dezembro, a influência das friagens na precipitação foi inferior a 10%, indicando que outros sistemas meteorológicos dominam o regime de chuvas nesses meses.

Nos meses centrais do inverno (junho e julho), a precipitação vinculada às friagens representou cerca de um quarto do total mensal, atingindo 25,87% e 26,53%, respectivamente. Já maio apresentou uma participação significativa, com cerca de 25% da precipitação total associada às friagens.

Os meses de agosto e setembro também apresentaram uma contribuição relevante, embora mais moderada, sugerindo que as frentes frias ainda influenciam a precipitação no final da estação seca, mas com menor impacto.

Esses resultados reforçam o papel das frentes frias como um dos principais mecanismos de precipitação no Pantanal durante a estação seca, especialmente nos meses centrais do inverno, quando a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e sistemas convectivos locais é reduzida. A redução progressiva da precipitação associada às friagens nas últimas décadas pode indicar modificações na circulação atmosférica regional, reduzindo a incursão de massas de ar úmido e tornando a friagem cada vez mais seca.

4.5.3 Validação dos Resultados e Comparação com a Literatura

Os achados deste estudo estão em forte concordância com os resultados de Marengo *et al.,* (1997), que analisaram os impactos das friagens na Bacia Amazônica. Eventos extremos como os de 26 de junho e 10 de julho de 1994, destacados por esses autores, também se sobressaem na análise deste trabalho, com temperaturas mínimas de 8,8°C e 8,5°C, respectivamente, e desvios de até 14,3°C abaixo da média mensal.

A comparação com os dados de Marengo *et al.,* (1997) revelou uma correspondência geral nas datas das friagens entre 1983 e 1996, com pequenas discrepâncias metodológicas. De maneira similar, os registros de Marengo *et al.,* (2023) sobre o inverno de 2021, que identificaram ondas de frio severas em junho e julho, foram corroborados neste trabalho na análise do Pantanal. No evento que ocorreu de 28 de junho a 2 de julho de 2021, por exemplo, a temperatura mínima apresentou uma anomalia de -13,13°C, indicando um impacto significativo das massas de ar frio na região.

Além disso, estudos como Pinto *et al.,* (2018) e Santos e Pinto (2020) analisaram a frequência das friagens no Pantanal entre 2007 e 2014, identificando padrões semelhantes, mas com algumas diferenças devido a critérios metodológicos distintos. Enquanto Garreaud (2000) registrou uma média de 8 eventos por estação na Amazônia entre 1979 e 1995, este estudo encontrou 202 eventos de friagem no Pantanal em 42 anos, resultando em uma média de 5 eventos por ano.

As diferenças observadas entre os estudos reforçam a importância da padronização dos critérios para a definição de friagens. Neste trabalho, adotou-se o critério de Marengo *et al.,* (2023), que considera eventos de friagem aqueles em que as temperaturas mínimas e máximas permanecem abaixo do percentil 10 por pelo menos três dias consecutivos. Essa abordagem difere da utilizada por Santos e Pinto (2020), que encerravam os eventos após dois dias consecutivos sem desvios térmicos negativos.

Por fim, as incertezas nas projeções climáticas, especialmente em escala regional, ainda representam um desafio, pois modelos têm maior precisão para temperatura do que para precipitação. Técnicas como o Reliability Ensemble Averaging (REA) podem ajudar a reduzir essas incertezas, ponderando simulações conforme sua capacidade de representar as condições climáticas observadas (Santos *et al*., 2015).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo quantificou e analisou os eventos de friagem no Pantanal entre 1981 e 2023, utilizando dados de reanálise do ERA5. Foram identificados 202 episódios de friagem, resultando em uma média de 5 eventos por ano, com maior frequência entre abril e setembro. A análise revelou que a temperatura máxima é a variável mais afetada por esses eventos, apresentando um declínio mais acentuado no primeiro dia de friagem e uma recuperação gradual a partir do terceiro dia. Além disso, verificou-se que a precipitação está frequentemente associada à chegada da frente fria, mas sua ocorrência tende a diminuir nos dias subsequentes à consolidação da massa de ar frio.

Este estudo destaca a importância das friagens para o clima do Pantanal, especialmente sua influência na disponibilidade hídrica e nos ecossistemas. Nos meses de inverno (junho a agosto), esses eventos respondem por cerca de 25% da precipitação.

Entretanto, observa-se uma tendência recente de redução das chuvas associadas às friagens, possivelmente devido a mudanças na circulação atmosférica.

Além da relação entre friagens e precipitação, a análise da umidade relativa mostrou que a incursão das massas de ar frio frequentemente resulta em períodos de tempo seco, com redução da umidade mínima, especialmente em friagens mais intensas. Essa queda na umidade pode amplificar o desconforto térmico e impactar a saúde humana, a pecuária e os ecossistemas locais. Estudos futuros podem aprofundar essa relação, investigando os efeitos das friagens sobre variáveis ambientais, como a ocorrência de queimadas e mudanças na evapotranspiração da vegetação.

Diante desses resultados, recomenda-se um aprofundamento na análise da circulação atmosférica associada às friagens, a fim de compreender melhor os padrões de deslocamento das massas de ar frio e suas variações interanuais. Além disso, a inclusão de dados de projeções climáticas poderia auxiliar na avaliação de possíveis mudanças na frequência e intensidade das friagens no futuro, contribuindo para a formulação de estratégias de mitigação de impactos sobre as atividades econômicas e ambientais no Pantanal.

Por fim, este estudo destaca a importância do monitoramento contínuo dos eventos de friagem e da melhoria na previsão meteorológica desses fenômenos, permitindo um planejamento mais eficaz para setores vulneráveis, como a agricultura e a saúde pública. A compreensão aprofundada da dinâmica das friagens pode contribuir significativamente para a gestão sustentável dos recursos naturais e para a adaptação às mudanças climáticas na região do Pantanal.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado da primeira autora (Processo nº 140191/2023-2), bem como ao CNPq e à FAPEMIG pela bolsa de produtividade do Professor Dr. Gabriel Pereira (Processos nº 304973/2017-3 e APQ-01056-21). O Professor Dr. Emerson Galvani agradece à bolsa de pesquisa e produtividade do CNPq (Processo nº 304973/2017-3).

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507. Acesso em: 12 nov. 2024.

ASSINE, M. L.; MERINO, E. R.; PUPIM, F. N.; WARREN, L. V.; GUERREIRO, R. L.; MCGLUE, M. M. Geology and geomorphology of the pantanal basin. **Handbook of Environmental Chemistry**, v. 37, n. June 2018, p. 23–50, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/698_2015_349. Acesso em: 10 nov. 2024.

BERGIER, I. et al. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of The Total Environment**, v. 619–620, p. 1116–1125, 2018. ISSN 0048-9697. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.163. Acesso em: 31 mar. 2025.

BOUCEK, R. E.; GAISER, E. E.; LIU, H.; REHAGE, J. S. A review of subtropical community resistance and resilience to extreme cold spells**. Ecosphere**, v. 7, n. 10, p. 1–10, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1002/ecs2.1455. Acesso em: 31 out. 2024.

BRAGA, A.; LAURINI, M. Spatial heterogeneity in climate change effects across Brazilian biomes. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 1–17, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-024-67244-x. Acesso em: 17 nov. 2024.

CAVALCANTI, I.F.A.; KOUSKY, V.E. **Frentes frias sobre o Brasil**. Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos, 2009.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **Boletim Técnico**, 18 jul. 2010. Disponível em: https://dataserver.cptec.inpe.br/dataserver_diptc/web/boletim_tecnico/2010/07/BolTecnico_2010071800Z.pdf. Acesso em: 25 jan. 2025.

COMPRERURAL. Mais de mil bovinos morrem de frio; prejuízo estimado é de R$ 3 milhões. **Compre Rural**, 20 jul. 2023. Disponível em: https://www.comprerural.com/mais-de-mil-bovinos-morrem-de-frio-prejuizo-estimado-e-de-r-3-milhoes-video/. Acesso em: 28 mar. 2025.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S) (2022): ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present. **Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**. Disponível em: https://doi.org./10.24381/cds.68d2bb30. Acesso em 15 de jan. 2025.

FERREIRA, A. B. de B. Pantanal Mato-Grossense: considerações sobre a proteção constitucional para um desenvolvimento econômico sustentável. **Interações** (Campo Grande), v. 14, n. 1, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1518-70122013000100002. Acesso em: 25 nov. 2024.

GIRARD, P.; VARGAS, I. A. de. Turismo, desenvolvimento e saberes no Pantanal: diálogos e parcerias possíveis. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 18, n. 2, 2008. Disponível em:

https://doi.org/10.5380/dma.v18i0.13424. Acesso em: 18 nov. 2024

HAMILTON, M. G.; TARIFA, J. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, July 1972. **Monthly Weather Review**, v. 106, n. 11, 1978. Disponível em: https://doi.org/10.1175/1520-0493(1978)106<1545:SAOAPO>2.0.CO;2. Acesso em: 17 nov. 2024

HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, n. 730, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1002/qj.3803. Acesso em: 20 nov. 2024.

KEDDY, P. A. et al. Wet and wonderful: the world's largest wetlands are conservation priorities. **BioScience**, v. 59, n. 1, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.1.8. Acesso em: 20 nov. 2024.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CULF, A. D. Climatic impacts of "friagens" in forested and deforested areas of the Amazon basin. **Journal of Applied Meteorology**, v. 36, n. 11, p. 1553–1566, 1997. Disponível em https://doi.org/10.1175/1520-0450(1997)036<1553:CIOFIF>2.0.CO;2. Acesso em: 20 jan. 2025.

MARENGO, J.; ESPINOZA, J. C.; BETTOLLI, L.; CUNHA, A. P.; MOLINA-CARPIO, J.; SKANSI, M.; CORREA, K.; RAMOS, A. M.; SALINAS, R.; SIERRA, J. P. A cold wave of winter 2021 in central South America: characteristics and impacts. **Climate Dynamics**, v. 61, n. 5–6, p. 2599–2621, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00382-023-06701-1. Acesso em: 22 jan. 2025.

UOL NOTÍCIAS. Onda de frio causa pelo menos 80 mortes na América do Sul. *UOL Notícias*, São Paulo, 19 jul. 2010. Disponível em: https://noticias.uol.com.br/internacional/ultimas-noticias/2010/07/19/onda-de-frio-causa-pelo-menos-80-mortes-na-america-do-sul.htm?cmpid=copiaecola. Acesso em: 19 abr. 2025.

PAMPUCH, Luana Albertani; AMBRIZZI, Tércio. Sistemas Frontais sobre a América do Sul Parte I: Climatologia e intervalo de passagem em dados da Reanálise I do NCEP/NCAR. In: IX WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA**,** 11 a 13 nov. 2015, Santa Maria-RS, Brasil. **Anais[...].** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2015. Disponível em: https://www.grec.iag.usp.br/data/arquivos_download/Pampuch_Ambrizzi_1_nova.pdf. Acesso em: 25 nov. 2024.

PINTO, L. B.; FERNANDES, B. M.; SANTOS, M. J. M. dos; CAMPOS, C. R. J. de. Eventos de Friagem na Região do Pantanal**, Brasil Anuário do Instituto de Geociências** (UFRJ. IMPRESSO) v. 41 - 2, p. 223 -232,2018. Disponível em: https://doi.org/10.11137/2018_2_223_232. Acesso em: 18 out. 2024.

PLINK-BJÖRKLUND, P. Morphodynamics of rivers strongly affected by monsoon precipitation: Review of depositional style and forcing factors. **Sedimentary Geology**, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.04.004.. Acesso em: 18 jan. 2025.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010. Disponível em: https://doi.org/ 10.1590/S0102-77862010000200004. Acesso em: 18

dez. 2024.

SELUCHI, M.; BEU, C.; ANDRADE, K. M. Características das frentes frias causadoras de chuvas intensas no leste de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, p. 25–37, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0102-778632120150095. Acesso em: 18 mar. 2025.

SILVA, P. S.; RODRIGUES, J. A.; NOGUEIRA, J.; MOURA, L. C.; ENOUT, A.; CUIABÁLIA, C.; DACAMARA, C. C.; PEREIRA, A. A.; LIBONATI, R. Joining forces to fight wildfires: Science and management in a protected area of Pantanal, Brazil. **Environmental Science and Policy**, v. 159, n. November 2023, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103818. Acesso em: 18 mar. 2025.

SERRA, A.; RATISBONNA, L. As massas de ar na América do Sul (Segunda Parte). **Revista Geográfica**, Rio de Janeiro, n.52, p. 41-61, 1960. Disponível em: https:// https://www.jstor.org/stable/40996564. Acesso em: 17 nov. 2025.

KENDŽIĆ, S. et al. The impact of climate change on agricultural insect pests. **Insects**, v. 12, n. 5, p. 440, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/insects12050440. Acesso em: 10 nov. 2024.

WÜST, C.; TAGLIANI, N.; CONCATO, A. C. A pecuária e sua influência impactante ao meio ambiente. **VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**, p. 1–5, 2015. Disponível em: http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/V-025.pdf. Acesso em: 05 nov. 2024.