

# Zoneamento bioclimático do Pantanal

## Bioclimatic Zoning of the Pantanal

João Batista Ferreira Neto\*, Gabriel Pereira\*\*, Rosa Helena da Silva\*\*\*, Maxwell da Rosa Oliveira\*\*\*\*, Geraldo Alves Damasceno Júnior\*\*\*\*\*

\*Departamento de Geografia Física, Universidade de São Paulo (USP), joao.geo@usp.br

\*\*Departamento de Geografia, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), pereira@ufsj.edu.br

\*\*\*Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), rosa.helena@ufms.br

\*\*\*\*Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), max.oliveira2102@gmail.com

\*\*\*\*\*Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), geraldomasceno@gmail.com

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v61i1.96550>

### Resumo

A percepção térmica humana, ou conforto térmico, é uma variável crítica que influencia diretamente a saúde, a produtividade e o bem-estar das populações. No entanto, estudos específicos sobre o conforto térmico no Pantanal e suas sub-regiões são escassos. Este estudo analisa a distribuição das classes de conforto térmico no Pantanal e suas sub-regiões utilizando o Índice Universal de Clima Térmico (UTCI), no período de 1979 a 2023. O objetivo principal foi avaliar o desconforto térmico na região, identificando as classes de conforto e examinando a influência dos eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre esse índice. A análise, baseada em dados climáticos de reanálises e técnicas estatísticas, mapeou as áreas mais suscetíveis ao estresse térmico. As regiões centrais e sul do Pantanal, como Porto Murtinho, destacaram-se como as mais desconfortáveis devido ao calor, enquanto sub-regiões ao norte, como Cáceres e Poconé, apresentaram menores níveis de estresse térmico. Além disso, observou-se que os meses de outubro e novembro apresentam os maiores valores de UTCI, indicando desconforto térmico extremo para o calor durante a primavera. O verão foi identificado como a estação mais desconfortável para o calor, enquanto o inverno apresentou desconforto moderado para o calor. A investigação dos eventos ENOS revelou uma tendência de maior desconforto térmico durante os anos de La Niña. Conclui-se que há um aumento progressivo do desconforto térmico por calor na região do Pantanal, com uma tendência particularmente acentuada na primavera.

### Palavras-chave:

Bioclimatologia, Zoneamento climático, ERA5-Heat, Biomass.

### Abstract

Human thermal perception, or thermal comfort, is a critical variable that directly influences the health, productivity, and well-being of populations. However, specific studies on thermal comfort in the Pantanal and its sub-regions are scarce. This study analyzes the distribution of thermal comfort classes in the Pantanal and its sub-regions using the Universal Thermal Climate Index (UTCI) for the period from 1979 to 2023. The main objective was to assess thermal discomfort in the region,

identifying comfort classes and examining the influence of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) events on this index. The analysis, based on reanalysis climatic data and statistical techniques, mapped the areas most susceptible to thermal stress. The central and southern regions of the Pantanal, such as Porto Murinho, stood out as the most uncomfortable due to heat, while sub-regions in the north, such as Cáceres and Poconé, showed lower levels of thermal stress. Additionally, it was observed that the months of October and November present the highest UTCI values, indicating extreme thermal discomfort due to heat during the spring. Summer was identified as the most uncomfortable season for heat, while winter showed moderate heat discomfort. The investigation of ENSO events revealed a tendency for greater thermal discomfort during La Niña years. It is concluded that there is a progressive increase in heat-related thermal discomfort in the Pantanal region, with a particularly pronounced trend in the spring.

**Keywords:**

Bioclimatology, Climate zoning, ERA5-Heat, Biomes.

## I. INTRODUÇÃO

A bioclimatologia é a ciência que investiga as interações entre o clima e os organismos vivos (FANGER, 1970). Estabelecida formalmente na década de 1930, esta área do conhecimento busca entender como as condições climáticas influenciam a saúde, o comportamento e o conforto ou sensação térmica de um indivíduo.

Conforto térmico refere-se à condição em que uma pessoa está satisfeita com o ambiente térmico ao seu redor. É um estado de bem-estar no qual a pessoa não sente nem frio nem calor excessivo (SOUZA, 2019). Este conceito é objetivo e pode ser quantificado através de parâmetros ambientais como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação térmica. Segundo Fanger (1970), o conforto térmico pode ser definido como "a condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico".

Sensação térmica, por outro lado, é uma percepção subjetiva de cada indivíduo em relação ao ambiente térmico. Essa percepção pode variar significativamente entre diferentes pessoas, independente das condições ambientais (SOUZA, 2019). A sensação térmica é influenciada por fatores fisiológicos, como metabolismo, vestuário, idade e sexo, e por fatores psicológicos, como humor e expectativas pessoais (PARSONS, 2003). Por exemplo, duas pessoas podem sentir sensações térmicas diferentes na mesma sala, dependendo de como estão vestidas, do que estavam fazendo anteriormente, de suas preferências pessoais e de origens culturais.

Ao longo dos anos, diversos índices foram desenvolvidos para medir o conforto térmico e a sensação térmica. Inicialmente criados para fins militares, esses índices evoluíram para aplicações em planejamento urbano e ambiental. Entre esses, o Universal Thermal Climate Index (UTCI) é considerado o padrão internacional. Desenvolvido pela Sociedade Internacional de Bioclimatologia e apresentado em 2009, o UTCI é um índice multivariado que combina variáveis climáticas com características fisiológicas e de vestuário, proporcionando

uma medida universal de conforto e sensação térmica (JENDRITZKY et al., 2012). O UTCI tem sido amplamente utilizado em estudos de conforto térmico em diversas regiões e climas ao redor do mundo. No Brasil, esse índice foi calibrado, testado e aplicado por Bröde et al. (2013), Hirashima et al. (2017) e Krüger et al. (2020), que concluíram ser um índice adequado para o país devido à sua sensibilidade à velocidade do ar, radiação e umidade relativa, tanto em situações de calor quanto de frio.

O Pantanal, uma das maiores áreas úmidas contínuas do mundo, está localizado no Centro-Oeste do Brasil e é conhecido por sua rica biodiversidade e condições climáticas únicas. Com temperaturas elevadas e alta umidade em determinado período do ano, o Pantanal apresenta desafios específicos para o conforto térmico de seus habitantes. No entanto, assim como em todo o território brasileiro, no Pantanal também existe uma carência de estudos sobre conforto térmico e/ou sensação térmica humana. Em uma breve busca acadêmica, apenas o trabalho de CID et al. (2015) cumpre o papel de entender essa relação tempo-condição térmica, mas seu estudo está em examinar a relação entre a temperatura externa e a atividade diária com o hábito de um roedor (*Dasyprocta azarae*).

Os estudos relacionados a conforto e sensação térmica mais próximos do bioma Pantanal estão nas capitais dos estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (Bioma Cerrado). Em Campo Grande - MS, a pesquisa de Goulart *et al.* (2020) demonstra que a revitalização urbana apresentou melhorias no microclima urbano e no conforto térmico, destacando a importância de intervenções urbanas. Cuiabá - MT, uma das cidades mais quentes do Brasil, foi objeto de vários estudos focados no conforto térmico como os de Freitas e Grigorieva (2015), Silva et al. (2016), Martins, Pereira e Souza (2021), Silva et al. (2022), Justi et al. (2023). Apesar de grande valia, esses estudos estão focados na geometria da cidade e não na relação direta tempo/clima com o corpo humano. Neto (2024) em uma revisão sobre conforto e sensação térmica no Brasil ressalta a falta de estudos nessa temática no Brasil.

Portanto, o objetivo deste estudo é entender a distribuição espaço-temporal da sensação térmica no bioma Pantanal, com o intuito de proporcionar uma análise detalhada das condições térmicas e suas variações ao longo do tempo. Para isso, foi utilizado o índice UTCI, calculado para as últimas quatro décadas. A hipótese considerada é de que, no bioma, predomina o desconforto por calor.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

O bioma Pantanal, localizado nos estados de Mato Grosso (35%) e Mato Grosso do Sul (65%), cobre uma área de 140.000 km<sup>2</sup>, composta por 13 municípios; a região possui cerca de 400 mil habitantes (IBGE, 2022).

A combinação entre os ciclos de inundação, geomorfologia, clima e ecologia do fogo criou um bioma que pode ser dividido em onze sub-regiões, conforme a classificação de Silva e Abdon (1998) (Figura 1). As sub-regiões do Pantanal apresentam uma variedade de fitofisionomias que resultam em diferentes tipos de vegetação, abrangendo desde florestas aluviais e cerrados até áreas de campos inundáveis e savanas. Essa vegetação é adaptada às diversas condições ambientais, incluindo espécies monodominantes, espécies especialistas, espécies dependentes do fogo, bem como espécies sensíveis e não tolerantes (POTT; POTT, 2022; SANTOS et al., 2022).

---

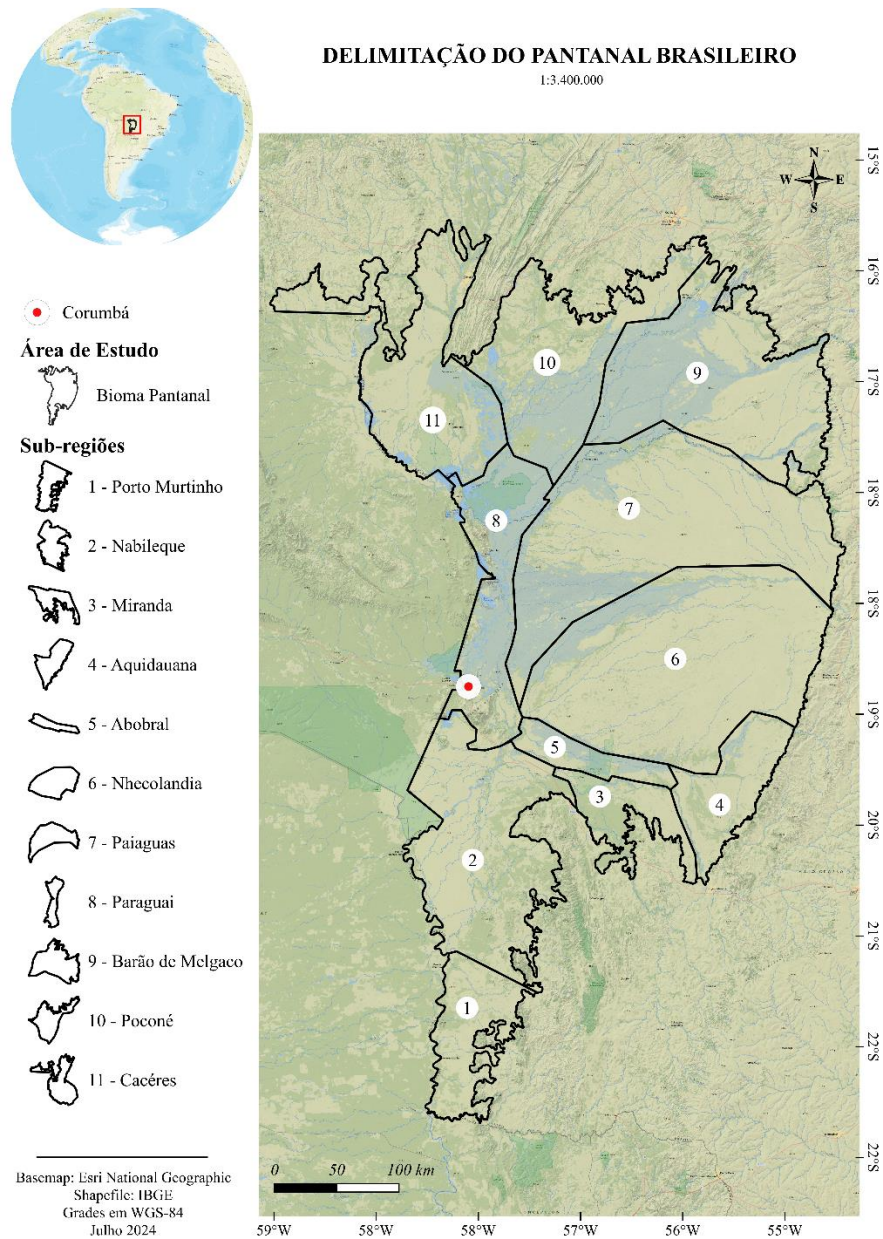


Figura 1 - Mapa com a localização da área de estudo. Nele temos Corumbá, considerada a capital do Bioma Pantanal, representada por um ponto vermelho. No canto superior esquerdo, um globo indica a posição do Pantanal dentro da América do Sul. Cada sub-região é identificada por uma forma específica e numerada. Fonte: Elaborado pelos autores.

### Cálculo do Índice Universal de Conforto Térmico (UTCI)

Os dados do Índice Universal de Conforto Térmico (UTCI) foram calculados seguindo as normas internacionais. Os dados climáticos foram obtidos a partir das reanálises do ERA5-Heat (Human Thermal Comfort), utilizando variáveis como temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do vento e umidade do ar, com uma resolução espacial de 0,25° x 0,25°. A escala temporal considerada neste estudo abrange o período de 1º de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 2023. A manipulação desses dados foi realizada

no software GrADS. Os dados fisiológicos utilizados no cálculo do UTCI foram baseados nos parâmetros recomendados pela International Society of Biometeorology (ISB). Esses valores são adotados por pesquisadores e profissionais que aplicam esse índice, permitindo uma comparação consistente dos resultados em diferentes contextos. Para o cálculo, considerou-se um adulto com área de superfície corporal de 1,85 m<sup>2</sup>, peso de 73,4 kg, teor de gordura de 14%, em posição reclinada. Os dados incluíram uma taxa metabólica basal de 87,1 W, taxa de evaporação basal da pele de 18 W, débito cardíaco de 4,9 L/min, fluxo sanguíneo cutâneo de 0,4 L/min, umectação da pele de 6% e resistência térmica da vestimenta de 0,5 clo.

As classes de estresse térmico foram referenciadas a partir do estudo de Zoneamento Bioclimático de Neto (2020), que já apresenta o índice calibrado a nível nacional (Tabela 1). Optou-se por essa literatura, pois, caso fosse utilizada a escala a nível internacional, a representação seria limitada a apenas uma classe.

Tabela 1 - Categorias de Stress Térmico para o Brasil.

Categorias	Limiares		Cores hsl
Extremo estresse para o frio	-	14,0	#30123B
Muito forte estresse para o frio	14,0	15,9	#455BCD
Forte estresse para o frio	16	17,7	#3E9CFE
Moderado estresse para o frio	17,8	19,5	#18D7CB
Sem estresse térmico	19,6	21,3	#ABFB38
Conforto térmico	21,4	23,1	#E6D839
Moderado estresse para o calor	23,2	24,9	#FEA331
Forte estresse para o calor	25	26,8	#EF5911
Muito forte estresse para o calor	26,9	28,6	#C22403
Extremo estresse para o calor	28,7	-	#7A0403

Neto (2020), adaptada pelos autores.

## Análise dos dados

As estações sazonais referidas correspondem ao hemisfério Sul, ou seja, ao verão, inverno, outono e primavera austral.

Inicialmente, foi verificada a distribuição dos dados por meio do teste de D'Agostino, com o objetivo de determinar se os dados apresentavam uma distribuição normal, caracterizada pela curva de sino de Gauss. A normalidade da distribuição é uma premissa essencial para a aplicação de testes paramétricos. Adicionalmente, foram realizadas análises de densidade, utilizando gráficos de densidade (kdeplot) e gráficos de dispersão (scatter plot). O teste t foi empregado para verificar a significância das diferenças nos valores do UTCI entre as diferentes estações do ano, determinando se as médias dos valores de UTCI em cada estação diferem

significativamente entre si. Para a análise dos dados e a geração dos gráficos, foram utilizadas as bibliotecas pandas, numpy e matplotlib em Python, enquanto o QGIS foi empregado para a finalização dos mapas.

Adicionalmente, foi avaliada a relação entre os eventos do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e os valores do índice UTCI. Para tal, os dados relativos aos eventos ENOS, bem como a classificação da intensidade dos eventos de El Niño e La Niña, foram obtidos a partir do Índice Oceânico de Niño (ONI), conforme disponibilizado pela NOAA (2024). Os eventos de El Niño e La Niña foram categorizados como fortes, moderados ou fracos. O ONI mede a anomalia da temperatura da superfície do mar na região central e oriental do Pacífico Equatorial. Eventos de El Niño são caracterizados por anomalias positivas (aquecimento), enquanto eventos de La Niña são identificados por anomalias negativas (resfriamento). A Tabela 2 apresenta a classificação detalhada dos eventos de El Niño e La Niña, de 1973 a 2024, destacando sua intensidade.

Tabela 2 - Classificação dos eventos El Niño e La Niña

Categoria	Anos
El Niño Forte	1982-83, 1997-98, 2015-16
El Niño Moderado	1986-87, 1991-92, 2002-03, 2009-10
El Niño Fraco	1977-78, 1987-88, 1994-95, 2004-05, 2006-07, 2018-19
La Niña Forte	1988-89, 2010-11, 2023-24
La Niña Moderado	1973-74, 1998-99, 2007-08, 2011-12, 2020-21
La Niña Fraco	1975-76, 1983-84, 1995-96, 2000-01, 2008-09, 2016-17, 2021-22

Tabela elaborado pelos autores a partir dos dados da NOAA (2024).

Para avaliar a relação entre os valores do UTCI e os eventos ENOS, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson. Os testes foram realizados para cada estação do ano, bem como para a média anual. Testes T foram aplicados para determinar se as diferenças observadas entre os valores de UTCI nos diferentes eventos ENOS eram estatisticamente significativas, e os valores de p foram calculados para as comparações entre os anos de El Niño, La Niña e anos neutros.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A média anual mostra um panorama geral do estresse térmico para calor no Pantanal, consolidando os padrões observados nas estações sazonais do Hemisfério Sul (Figura 2). As áreas centrais e sul permanecem como as mais afetadas. Porto Mortinho é consistentemente a sub-região mais desconfortável em termos de estresse térmico ao longo do ano, com valores de UTCI indicando forte a extremo estresse para o calor. Por outro lado, a parte norte do Pantanal, Cáceres, Poconé e Barão de Melgaço se destacam como as sub-regiões mais amenas, apresentando menores níveis de estresse térmico. É importante notar que, nas médias sazonais

e anuais, apenas foram encontrados valores de estresse térmico relacionados ao calor, e nenhuma área apresentou desconforto por frio.

Durante o verão austral, grande parte do Pantanal apresenta valores de UTCI nas categorias de "Muito forte estresse para o calor" e "Extremo estresse para o calor". As áreas centrais e sul do Pantanal são particularmente afetadas, com as sub-regiões de Nhecolândia e Porto Murtinho sendo as mais desconfortáveis, enquanto Cáceres e Barão de Melgaço são mais amenas. Na primavera austral, o padrão de estresse térmico elevado continua, com grande parte do Pantanal exibindo "Muito forte estresse para o calor". Novamente, Nhecolândia e Porto Murtinho são as sub-regiões mais desconfortáveis, enquanto Cáceres, Poconé e Barão de Melgaço são as mais amenas.

O estresse térmico diminui ligeiramente no outono austral, mas ainda é significativo em muitas áreas. As sub-regiões mais desconfortáveis continuam a ser Nhecolândia e Porto Murtinho, enquanto Cáceres, Poconé e Barão de Melgaço permanecem como as mais amenas. No inverno, o Pantanal apresenta os valores mais baixos de UTCI, com muitas áreas caindo nas categorias de "Moderado estresse para o calor" a "Conforto térmico". Nhecolândia e Porto Murtinho ainda mostram valores altos, mas menores comparados às outras estações, enquanto Cáceres, Poconé e Barão de Melgaço são as sub-regiões mais amenas.

As outras sub-regiões, como Aquidauana, Miranda, Nabileque, Paraguai, Abobral e Paiaguás, também apresentam valores elevados de UTCI, indicando desconforto térmico significativo para calor. Elas seguem a tendência de desconforto por calor e nenhum desconforto por frio nas médias sazonais ou anuais. Não são tão desconfortáveis por calor como Porto Murtinho, mas não são tão amenas quanto a região mais ao norte.

---

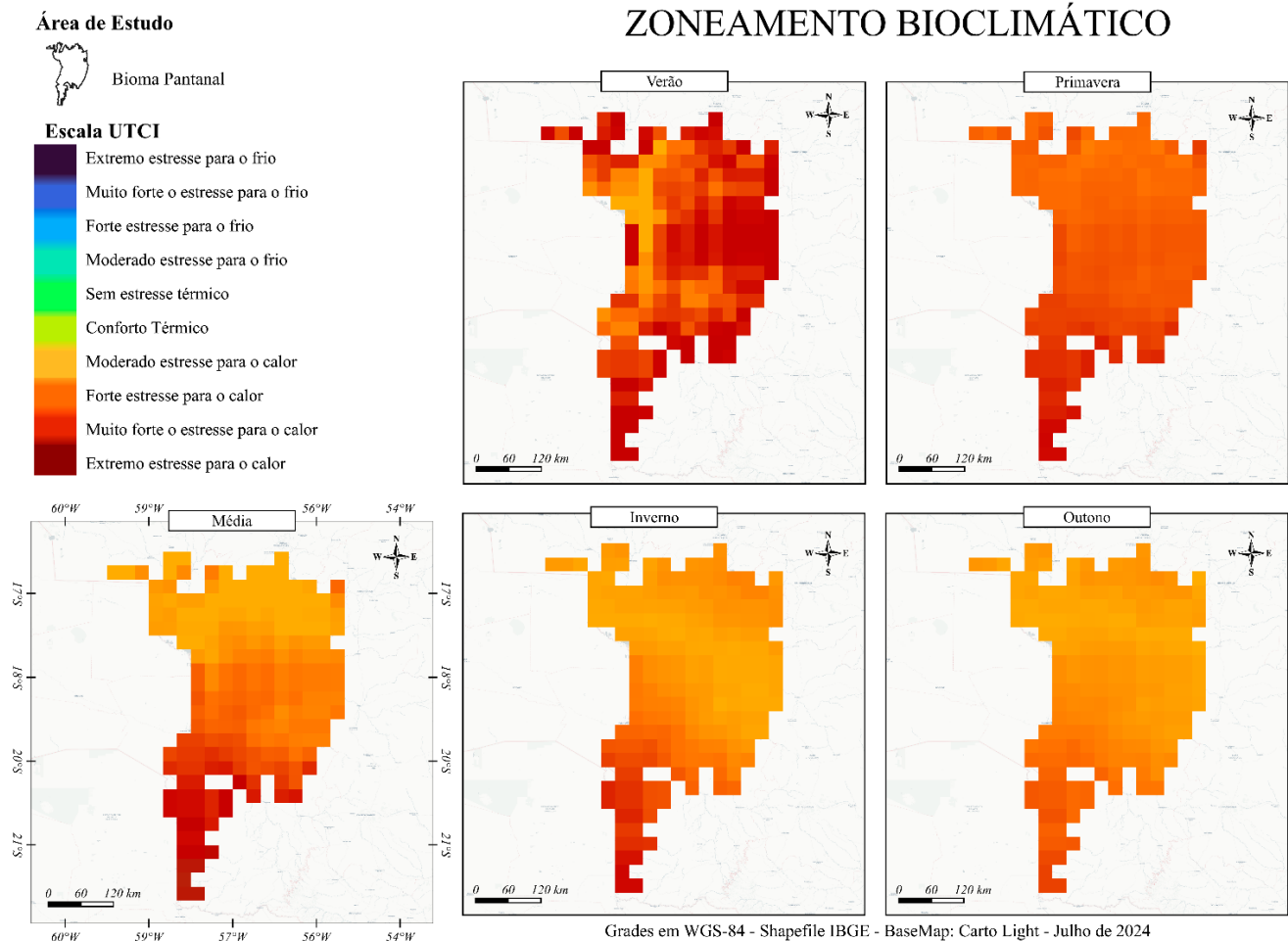


Figura 2 - Zoneamento Bioclimático do Pantanal: Análise Sazonal do UTCI (1979-2023). O mapa apresenta a análise do Índice Universal de Clima Térmico (UTCI) no bioma Pantanal, dividido em diferentes períodos sazonais: Verão, Outono, Inverno, Primavera, e uma média dos 44 anos. A análise é baseada na classificação do UTCI, que categoriza o estresse térmico em diferentes níveis, desde extremo estresse para o frio até extremo estresse para o calor.

A principal atividade econômica da região, a pecuária, assim como outras práticas como a pesca, o turismo ecológico e a agricultura, expõem grande parte da população local a ambientes ao ar livre, onde os trabalhadores enfrentam diretamente as condições climáticas adversas (WWF BRASIL, 2020; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA, 2023). O aumento do desconforto térmico torna-se um desafio adicional para esses trabalhadores, que já são submetidos a longas jornadas sob o sol intenso.

A exposição prolongada ao calor não apenas afeta a produtividade, mas também coloca em risco a saúde desses indivíduos. Estudos indicam que o aumento do desconforto térmico pode levar à fadiga, estresse térmico e uma maior incidência de problemas de saúde, como desidratação e exaustão por calor e até a morte (NETO, 2022). No contexto do Pantanal, onde a maior parte do trabalho ocorre em campo aberto, esses efeitos são

intensificados, exigindo medidas de adaptação e proteção mais rigorosas para mitigar os impactos negativos sobre os trabalhadores locais.

O gráfico de UTCI anual revela tendências importantes sobre as condições térmicas no Pantanal (Figura 3). Durante o verão, os valores de UTCI frequentemente se situam entre 25 °C e 32 °C, indicando uma predominância de condições de moderado a forte estresse para o calor. Por exemplo, os anos de 2010, 2015, 2019, e 2023 destacaram-se por apresentarem valores superiores a 30 °C, caracterizando “Muito forte estresse para o calor”, o que implica em períodos significativos de desconforto térmico para os habitantes da região durante esses verões. O ano de 2023, em particular, registrou os maiores valores de UTCI para todas as estações, destacando-se como um período de extremo estresse térmico e o mais desconfortável por calor dentro de toda a série histórica analisada. De acordo com o relatório da Organização Meteorológica Mundial (OMM), o ano de 2023 foi o mais quente já registrado, superando o recorde anterior de 2016 (OMM, 2024).

Por outro lado, as estações de inverno e outono apresentam valores de UTCI mais baixos. No inverno, os valores típicos variam entre 10 °C e 20 °C, com os anos de 1985, 2000, e 2023 registrando temperaturas próximas a 10°C, indicando condições de forte estresse para o frio. Já no outono, os valores oscilam entre 15 °C e 25 °C, com anos como 1992, 2008, e 2023 apresentando temperaturas na faixa inferior, refletindo moderado estresse para o frio. Esses dados sugerem que, durante essas estações, o desconforto térmico devido ao frio é mais comum. Em particular, o inverno de 1985 foi notável por ter uma média de UTCI abaixo de 15 °C, caracterizando muito forte estresse para o frio, enquanto 1992 e 2023 no outono também apresentaram estresse térmico significativo para calor.

A primavera, com valores de UTCI que variam entre 20 °C e 30 °C, geralmente reflete condições de conforto térmico, com ocasionais períodos de moderado estresse tanto para o frio quanto para o calor. Por exemplo, os anos de 2005 e 2017 destacaram-se por apresentar temperaturas superiores a 28 °C, o que indica um moderado estresse para o calor. A média anual do UTCI, situada entre 22 °C e 28 °C, mostra um equilíbrio entre os extremos de calor e frio ao longo do ano, destacando a variabilidade térmica sazonal da região. No entanto, a média anual em anos como 2015, 2019, e 2023, que registraram temperaturas acima de 27 °C, aponta para períodos de forte estresse para o calor.

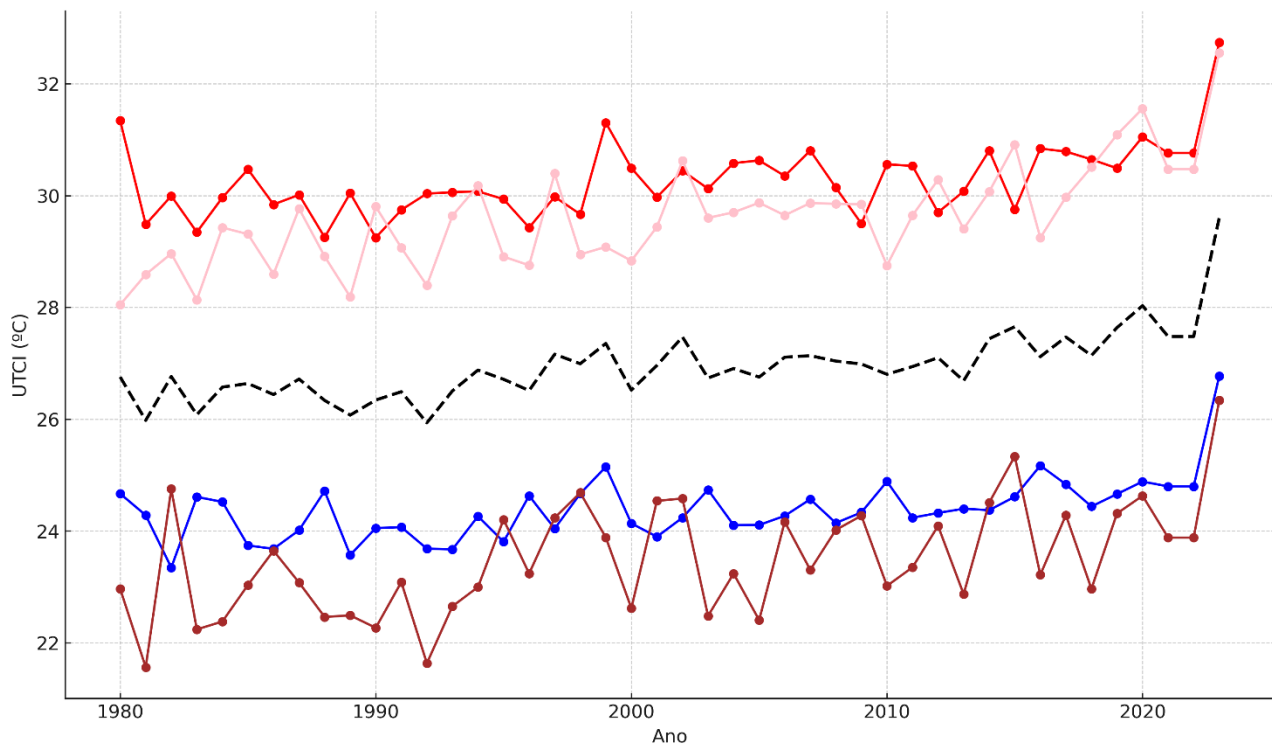


Figura 3 - Médias Sazonais e Anual do UTCI no Pantanal (1979-2023). Cada linha representa uma sazonalidade do hemisfério Sul, verão (vermelha), inverno (azul), outono (marrom) e primavera (rosa), média anual (preto tracejado). Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O gráfico com a densidade da Figura 4, abaixo complementa as informações apresentadas acima. No verão, os valores de UTCI mais comuns indicam maior frequência de dias com condições térmicas de desconforto para calor. A densidade elevada em determinados valores de UTCI destaca períodos consistentes de calor extremo. No outono, há uma variação maior de valores de UTCI, o que mostra condições mais amenas comparadas ao verão, mas ainda com períodos significativos de calor. A distribuição mais ampla dos valores indica uma transição gradual entre as temperaturas altas do verão e as mais baixas do inverno.

O inverno apresenta os menores valores de UTCI, indicando condições mais frias e menos desconforto térmico. Apesar disso, ainda ocorrem dias de calor considerável, embora em menor frequência. A menor variação dos valores de UTCI no inverno, sugere uma estação mais estável em termos térmicos para o conforto. Na primavera, os valores de UTCI começam a se elevar novamente, aproximando-se das condições do verão. A alta densidade em determinados valores de UTCI aponta para períodos significativos de desconforto térmico para calor, similares aos observados no verão.

O Pantanal experimenta condições térmicas mais severas no verão e na primavera, com alto desconforto térmico para calor. O inverno é a estação mais amena, com os menores valores de UTCI, enquanto o outono apresenta uma transição entre as condições do inverno e do verão.

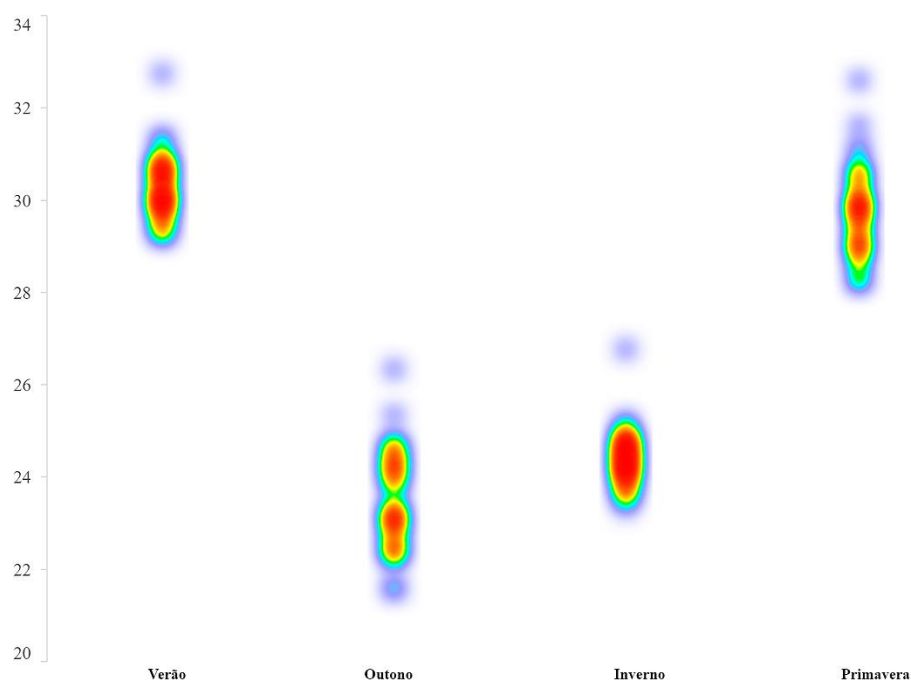


Figura 4 - Densidade dos valores de UTCI por estação do ano no Pantanal. Cada coluna representa uma estação do ano, e a densidade dos valores de UTCI é mostrada em um gradiente de cores, indo do verde (baixa densidade) ao vermelho (alta densidade).

A análise das correlações entre a média anual do UTCI e as médias sazonais das quatro estações do ano revela correlações significativas e distintas. A estação Primavera apresenta a correlação mais forte com a média anual do UTCI, com um coeficiente de correlação de 0.8566 e um p-valor de  $1.212 \times 10^{-13}$ , indicando uma relação altamente significativa. A correlação observada entre a média anual do UTCI e a estação Outono é também robusta, com um coeficiente de 0.8235 e um p-valor de  $6.744 \times 10^{-12}$ .

As estações Verão e Inverno exibem correlações mais modestas, porém ainda significativas. O coeficiente de correlação para o Verão é de 0.7348, com um p-valor de  $1.354 \times 10^{-8}$ , enquanto para o Inverno, o coeficiente é de 0.7104 e o p-valor é de  $6.600 \times 10^{-8}$ . Esses resultados indicam que, embora todas as estações tenham uma correlação positiva com a média anual do UTCI, a Primavera e o Outono são as estações que mais influenciam a média anual, refletindo uma variabilidade sazonal mais pronunciada nessas épocas do ano.

A análise dos valores de UTCI ao longo dos anos revela tendências significativas de aumento para desconforto por calor em todas as estações sazonais e na média anual (Figura 5). A inclinação de cada linha de tendência revela um aumento significativo dos valores de UTCI, sugerindo um aquecimento progressivo em todas as estações e na média anual; em termos geográficos, está havendo um aumento de áreas para desconforto por calor.

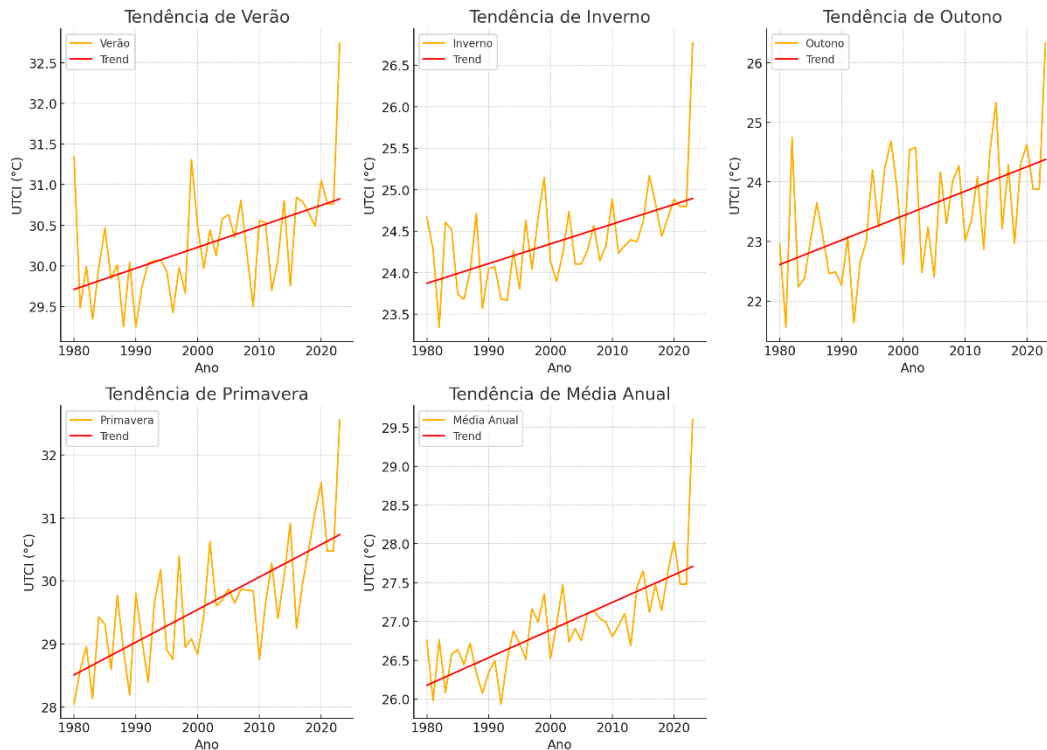


Figura 5 - Tendências dos valores de UTCI anual por estação e média anual. Os gráficos mostram as tendências dos valores de UTCI ao longo dos anos para cada estação sazonal (verão, inverno, outono e primavera) e para a média anual. As linhas representam os valores anuais de UTCI observados para cada estação, enquanto as linhas vermelhas indicam as tendências lineares de aumento ao longo do tempo. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

No verão, a inclinação da regressão linear é de  $0.0259\text{ }^{\circ}\text{C}$  por ano, com um coeficiente de correlação de  $0.5083$  e um p-valor de  $0.0004$ , indicando um aumento significativo das temperaturas. Este aumento sugere que os verões estão se tornando progressivamente mais desconfortáveis para o calor, resultando em maior desconforto térmico durante esta estação. No inverno, a inclinação da regressão linear é de  $0.0238\text{ }^{\circ}\text{C}$  por ano, com um coeficiente de correlação de  $0.5412$  e um p-valor de  $0.0001$ . Isso sugere um aquecimento gradual durante esta estação. Os valores indicam que, apesar de os invernos ainda terem seus dias frios, há uma tendência clara de aumento dos desconfortos para o calor, o que pode reduzir os períodos de estresse para o frio.

O outono apresenta uma inclinação de  $0.0411\text{ }^{\circ}\text{C}$  por ano, com um coeficiente de correlação de  $0.5271$  e um p-valor de  $0.0002$ . Este aumento acentuado no índice de stress térmico durante o outono indica uma mudança significativa no clima desta estação, que pode estar se tornando mais quente a um ritmo mais rápido em comparação com o inverno e o verão. A primavera exibe a tendência mais forte de aumento de desconforto para o calor, com uma inclinação de  $0.0517\text{ }^{\circ}\text{C}$  por ano, um coeficiente de correlação de  $0.7187$  e um p-valor de  $3.93\text{e-}08$ . Este aumento substancial e consistente nas temperaturas primaveris sugere que a estação está se

tornando significativamente mais quente, o que pode ter implicações importantes para o conforto térmico e os padrões climáticos regionais durante a primavera.

A média anual do UTCI também mostra um aumento significativo, com uma inclinação de 0.0356 °C por ano, um coeficiente de correlação de 0.7327 e um p-valor de 1.57e-08. Este aumento na média anual indica uma tendência geral de aquecimento na região, refletindo mudanças climáticas que afetam todas as estações. A significância dos p-valores confirma que essas tendências não são devidas ao acaso, mas refletem mudanças reais e consistentes no clima da região estudada, resultando em um ambiente térmico progressivamente mais desconfortável para o calor.

Os valores UTCI em termos gerais, durante os anos de La Niña mostraram-se ligeiramente mais altos em comparação com os anos de El Niño e anos neutros. Por exemplo, no ano de 1998, um ano de La Niña forte, o UTCI médio anual foi de 27.10 °C, um valor acima da média anual geral. Em contraste, o ano de 2015, um ano de El Niño forte, apresentou um UTCI médio anual de 26.85°C, ligeiramente abaixo da média geral. A média anual dos valores de UTCI nos anos de ENOS e anos neutros revelou que, no La Niña apresentou uma média ligeiramente maior (27.06 °C), seguida pelos anos neutros (26.91 °C) e El Niño (26.88 °C). Os resultados do teste T indicaram que não há diferença estatisticamente significativa entre esses valores (El Niño vs Neutral: p=0.9633, La Niña vs Neutral: p=0.7936, El Niño vs La Niña: p=0.7594).

No verão, os valores médios de UTCI durante os anos de La Niña foram ligeiramente mais altos (27.06 °C) em comparação com os anos de El Niño (26.88 °C) e anos neutros (26.91 °C). Embora essa tendência sugira um aumento no desconforto térmico durante os anos de La Niña, os testes T mostraram que as diferenças não são estatisticamente significativas (El Niño vs Neutral: p=0.1934, La Niña vs Neutral: p=0.9312, El Niño vs La Niña: p=0.1179). Durante o inverno, os valores médios de UTCI nos anos de La Niña (27.06°C) foram maiores do que nos anos de El Niño (26.88 °C) e neutros (26.91 °C). No entanto, as diferenças observadas não foram estatisticamente significativas (El Niño vs Neutral: p=0.8540, La Niña vs Neutral: p=0.3779, El Niño vs La Niña: p=0.1949).

A análise dos valores de UTCI no outono mostrou que nos anos de La Niña, a média foi de 27.06 °C, enquanto nos anos de El Niño foi de 26.88 °C e nos anos neutros foi de 26.91 °C. Mais uma vez, as análises estatísticas confirmaram que essas diferenças não são significativas (El Niño vs Neutral: p=0.5131, La Niña vs Neutral: p=0.4355, El Niño vs La Niña: p=0.8985). Para a primavera, os valores de UTCI seguiram a mesma tendência, com anos de La Niña apresentando valores mais altos (27.06 °C) do que nos anos de El Niño (26.88 °C) e anos neutros (26.91 °C). Contudo, assim como nas outras estações, essas diferenças não foram

estatisticamente significativas (El Niño vs Neutral:  $p=0.9705$ , La Niña vs Neutral:  $p=0.7650$ , El Niño vs La Niña:  $p=0.7450$ ).

Para a região do Pantanal, os eventos de El Niño são geralmente associados a secas, enquanto La Niña tende a trazer inundações (ALHO; SILVA, 2012; MACHADO et al., 2015; BARROS et al., 2016; MARENGO et al., 2016; VOURLITIS et al., 2016; MARTINS DOS SANTOS et al., 2016; DINIZ et al., 2016). Entretanto, nossos resultados demonstram que a relação desses eventos climáticos pode ser mais ampla na região, promovendo mudanças nos padrões de conforto e sensação térmica. Neto (2020), realizou um zoneamento bioclimático para o Brasil, analisando a distribuição das classes de estresse térmico usando o UTCI. O estudo mostrou que, em escala nacional, eventos de El Niño estão associados a um aumento no desconforto por calor, enquanto eventos de La Niña aumentam o desconforto por frio.

No entanto, nesse estudo que foca especificamente no Pantanal, os resultados não indicam um impacto significativo dos ENOS nos valores de UTCI. Isso sugere que, ao contrário do cenário nacional, o Pantanal não apresenta variações significativas nos valores de UTCI relacionadas a esses eventos climáticos. Silva e Abdon (1998) destacam que o Pantanal se encontra em uma mesma latitude e não há diferença significativa na topografia, uma vez que a região é predominantemente plana, fatores os quais em escala nacional têm grande influência no UTCI.

Diniz et al. (2016) apresentam que o forte El Niño de 2015-2016 foi responsável por um aumento significativo no número de focos de incêndio no Pantanal devido às condições mais secas e quentes associados a esse fenômeno e que, devido a isso, as temperaturas elevadas aumentaram o desconforto por calor. Porém, maiores temperaturas não necessariamente definem maior desconforto por calor, pois a troca térmica com o ambiente está muito relacionada com a umidade. Portanto, ao comparar o tempo quente e seco de um El Niño com o tempo quente e úmido de um La Niña, o desconforto será maior em episódios de La Niña. Isso ocorre porque, devido ao tempo mais seco, a capacidade térmica do corpo de trocar calor com o ambiente é maior. Em contraste, durante eventos de La Niña, aumenta a umidade, a troca térmica do corpo com o ambiente é dificultada, aumentando o desconforto por calor.

Percebemos que existe uma tendência de maior desconforto térmico por calor nos anos de La Niña; contudo, essa relação não é forte o suficiente para ser considerada conclusiva para a região do Pantanal com base nos testes estatísticos aqui realizados. Neto (2020) destaca que a magnitude dos ventos ser maior no Pantanal é o que faz com que essa área não seja tão desconfortável por calor como a região Amazônica, a mais desconfortável por calor no Brasil. Temos então que as variações nas classes de sensação térmica no Pantanal

são mais influenciadas por características microclimáticas específicas da região, como a velocidade e direção dos ventos, umidade, nebulosidade, radiação solar, entre outras variáveis. A literatura existente oferece um contexto valioso, mas ressalta a necessidade de análises mais robustas para entender as relações das variáveis atmosféricas dentro do bioma.

#### **IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O Pantanal, climatologicamente, é uma área de desconforto térmico para o calor. As áreas centrais e sul do Pantanal, especialmente Porto Murtinho, são consistentemente as mais desconfortáveis ao longo do ano, apresentando valores de UTCI que indicam forte a extremo estresse para o calor. Em contrapartida, as sub-regiões do norte, como Cáceres, Poconé e Barão de Melgaço, destacam-se como mais amenas, com menores níveis de estresse térmico, mas ainda sendo desconfortável para o calor.

No verão e na primavera, o Pantanal apresenta os maiores níveis de estresse térmico, com valores de UTCI nas categorias de "Muito forte estresse para o calor" e "Extremo estresse para o calor". Durante o outono, o estresse térmico diminui ligeiramente, mas ainda é significativo em muitas áreas. No inverno, o Pantanal apresenta os valores mais baixos de UTCI, com muitas áreas oscilando nas categorias de "Moderado estresse para o calor" a "Conforto térmico".

A análise ao longo dos anos revela um aumento significativo nos valores de UTCI, indicando um aquecimento progressivo em todas as estações e na média anual. A primavera apresenta a tendência mais forte de aumento para desconforto por calor, sugerindo que essa estação está se tornando significativamente mais desconfortável. Apesar dos valores não terem sido significativos nos testes, não podemos afirmar que os eventos ENOS não tenham de certa forma um impacto, principalmente o La Niña. As variações nas classes de sensação térmica no Pantanal são mais influenciadas por características microclimáticas específicas da região.

#### **Agradecimentos**

Agradecemos à Fundação de Apoio da UFMG (Fundep) pela bolsa de pesquisa concedida ao autor João Batista Ferreira Neto. Também agradecemos ao Núcleo de Estudos sobre Fogo em Áreas Úmidas (NEFAU), parte do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), por viabilizar este trabalho.

#### **V. REFERÊNCIAS**

ALHO, C. J. R.; SILVA, J. S. V. Effects of Severe Floods and Droughts on Wildlife of the Pantanal Wetland (Brazil)—

A Review. *Brazilian Journal of Biology*, 2012. DOI: 10.3390/ani2040591.

BARUTI, M. M.; JOHANSSON, E.; ÅSTRAND, J. Review of Studies on Outdoor Thermal Comfort in Warm Humid Climates: Challenges of Informal Urban Fabric. *International Journal of Biometeorology*, v. 63, n. 10, p. 1449-1462, 2019. DOI: 10.1007/s00484-019-01757-3.

BINARTI, F.; KOERNIAWAN, M. D.; TRIYADI, S.; UTAMI, S. S.; MATZARAKIS, A. A review of outdoor thermal comfort indices and neutral ranges for hot-humid regions. *Urban Climate*, v. 31, p. 100531, 2020. DOI: 10.1016/j.uclim.2019.100531.

BRÖDE, P.; KRÜGER, E. L.; FIALA, D. UTCI - validation and practical application to the assessment of urban outdoor thermal comfort. *Geographia Polonica*, v. 86, n. 1, p. 11-20, 2013.

CALLEJAS, I. J. A.; KRÜGER, E. L.; BORGES, V. C. A. L. Relação entre Estados de Humor e a Percepção Térmica de Pedestres. *Arquitetura Revista*, v. 19, n. 1, p. 73–90, 2023. DOI: 10.4013/arq.2023.191.05.

CID, B.; OLIVEIRA-SANTOS, L. G.; MOURÃO, G. The Relationship between External Temperature and Daily Activity in a Large Rodent (*Dasyprocta azarae*) in the Brazilian Pantanal. *Journal of Tropical Ecology*, v. 31, n. 5, p. 469-472, 2015. DOI: 10.1017/S0266467415000309.

DINIZ, F. R.; MIRANDA, G. S. B.; PIACENTI-SILVA, M.; MACHADO, J. P. Impacto do El Niño nos Focos de Incêndio e Desconforto Térmico Humano no Brasil no Período entre o Verão de 2014-2015 e o Outono de 2016. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, 2016.

FANGER, P. O. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

GIEBMEYER, T.; CASTELLANO, M. S.; CELARINO, A. L. S. Análise de Conforto Térmico em Ambiente Escolar: Estudo de Caso em Escala Microclimática. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 32, n. 19, p. 157-172, 2023. DOI: 10.55761/abclima.v32i19.15749.

GOULART, A. R.; SOUZA, C. A.; SILVA, C. F. E. Urban Thermal Comfort: Analysis of the Impact of Revitalization Reviva Centro on Urban Microclimate of Campo Grande. *Life Style*, v. 8, n. 2, p. 51-63, 2022. DOI: 10.19141/2237-3756.lifestyle.v8.n2.p51-63.

HIRASHIMA, S. Q. S.; KATZSCHNER, A.; FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. Thermal Comfort Comparison and Evaluation in Different Climates. *Urban Climate*, v. 23, p. 219-230, 2018. DOI: 10.1016/j.uclim.2016.08.007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico – 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 14 ago. 2024.

JENDRITZKY, G.; DEAR, R.; HAVENITH, G. UTCI—Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, v. 56, n. 3, p. 421-428, 2012.

BARROS, V.; CHAMORRO, L.; CORONEL, G.; BAEZ, J. The Major Discharge Events in the Paraguay River: Magnitudes, Source Regions, and Climate Forcings. *Geophysical Research Letters*, 2016. DOI: 10.1002/2016GL070424.

JUSTI, A. C. A.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; SANTOS, F. M. M.; ZAVITOSKI, É. V. S.; PAULO, S. R.; JUSTI, G. H. Thermal Comfort of Users of a Park Located in One of the Hottest Cities in Brazil, 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3449729/v1.

KRÜGER, E. L.; THIAGO J. V.; SILVA, S. Q. S.; HIRASHIMA, E. G.; CUNHA, L. A. R. Calibrating UTCI'S Comfort Assessment Scale for Three Brazilian Cities with Different Climatic Conditions. *International Journal of Biometeorology*, março 2020.

LIBONATI, R.; GEIRINHAS, J. L.; SILVA, P. S.; RUSSO, A.; RODRIGUES, J. A.; BELÉM, L. B. C.; NOGUEIRA, J.; ROQUE, F. O.; DACAMARA, C. C.; NUNES, A. M. B.; MARENGO, J. A.; TRIGO, R. M. Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. *Environmental Research Letters*, v. 17, n. 1, p. 015005, 2022.

LUCENA, R. L.; FARIA, R. M.; LIMA, R. K. A.; APRÍGIO, T. R. M.; SILVA, A. D. G.; SOUZA, S. F. F. Temperatura e sensação térmica na depressão sertaneja: análise da região do Seridó no semiárido brasileiro. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 11, p. 85-97, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.011.0009>.

MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S.; QUERINO, C. A. S.; DANELICHEN, V. H. M.; VELASQUE, M. C. S. Seasonal and Interannual Pattern of Meteorological Variables in Cuiabá, Mato Grosso State, Brazil. *Journal of Climate*, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.22564/rbgf.v33i>

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; TORRES, R. R. Regional climate change scenarios in the Brazilian Pantanal watershed. *Climate Research*, 2016. DOI: 10.3354/cr01324.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Mapa fortalece agropecuária pantaneira. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>. Acesso em: 14 ago. 2024.

NETO, J. B. F. Zoneamento Bioclimático Brasileiro. 2020. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2020. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgeog/JoaoaBFNeto.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2024.

NETO, J. B. F.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S.; TAVARES, K. S. R.; GOBO, J. P. A. Revisão Sistemática Acerca dos Estudos de Conforto e Sensação Térmica no Brasil. *Boletim Alfenense de Geografia*, Alfenas, v. 4, n. 7, p. 25-42, 2024. DOI: 10.29327/243949.4.7-2.

NOAA. Cold & Warm Episodes by Season. Climate Prediction Center, 2023. Disponível em: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Acesso em: 23 jul. 2024.

VOURLITIS, G. L.; PINTO JUNIOR, O. B.; DALMAGRO, H. J.; ARRUDA, P. E. Z.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Tree growth responses to climate variation in upland and seasonally flooded forests and woodlands of the Cerrado-Pantanal transition of Brazil. *Forest Ecology and Management*, 2016. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.05.025.

MARTINS DOS SANTOS, M. J.; PINTO, L. B.; IRRIBAREM, G. B.; CONCEIÇÃO, L. F. C.; MONTEIRO, C. A. Avaliação das temperaturas mínimas e máximas para eventos de friagem no Pantanal. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2016

OLIVEIRA, C. C.; VILLA ALVES, F.; GIOLO DE ALMEIDA, R.; LEMES GAMARRA, É.; JUNQUEIRA VILLELA, S. D.; MACEDO DE ALMEIDA MARTINS, P. G. Thermal Comfort Indices Assessed in Integrated Production Systems in the Brazilian Savannah. *Agroforest Systems*, v. 92, p. 1659–1672, 2018. DOI: 10.1007/s10457-017-0114-5.

OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; BOTTEGA, E. L. Conforto térmico de trabalhadores rurais durante a colheita do tabaco. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 14, n. 3, p. 299-308, 2020. DOI: 10.18011/bioeng2020v14n3p299-308.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). State of the Global Climate 2023. 2024. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>. Acesso em: 30 set. 2024

PARSONS, K. Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance. CRC Press, 2003.

RIBEIRO, K. F. A.; JUSTI, A. C. A.; NOVAIS, J. W. Z.; SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; MIRANDA, S. A.; MARQUES, J. B. Calibration of the Physiological Equivalent Temperature (PET) Index Range for Outside Spaces in a Tropical Climate City. *Urban Climate*, v. 44, 2022. DOI: 10.1016/j.uclim.2022.101196.

SANTOS, V.; SILVA, J. S.; POTT, A.; CHAVES, J. V. B. Classification and Mapping of the Vegetation of the Brazilian Pantanal. In: POTT, A.; POTT, V. J. *Flora and Vegetation of the Pantanal Wetland*. Cham: Springer International Publishing, 2022, p. 11-38.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, Número Especial, p. 1703-1711, out. 1998.

SILVA, L. F.; PEREIRA, R. L.; SANTOS, A. F. Análise dos Índices de Conforto Térmico PMV e PET em Diferentes Tipos de Coberturas em Ambiente Aberto na Cidade de Cuiabá-MT. *Climatologia e Estudos Ambientais*, v. 26, p. 123-140, 2022. DOI: 10.5380/abclima.v26i0.69343.

SOUSA, M. C. B.; LEDER, S. M. Reflexões sobre terminologias utilizadas para definir o conforto térmico humano. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 10, p. e019028, 2019. DOI: 10.20396/parc.v10i0.8653185.

WWF BRASIL. Queimadas no Pantanal crescem mais de 200% e batem recorde. Disponível em: <https://www.wwf.org.br>. Acesso em: 14 ago. 2024.

---