

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**

**Faculdade de Meteorologia**

**Departamento de Meteorologia**



**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Friagens no Pantanal: Ocorrência de casos gerais e intensos, conforto térmico e análise sinótica do evento mais intenso**

**Müller Júnior Martins dos Santos**

Pelotas, 2017

**Müller Júnior Martins dos Santos**

**Friagens no Pantanal: Ocorrência de casos gerais e intensos, conforto térmico e análise sinótica do evento mais intenso**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciana Barros Pinto  
Co-Orientador: Prof. Dr. André Becker Nunes

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

S237f Santos, Müller Júnior Martins dos  
Friagens no Pantanal : ocorrência de casos gerais e  
intensos, conforto térmico e análise sinótica do evento mais  
intenso / Müller Júnior Martins dos Santos ; Luciana Barros  
Pinto, orientadora; André Becker Nunes, coorientador. —  
Pelotas, 2017.

69 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em  
Meteorologia) — Faculdade de Meteorologia, Universidade  
Federal de Pelotas, 2017.

1. Sistema frontal. 2. Temperatura do ar. 3. Índice  
biometeorológico. 4. Meteorologia sinótica. 5. Serra-2. I.  
Pinto, Luciana Barros, orient. II. Nunes, André Becker,  
coorient. III. Título.

CDD : 551.523098172

Müller Júnior Martins dos Santos

Friagens no Pantanal: Ocorrência de casos gerais e intensos, conforto térmico e análise sinótica do evento mais intenso

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas.

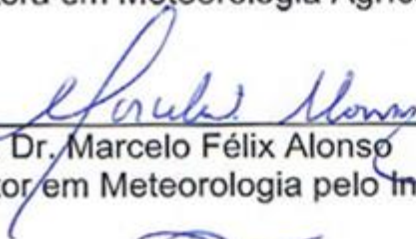
Data da Defesa: 27 de Novembro de 2017.

Banca Examinadora:



---

Prof.ª Dr.ª Luciana Barros Pinto (Orientadora)  
Doutora em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, Brasil



---

Prof. Dr. Marcelo Félix Alonso  
Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil



---

Prof.ª Dr.ª Graciela Redies Fischer  
Doutora em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, Brasil

**Dedico este trabalho aos meus pais  
e irmã.**

## **Agradecimentos**

Agradeço incondicionalmente aos meus pais, Geraldo Cristino e Aparecida Cristina, e a minha irmã, Müllena Cristina. O apoio e motivação que vocês me passaram, acompanhando com atenção todos os momentos da minha vida e em especial a este, sempre me fez seguir em frente, em busca dos meus objetivos. Meu pai, obrigado por todo amor, consolo, sabedoria e confiança que depositou em teu filho. Minha mãe, obrigado por todas as suas orações direcionadas ao meu bem estar e por esta conquista, acreditando e transpassando, muito amor e graciosidade ao teu filho. Minha irmã, obrigado por estar presente em todas as recordações da minha vida e pela confiança depositada neste meu caminho traçado até aqui. Obrigado por existirem.

Agradeço em especial à Jackson Cardoso pelo apoio, compreensão e momentos de felicidade compartilhada, acreditando e transpassando que posso mais que imagino. Obrigado por fazer parte desta conquista!

Agradeço ao professor Dr. André Becker Nunes, pelos conhecimentos compartilhados e, em especial, a professora orientara Dr. Luciana Barros Pinto, por compartilhar de suas experiências pelo apoio, amizade, motivação e conhecimento depositado em mim na orientação deste trabalho, se apresentando sempre presente em todos os momentos. O meu amadurecimento acadêmico deve-se muito a ti.

Agradeço por todas as amizades conquistadas ao longo da graduação, particularmente a Bruna Paim, Kelli de Lara e Paulo Alexandre. Apesar de toda correria que fora compartilhada nas disciplinas, foi gratificante tê-las cursada com vocês. Amizade de inestimável valor que levarei comigo para sempre.

*“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana.”*

(Carl Gustav Jung)

## Resumo

SANTOS, Müller Júnior Martins dos. **Friagens no Pantanal: Ocorrência de casos gerais e intensos, conforto térmico e análise sinótica do evento mais intenso.** 2017. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

A incursão de ar frio oriundos da região sul da América do Sul para regiões tropicais é conhecido como o fenômeno de friagem. Esse fenômeno, muitas vezes, causa prejuízos econômicos e sociais, onde se destacam principalmente os setores da saúde pública e a agropecuária, além de ocasionar mortes. O objetivo deste trabalho foi caracterizar os casos gerais e intensos de eventos de friagens na região do Pantanal ocorridos entre 2007 e 2014, além de analisar o conforto térmico nos meses climatologicamente mais frios e caracterizar o ambiente sinótico do evento mais intenso de friagem. Utilizou-se dados de boletins do Climanálise, temperatura do ar da cidade de Coxim-MS, índice biometeorológico Temperatura Efetiva com Vento (TEv) e reanálises do Modern Era Retrospective Analysis for Research and Applications-2 (MERRA-2). Verificou-se 72 eventos de friagens dos casos gerais e maior frequência no ano de 2010 e nos meses de agosto, enquanto que não houve casos nos meses de janeiro e fevereiro. A variabilidade interanual do número de casos foi de 9 friagens.ano<sup>-1</sup> e 42,6 dias.ano<sup>-1</sup>. A duração média encontrada para cada evento de friagem foi de 4,3 dias. Quanto as análises dos casos intensos apontaram 27 eventos e variabilidade interanual do número de casos variando de 1 a 5 casos por ano, e uma média de 3,4 friagens.ano<sup>-1</sup>. Os eventos intensos ocorreram com maior frequência nos anos de 2010 e 2013 e os nos meses de julho e agosto. A maior frequência de conforto térmico sob atuação de friagens em Coxim encontrou-se na faixa de desconforto por Muito Frio



(<13°C), sendo o menor valor de temperatura efetiva com vento de 1,76°C. O estudo de caso sinótico apontou a configuração de um ciclone no oceano Atlântico a leste do sul do continente da América do Sul, relacionado à ampliação da onda baroclínica associada ao cavado frontal observado em altos níveis, com um anticiclone pós-frontal migratório frio, evidenciado pelo campo de temperatura e escoamento do vento em baixos níveis (850 hPa), escoamento dos vento em altos níveis (250 hPa), ômega e geopotencial em médios níveis (500 hPa), espessura da camada entre 500 hPa e 1000 hPa, e pressão atmosférica ao nível médio do mar. A configuração do cavado frontal favoreceu a advecção de vorticidade ciclônica a leste da formação de sistema de baixa pressão em superfície.

**Palavras-chave:** sistema frontal; temperatura do ar, índice biometeorológico; meteorologia sinótica; MERRA-2.

## Abstract

SANTOS, Müller Júnior Martins dos. **Frials in the Pantanal: Occurrence of general and intense cases, thermal comfort and synoptic analysis of the most intense event.** 2017. 67 f. Course Completion Work (Graduation) - Faculty of Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2017.

The cold air incursion from the southern region of South America to tropical regions is known as the phenomena of cold. This phenomenon often causes economic and social damages, in which the public health and agricultural sectors stand out, in addition to causing deaths. The objective of this work was to characterize the general and intense cases of friary events in the Pantanal region between 2007 and 2014, in addition to analyzing the thermal comfort in the climatologically colder months and characterizing the synoptic environment of the most intense cold event. It was used data from Climanálise bulletins, air temperature of the city of Coxim-MS, biometeorological index Effective Temperature with Wind (TEv) and reanalysis of the Modern Era Retrospective Analysis for Research and Applications-2 (MERRA-2). There were 72 friary events in the general cases and a higher frequency in the year 2010 and in the months of August, while there were no cases in the months of January and February. The interannual variability of the number of cases was 9 friagens.ano-1 and 42,6 dias.ano-1. The mean duration found for each cold event was 4.3 days. The analysis of the intense cases indicated 27 events and year-to-year variability in the number of cases ranging from 1 to 5 cases per year, and a mean of 3.4 friagens.ano-1. The intense events occurred more frequently in the years of 2010 and 2013 and those in the months of July and August.

The highest frequency of thermal comfort under the influence of colds in Cushion was found in the discomfort range by Very Cold ( $<13^{\circ}\text{C}$ ), being the lowest effective temperature value with a wind of  $1.76^{\circ}\text{C}$ . The synoptic case study pointed to the configuration of a cyclone in the Atlantic Ocean east of the South American continent, related to the amplification of the baroclinic wave associated with the frontal trough observed at high levels, with a cold migratory post-frontal anticyclone evidenced (850 hPa), wind flow at high levels (250 hPa), omega and geopotential at medium levels (500 hPa), layer thickness between 500 hPa and 1000 hPa, and atmospheric pressure at the mean sea level. The configuration of the frontal trough favored the advection of cyclonic vorticity to the east of the formation of low surface pressure system.

**Keywords:** frontal system; air temperature, biometeorological index; synoptic meteorology; MERRA-2.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Localização geográfica do Pantanal.....	18
Figura 2 – Altimetria do Pantanal (a) e Bacia do Rio Paraguai (b).....	20
Figura 3 – Hidrografia do Pantanal.....	21
Figura 4 – Modelos conceituais do ciclo de vida dos ciclones extratropicais no Hemisfério Sul: a) modelo de Bjerknes e Solberg (1922) e b) modelo de Shapiro e Keyser (1990). O painel superior de cada modelo mostra a altura geopotencial em 850 hPa e as frentes fria (azul), quente (vermelha) e oclusa (roxa). Já o painel inferior apresenta a temperatura potencial também em 850 hPa. Os estágios de vida representam intervalos de 6 a 24 horas. ....	24
Figura 5 – Modelo conceitual para invasões de ar frio sobre a América do Sul (D-1, D0 e D+1). As setas mais escuras (claras) representam advecção de ar frio (quente), as linhas de contorno são as isóbaras. As letras L (H) representam as regiões de baixa (alta) pressão.....	27
Figura 6 – Distribuição anual dos eventos de friagens para a região do Pantanal entre os anos de 2007 e 2014 com dados da cidade de Coxim-MS. ....	34
Figura 7 – Distribuição mensal dos eventos de friagens para a região do Pantanal entre os anos de 2007 e 2014 com dados da cidade de Coxim-MS. ....	35
Figura 8 – Número de dias do ano sob friagem em Coxim-MS (2007 a 2014).....	37
Figura 9 – Distribuição mensal do número de dias sob efeito de eventos de friagens em Coxim-MS entre os anos de 2007 e 2014. ....	38
Figura 10 – Evolução diária (D-1 a D+8) das médias de temperaturas mínimas e máximas ( $T_{med/min}$ e $T_{med/max}$ , °C) (linhas pontilhadas) e desvio de temperatura ( $DT_{med/min}$ e $DT_{med/max}$ , °C) (barras) em relação a normal	

climatológica em eventos de friagem para a cidade de Coxim-MS no período de 2007 a 2014.....	39
Figura 11 – Distribuição anual dos eventos intensos de friagens para a região do Pantanal entre os anos de 2007 e 2014 com dados da cidade de Coxim-MS. ....	41
Figura 12 – Distribuição anual dos eventos intensos de friagens para a região do Pantanal entre os anos de 2007 e 2014 com dados da cidade de Coxim-MS. ....	42
Figura 13 (a-b) – Número de eventos de friagens (a) e total de dias sob eventos de friagens (b) anual e mensal (JJA) em Coxim-MS no período de 2007 a 2014. ....	43
Figura 14 (a-c) – Índice TEv em junho (a), julho (b) e agosto (c) em Coxim-MS (2007/2011 e 2014). ....	46
Figura 15 (a-d) – Imagem de satélite canal visível (0.65 $\mu\text{m}$ ) às 15 UTC no dia 20 (a), 21 (b), 22 (c) e 23 (d) de julho de 2013 para América do Sul. ....	48
Figura 16 (a-f) – 2 Campo de linha de corrente (contorno) e magnitude do vento (sombreado) em $\text{m.s}^{-1}$ em 250 hPa às 00 Z para o dia 19 (a), 20 (b), 21 (c), 22(d), 23 (e) e 24(f) de julho de 2013. ....	50
Figura 17 (a-f) – Campo de geopotencial (contorno, em mgp) e ômega em 500 hPa (sombreado, em $\text{ms}^{-1}$ ) às 00 Z para o dia 20 (a), 21 (b), 22 (c), 23(d), 24 (e) e 25(f) de julho de 2013. ....	52
Figura 18 (a-f) – Campo de linha de corrente (contorno preto, em $\text{m.s}^{-1}$ ) e temperatura (sombreado em, $^{\circ}\text{C}$ ) em 850 hPa, e pressão atmosférica ao nível médio do mar (contorno amarelo, em hPa) às 00 Z em 20 (a), 21 (b), 22(c), 23 (d), 24 (e) e 25 (f) de julho de 2013. ....	54
Figura 19 – Campo de pressão ao nível médio do mar (contorno, em hPa) e espessura entre 500 e 1000 hPa (sombreado, em m) às 00 Z em 20 (a), 21 (b), 22(c), 23 (d), 24 (e) e 25 (f) de julho de 2013. ....	56

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 – Desvio negativo da $T_{mín}$ e $T_{máx}$ dos eventos de friagem em Coxim-MS no período de 2007 a 2014. ....	40
Tabela 2 – Conforto térmico e total de horas entre JJA de 2007/2011 e 2014 em Coxim-MS. ....	44

## Sumário

1 Introdução .....	16
2 Revisão de Literatura .....	18
2.1 Caracterização geral da área de estudo .....	18
2.2 Aspectos socioeconômicos e problemas ambientais .....	21
2.3 Clima .....	22
2.4 Sistemas frontais.....	24
2.4.1 Friagem .....	26
2.4.1.1 Conforto Térmico.....	28
3 Metodologia.....	30
3.1 Identificação dos casos gerais de friagem.....	30
3.2 Identificação dos casos intensos de friagem .....	31
3.3 Análise do Conforto Térmico .....	31
3.5 Análise sinótica: Estudo de Caso .....	32
4 Resultados e Discussões .....	34
4.1 Distribuições mensais, anuais e duração dos casos gerais de friagem .....	34
4.1.1 Análise das temperaturas e desvios de temperaturas.....	38
4.2 Distribuições mensais, anuais e duração dos casos intensos de friagens .....	40
4.3 Análise do conforto térmico .....	42
4.4 Análise Sinótica.....	46
4.4.1 Imagens de satélites e convecção .....	47
4.4.2 Campos de reanálises.....	48
5. Conclusões.....	57
Referências .....	59

## 1 Introdução

O conhecimento de fenômenos meteorológicos, sejam de pequena ou grande escala espacial e temporal, tornam-se extremamente importantes para o conhecimento de seus mecanismos de formação e, assim, conseguir observar como se comportam diferentes tipos de eventos, aprimorando sua previsão. Essa importância, em grande parte, deve-se ao avanço de estudos nas diversas áreas multidisciplinares da Meteorologia, somado ao avanço da tecnologia e a incursão dos modelos numéricos. Todavia, algumas regiões no Brasil ainda são escassas de estudos que se tornam importantes na caracterização meteorológica, onde afetam a população diretamente e/ou indiretamente.

Ao longo do ano no país, parte das regiões tropicais são influenciadas por incursão de ar frio oriundos da região sul da América do Sul (SERRA; RATABONNA, 1960), fenômeno conhecido como friagem, estimulando várias pesquisas, principalmente na região amazônica (MYERS, 1964; PARMENTER, 1976; FORTUNE, 1982; LONGO; DIAS, 2004; SATYAMURTHY et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2004; VILHENA, 2008, AMORIM NETO, 2013; RICARTE et al., 2014; VIANA, 2015; GOMES, 2015). Embora a região amazônica apresente bastante abordagem do fenômeno na literatura, ainda se torna necessária a compreensão das mudanças atmosféricas que ocorrem nas demais regiões tropicais, como a região do Pantanal.

Apesar do aumento do número de estudos realizados por universidades e centros de pesquisas e dos esforços institucionais para o avanço do conhecimento sobre o bioma Pantanal, pouco se sabe sobre as características gerais meteorológicas que ocorrem quando há incursão de ar frio na região, ocasionando a friagem, como estudado por Fernandes (2014) e Santos et al. (2016). Esse fenômeno, muitas vezes,



causa prejuízos econômicos e sociais, onde se destacam principalmente os setores da saúde pública e a agropecuária.

Em alguns casos a incursão de ar frio ocasiona mortes, como discutido por Mendonça e Romero (2012) no ocorrido em 2010. Naquele ano, cerca de 180 pessoas em vários países da América do Sul (como Bolívia, Peru, Paraguai, Argentina e Chile), principalmente em áreas urbanas e rurais pobres, contraíram enfermidades e vieram a óbito devido aos efeitos do ar frio de um evento intenso, tanto por falta de aquecimento em suas habitações como por oportuna assistência médica. No mesmo evento, duas pessoas morreram por hipotermia no Pantanal (AQUIDAUANA NEWS, 2013). Além de perdas humanas, milhares de cabeças de gados também morreram devido o ar frio, incluindo o Pantanal e outras regiões do Brasil.

Sendo assim, o presente trabalho torna-se importante por possibilitar uma melhor compreensão das condições de tempo esperadas na região do Pantanal, em ocorrência da incursão de ar frio, assim como aperfeiçoar as previsões destes eventos, amenizando possíveis perdas e transtornos causados pelos mesmos.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar os casos gerais e intensos de eventos de friagens na região do Pantanal ocorridos entre 2007 e 2014, analisar o conforto térmico nos meses climatologicamente mais frios e caracterizar o ambiente sinótico do evento mais intenso de friagem.

## Revisão de Literatura

### 2.1 Caracterização geral da área de estudo

O Pantanal está localizado na região central da América do Sul (IBGE, 2004), entre os paralelos  $15^{\circ} 45'$  a  $22^{\circ} 15'$  de latitude Sul e os meridianos  $54^{\circ} 45'$  a  $58^{\circ}$  de longitude Oeste, abrangendo parte dos estados do Mato Grosso (7%) e Mato Grosso do Sul (25%) (VILA DA SILVA; ABDON, 1998) (Figura 1). Essa posição geográfica é de particular relevância, uma vez que representa o elo de ligação entre os domínios do Cerrado no Brasil Central, do Chaco na Bolívia e no Paraguai e da Região Amazônica ao Norte do continente (BRASIL, 1979; VILA DA SILVA; ABDON, 1998).

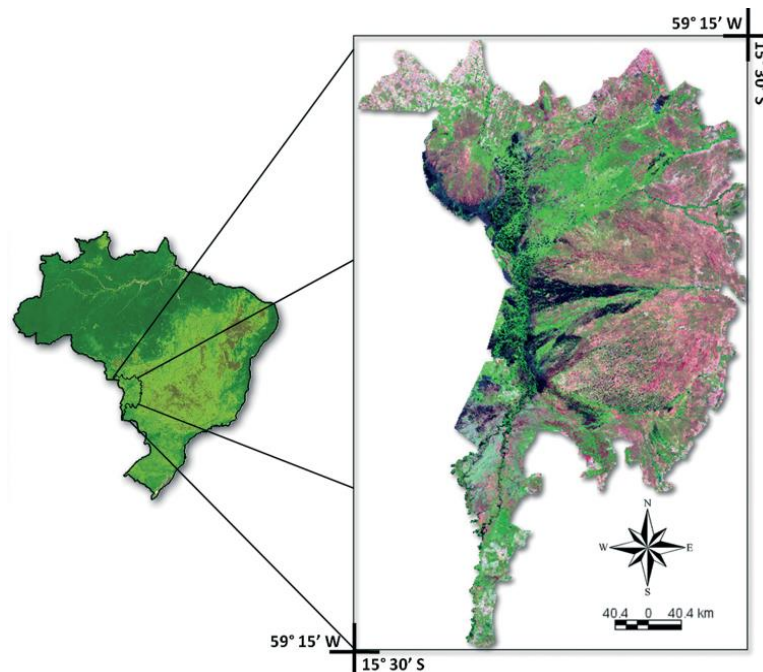


Figura 1 – Localização geográfica do Pantanal.

Fonte: SANTOS et al., 2009.

No Brasil, o Chaco representa uma pequena área na região sudoeste do Pantanal, em Mato Grosso do Sul (Pantanal do Nabileque) e se estende nos territórios boliviano, paraguaio e argentino. A porção que abrange os países vizinhos tem a denominação de “Gran-Chaco” ou simplesmente Chaco e a parte brasileira recebe a designação de Pantanal (FERNANDES; BEZERRA, 1990; EITEN, 1983; PRADO et al., 1992). Segundo Cristaldo (2002), o Chaco apresenta-se como uma grande extensão homogênea praticamente sem elevações topográficas.

Há divergências a respeito da extensão do Pantanal, já que cada autor delimita a região de acordo com o critério de maior relevância para o seu trabalho. Silva e Abdon (1998) apresentaram um resumo das principais delimitações do Pantanal que varia de 133.456 km<sup>2</sup> (ALVARENGA et al., 1984) a 168.000 km<sup>2</sup> (BRASIL, 1979). De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2004, o bioma apresenta uma extensão territorial que corresponde a 150.355 km<sup>2</sup>. Recentemente, Miotto et al. (2012) propuseram limite de 140.640 km<sup>2</sup>. Seu perímetro é de 3380 km e possui 770 km de extensão norte-sul (FARIAS, CHAN; 2006).

Devido às suas características ambientais, não há na vegetação homogeneidade, podendo ser encontradas desde gramíneas até árvores de grande porte que chegam a atingir alturas superiores a 20 metros (MAGALHÃES, 1992). Junk e Nunes (2005) apresentaram o Pantanal como extremamente diversificado, com cerca de 144 famílias de plantas superiores e mais de 1000 espécies de plantas, sendo as inundações um dos fatores condicionantes e controladores da manutenção da diversidade paisagística, faunística e florística.

O relevo do Pantanal é baixo, com altitudes que variam em média de 80 a 150 metros, com extremos de 75 a 1.029 metros (PEREIRA et al., 2010) (Figura 2a). A bacia do Rio Paraguai (Figura 2b), enaltesse as características de baixo relevo (quase ao nível do mar) apesar de estar localizada no meio do continente. As regiões mais baixas formam uma grande depressão na qual se formou e se localiza o bioma Pantanal (MIRANDA et al, 2005). Embora, em termos gerais, possua uma topografia plana, existem pequenas variações altimétricas em função dos processos de acumulação, originando paisagens distintas, localmente identificadas como cordilheiras, vazantes, corixos e baías (MS, 1994). As declividades são de apenas 0,07 a 0,5 m.km<sup>-1</sup>

no sentido leste-oeste e de 0,007 a 0,5 m.km<sup>-1</sup> no sentido norte-sul, o que lhe conferem um terreno praticamente plano (CALHEIROS; FONSECA JR, 1996; GARCIA, 1984).

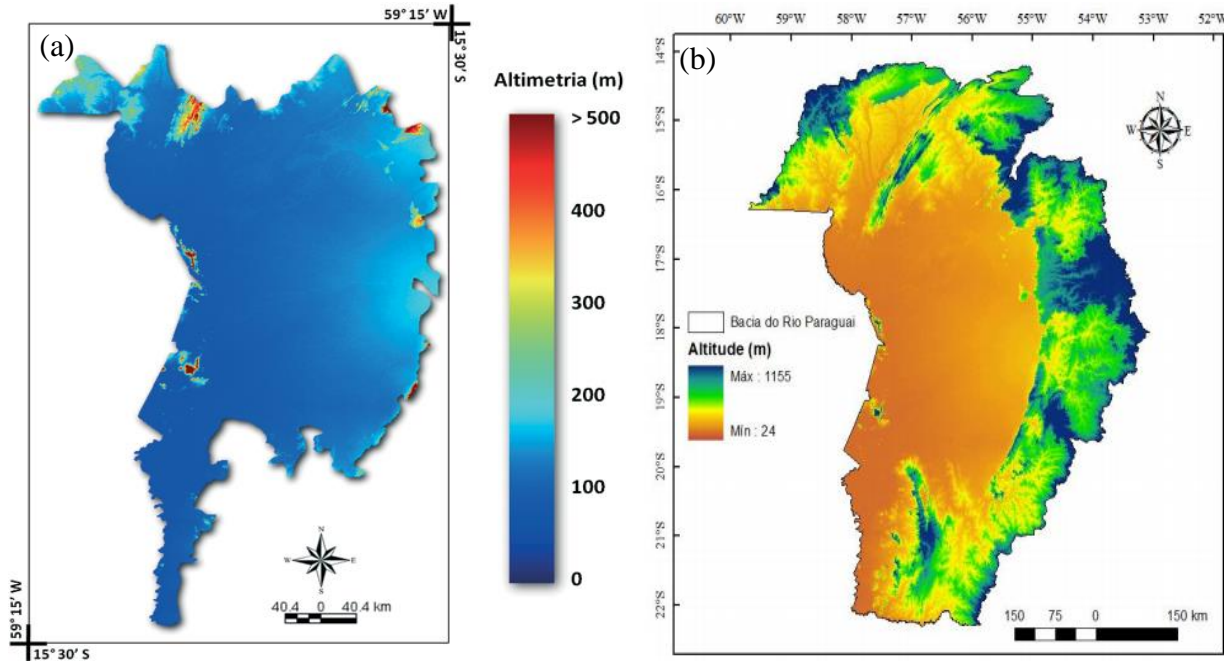


Figura 2 – Altimetria do Pantanal (a) e Bacia do Rio Paraguai (b).

Fonte: (a) SANTOS et al., 2009 e (b) NASA, 2001.

Uma das principais características do Pantanal é a ocorrência de inundações que varia ao longo do ano. A sazonalidade das inundações está diretamente relacionada ao regime de precipitação pluviométrica e por isso é importante compreender suas anomalias, entretanto há áreas que permanecem secas ou inundadas durante todo o ano (MARCUIZZO et al., 2010). A inundação proporciona trocas de água, sedimentos, componentes químicos e biotas entre o canal principal de um rio e sua planície de inundação, o que se traduz numa heterogeneidade ambiental acentuada (LOURIVAL et al., 2000).

O Pantanal é o quinto maior sistema de drenagem do mundo e o segundo da América do Sul, com mais de 3,1 milhões de km<sup>2</sup> (ASSINE; SILVA, 2009), sendo o rio Paraguai o principal canal de drenagem do bioma. Seus principais tributários na margem direita são os rios Jauru, Cabaçal e Sepotuba, e na margem esquerda os rios Cuiabá (com seus afluentes São Lourenço e Piquiri), Taquari, Miranda (com seu

afluente Aquidauana) e Apa. Na Figura 3 pode-se observar os principais tributários do rio Paraguai. Devido as baixas declividades predominantes no Pantanal, as águas que caem nas cabeceiras dos principais rios, levam até quatro meses para percorrerem toda a planície (ANDREASI, 2001).

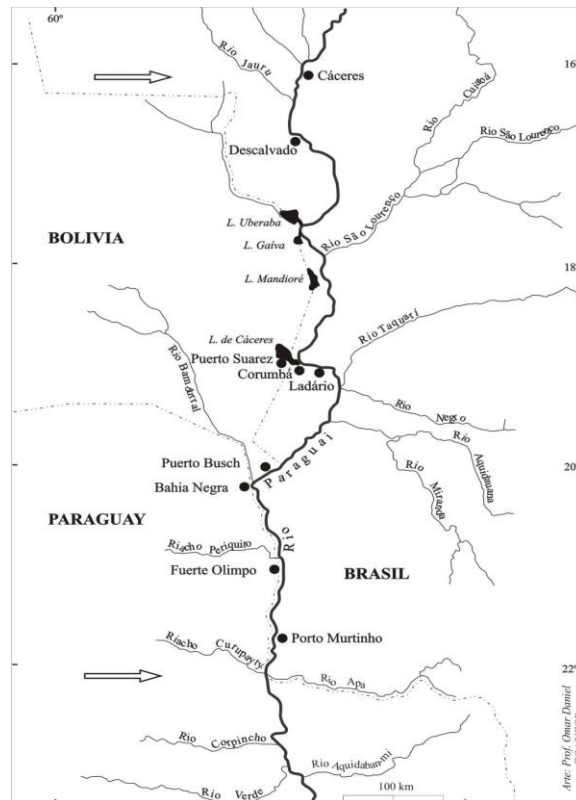


Figura 3 – Hidrografia do Pantanal.

Fonte: BRAZIL, 2007.

## 2.2 Aspectos socioeconômicos e problemas ambientais

As principais atividades econômicas do Pantanal são a cria e recria de gado de corte, a pesca, a mineração e o turismo, tendo a agricultura menor expressão (CALHEIROS; FONSECA JÚNIOR, 1996). Apenas 4,6% do Pantanal encontram-se protegidos por unidades de conservação, dos quais 2,9% correspondem a UCs de proteção integral e 1,7% a UCs de uso sustentável (BRASIL, 2015).

A colonização do Pantanal se deu pela atividade extrativista, sendo a pesca praticada por ribeirinhos a principal delas onde, aos poucos deram lugar à pecuária,

com o uso de pastagens nativas e artificiais de origem exótica, juntamente com o desmatamento e a degradação dos cursos de água (MATEUS et al., 2004).

O Pantanal, com o desenvolvimento da região Centro-Oeste e devido sua beleza cênica, passou a apresentar problemas ambientais como caça predatória para comercialização de peles, penas e animais vivos, turismo mal orientado, desmatamento, dentre outros (CALHEIROS; FONSECA JR, 1996), sendo a pecuária bovina em pastagem a principal causa do desmatamento na região, devido às queimadas provocadas por pecuaristas que encontraram desta forma o método mais econômico para limpar a pastagem (COUTINHO, 1990).

O município de Corumbá-MS apresenta-se como a mais populosa do complexo pantaneiro, com 109 mil habitantes (IBGE, 2016), sendo o único centro urbano com mais de 100 mil habitantes. Cáceres-MT é o segundo município mais populoso, com 90 mil, seguido de Aquidauana-MS com 47 mil. Conforme avaliação do Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento (PNUD, 2013), utilizando dados referentes a 2010, as 13 cidades que formam o Pantanal estavam classificadas como de médio e alto desenvolvimento humano, com índices acima de 0,6 numa escala de 0 a 1.

### **2.3 Clima**

De acordo com Nimer (1989), na Região Centro-Oeste do Brasil, com raríssimas exceções, domina um clima quente onde as oscilações da temperatura, de amenas a elevadas, constitui um caráter predominante do seu regime térmico. A região do Pantanal, inserida dentro da região Centro-Oeste, segue esse comportamento e é caracterizada pelo clima tropical, certificando a classificação climática de Köppen, com o tipo climático Aw de maior abrangência (clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno) (GARCIA, 1984). As letras “A” e “w” referem-se a característica climática levando em consideração a temperatura e precipitação, respectivamente. Assim, considera-se “A” para verões quentes (temperatura média do mês mais frio superior a 18°C) e “w” para secas de inverno e chuvas no verão (precipitação média anual entre 1000 e 1500 mm, com média mensal do mês mais seco abaixo dos 40 mm).

A temperatura média anual no Pantanal está em torno dos 25°C (GARCIA, 1984), podendo atingir no verão temperaturas próximas dos 40°C, enquanto que no inverno cai, apesar de apresentar grande parte do período com temperaturas elevadas, em alguns casos, até os 0°C (NIMER, 1989), como resultado da atuação de frentes frias que penetram nessa região. Ainda segundo o autor, no inverno, pela continentalidade da região e conseqüente secura do ar durante os tempos estáveis, registram-se no mesmo período, frequentes temperaturas baixas e elevadas, o que mantém as temperaturas médias do inverno pouco representativas.

O regime de chuva médio anual no Pantanal varia de 1000 a 1400 mm, com a maior parte da precipitação nos meses de novembro a março e, nos demais meses, tem-se o período seco. O sul do Pantanal, embora possua uma estação seca, apresenta chuvas melhor distribuídas ao longo do ano, sinalizando uma transição ao clima subtropical do sul do Brasil, caracterizado pela ausência de estação seca (GARCIA, 1984). Dentro o período chuvoso, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, concentra-se 45% da precipitação total anual (GUERRINI, 1978; BRASIL, 1979).

Os maiores volumes de precipitação ocorrem no entorno do Pantanal, região de planalto, o que favorece um equilíbrio hídrico (HASENACK et al., 2003) com as regiões de menores volumes pluviométricos, onde há um déficit hídrico entre a precipitação média anual e a taxa de evapotranspiração média anual (ALFONSI; PAES DE CAMARGO, 1986).

Esses regimes pluviométricos corroboraram com o encontrado por Marcuzzo et al. (2010), buscando compreender a distribuição temporal e a frequência das chuvas no bioma Pantanal ao longo de 30 anos (1977 à 2006), concluindo que a variação entre os maiores e menores índices de precipitação pluviométrica do período pode ser explicada pela localização geográfica e altimetria de cada estação. Os autores observaram que as estações onde se obteve maiores índices de precipitação foram as que estão localizadas em locais mais altos e as com menores índices de precipitação as localizadas em regiões de menor altitude.

## 2.4 Sistemas frontais

Os sistemas frontais assumem papel importante na caracterização do tempo de determinada região, pois produzem mudanças bruscas nas condições presentes (MARTINS et al., 2010), sendo classificados na escala meso (200 - 2000 km) de extensão e duração de dias a semanas (ORLANSKI, 1975). A ocorrência destes sistemas geralmente está associada à instabilidade, nuvens com grande desenvolvimento vertical, diminuição na temperatura, ventos mais fortes e precipitação (FEDOROVA, 1999).

A teoria de Bjerknes (1919) e Bjerknes e Solberg (1922) (Figura 4a) relacionam os sistemas frontais típicos das latitudes médias com os ciclones extratropicais, havendo uma frente fria e uma frente quente associada ao ciclone. O modelo de Shapiro e Keyser (1990) (Figura 4b) foi elaborado para intensos ciclones extratropicais oceânicos que apresentavam alguns comportamentos diferentes. Normalmente frios (frente frias), são sistemas impulsionados por ciclones extratropicais que usualmente se localizam sobre o Oceano Atlântico (RIBEIRO, 2014). As Regiões Sul e Sudeste do Brasil são consideradas regiões frontogênicas, onde os sistemas frontais se formam ou intensificam (SATYAMURTY; MATTOS, 1989).

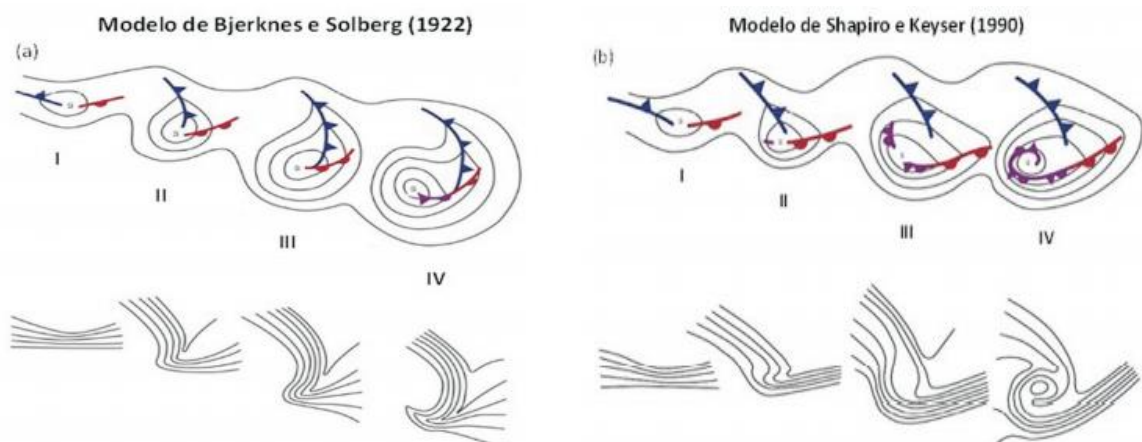


Figura 4 – Modelos conceituais do ciclo de vida dos ciclones extratropicais no Hemisfério Sul: a) modelo de Bjerknes e Solberg (1922) e b) modelo de Shapiro e Keyser (1990). O painel superior de cada modelo mostra a altura geopotencial em 850 hPa e as frentes fria (azul), quente (vermelha) e oclusa (roxa). Já o painel inferior apresenta a temperatura potencial também em 850 hPa. Os estágios de vida representam intervalos de 6 a 24 horas.

Fonte: Adaptado de Schultz et al. (1998) citado por Reboita et al. (2017).



Dentre os sistemas frontais que ocorrem na atmosfera, as frentes frias são os distúrbios transientes mais comuns, e torna-se de grande importância por provocarem mudanças significativas no tempo em diversas partes das Américas, como destaque, para as regiões de baixas latitudes (VIANA, 2015). Esses sistemas na América do Sul podem avançar pelo continente ou deslocar-se para o oceano Atlântico (SATYMURTY et al., 1998).

No âmbito global, as frentes surgem como uma maneira de compensar o balanço positivo de radiação nas regiões equatoriais e negativo nas regiões polares (WALLACE; HOBBS, 2006), transportando ar frio para as latitudes baixas e quente para as latitudes altas. Nesse transporte, muitas vezes a interação com as regiões de topografia elevada determina importante papel para o descolamento das frentes e ciclones (HAMILTON; TARIFA, 1978; GAN; RAO, 1994; SELUCHI et al., 2006).

Lemos e Calbete (1996), a partir dos critérios de Oliveira (1986) para identificação de sistemas frontais que tiveram descolamento pelo litoral do Brasil, apontaram que os sistemas frontais atuam durante o ano todo no país, com maiores frequências nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas. Os autores, que consideraram o período entre 1987 a 1995, observaram que as maiores frequências ocorreram de maio a dezembro.

Mattos (2002), a partir da série histórica de frentes entre 1986 a 2001 do boletim Climanálise, elaborou uma frequência média de zonas frontais na América do Sul e suas consequências em diferentes partes do Brasil, associadas ou não a ciclogêneses. O autor definiu quatro tipos padrões de ocorrência desses eventos, sendo eles: i) Frente de outono, inverno e primavera - causa friagem ( $< 4^{\circ}\text{C}$  no abrigo), havendo geada ao nível do solo e podendo causar precipitação intensa na Região Sul, quando estacionária; ii) Frente dissipando-se (frontólise) sobre a Região Sul do Brasil não ultrapassando latitude de Paranaguá - PR; iii) Frente afetando a costa leste da Região Nordeste do Brasil, ultrapassando latitude de Salvador - BA, atravessando todo o Atlântico Sul; iv) Frente de primavera, verão e outono causando precipitação intensa sobre a Região Sudeste do Brasil e menos frequentemente nas outras Regiões quando estacionária ou quando o número de frentes convectivas é maior que o normal.

Andrade (2005), a partir de uma climatologia do período entre 1980 a 2002, mostrou que a menor frequência de sistemas frontais ocorrem no verão e que há uma diminuição dos mesmos em direção a latitudes mais baixas. A autora destacou que o posicionamento dos sistemas de alta e baixa pressão, tanto no inverno como no verão, são características importantes no deslocamento dos sistemas em superfície.

#### **2.4.1 Friagem**

A passagem de frentes frias pelas regiões de latitudes tropicais, quando associado à incursão de ar frio, gerando diversas alterações nas variáveis meteorológicas é conhecida como fenômeno de Friagem (FISCH, 1996). Na literatura, diversos autores buscaram compreender o fenômeno através de diferentes metodologias, sejam espaciais e/ou temporais. Dentre esses estudos, muitos se basearam em estudar a região amazônica, como Myers (1964), Hamilton e Tarifa (1978), Nunes (1994), Fisch (1996), Marengo et al. (1997a), Marengo et al. (1997b), Oliveira et al. (2004), Longo e Dias (2004), Vilhena (2008), Amorim Neto (2013), Ricarte et al. (2014), Gomes (2015), dentre outros. Apesar disso, para as demais regiões dos trópicos há uma lacuna de estudos, como no Pantanal, mesmo estando geograficamente na porção mais meridional dos trópicos comparado a região amazônica.

Na região amazônica, dentre os vários autores que estudaram o fenômeno de friagem, seja associada à precipitação, climatologia de eventos, campos sinóticos quanto ao mecanismo de formação, dados de reanálise, etc., podemos citar Myers (1964), que analisou a ocorrência de intensas precipitações no Planalto das Guianas, concluindo que estes eventos estavam associados a incursão de ar mais frio onde, juntamente a barreira do planalto da região, favoreceram a convergência resultando na precipitação; Hamilton e Tarifa (1978), analisaram os aspectos sinóticos de uma intensa friagem ocorrida em julho de 1972, onde concluíram que episódios rigorosos de entrada de ar frio para menores latitudes dependem da formação de uma ciclogênese próxima à fronteira norte de uma intensa massa de ar frio, que ainda receba ar de latitudes altas, mas que tenha sido recentemente deslocado ao norte de 35°S; Fisch (1996), estudou a

Camada Limite Planetária na Amazônia, observando por meio de uma estatística simples com os dados de temperatura média do ar do período de 1992 a 1993, constatando que a camada limite planetária tornou-se mais estável e menos espessa na presença do fenômeno; Garreaud (2000), a partir das reanálises do NCEP/NCAR entre 1979 e 1995, descreveu a estrutura média e dinâmica das ondas de frio, para o inverno e verão.

O modelo conceitual proposto por Garreaud (2000) explica como ocorre geralmente a incursão de ar frio na América do Sul (Figura 5 a-c), mostrando a advecção de ar relativamente mais frio das maiores latitudes para menores latitudes, sendo impulsionado por uma circulação de vento associado a baixa célula de pressão (L) em superfície sobre o Atlântico sudoeste, produzindo resfriamento em baixos níveis ao longo das regiões leste da cadeia montanhosa dos Andes.

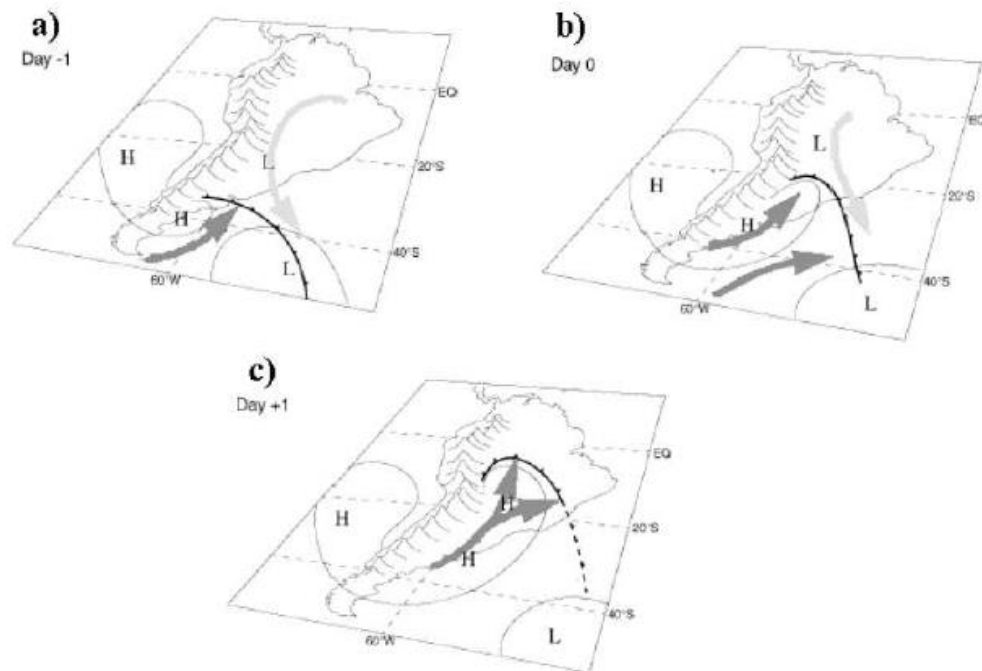


Figura 5 – Modelo conceitual para invasões de ar frio sobre a América do Sul (D-1, D0 e D+1). As setas mais escuras (claras) representam advecção de ar frio (quente), as linhas de contorno são as isóbaras. As letras L (H) representam as regiões de baixa (alta) pressão.

Fonte: Adaptada de GARREAUD (2000) citado por RIBEIRO (2012).

Outros autores também evidenciaram o papel canalizador dos Andes no escoamento do ramo norte da alta pressão migratória no continente, descolando-se

ageostroficamente das altas latitudes em direção ao Equador, principalmente no período do inverno devido às massas de ar frio serem fortalecidas nas altas latitudes em função da diminuição da radiação solar incidente (SELUCHI et al. 1998, SELUCHI; MARENGO, 1998; dentre outros).

No Pantanal, Fernandes (2014), buscando preencher a escassez de estudos para a região do Pantanal, estudou ocorrências de friagens na região do bioma baseando-se em dados meteorológicos da cidade de Coxim-MS e Aquidauana-MS, no período de 2007 a 2012. O autor identificou a ocorrência de 60 episódios de friagem, resultando numa média de 10 eventos por ano, sendo o período com maior frequência de ocorrência encontrado de abril a setembro, enquanto que janeiro e fevereiro não houve ocorrência do fenômeno. Ainda segundo o autor, a variável mais afetada pela atuação da friagem é a temperatura máxima e o primeiro dia de friagem o mais propício à ocorrência de precipitação, decaindo consideravelmente a probabilidade de chuva nos dias seguintes.

Santos et al. (2016) analisaram a circulação atmosférica decorrente do ambiente sinótico em um caso de friagem em julho de 2013, definindo como intenso (quanto à temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )) os casos de friagem onde tanto a temperatura mínima quanto a temperatura máxima diária apresentassem desvio negativo de  $5^{\circ}\text{C}$  em relação à Normal Climatológica (NC). Os autores observaram que o fenômeno perdurou por 5 dias e apresentou anomalia negativa de até  $16,4^{\circ}\text{C}$  na temperatura máxima e  $12,5^{\circ}\text{C}$  na temperatura mínima, e identificaram a configuração de uma onda de amplitude longa na forma de um cavado bastante amplificado e com forte orientação meridional que se intensificou e favoreceu em superfície a entrada de ar frio.

#### **2.4.1.1 Conforto Térmico**

O conforto térmico humano é definido como uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico (BUTERA, 1998). Fatores ambientais, tais como, temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e temperatura média radiante, influenciam diretamente o conforto térmico de um indivíduo (NEDEL, 2008). Através de

índices biometeorológicos, diversos autores analisaram o conforto térmico humano (SUPING et al., 1992; BUTERA, 1998; NEDEL, 2008, entre outros).

Suping et al. (1992) desenvolveram a aplicação do índice biometeorológico Temperatura Efetiva com Vento (TEv) levando em consideração os efeitos do vento, ao se assemelhar ao conceito de temperatura efetiva com base na sensibilidade individual de Ono e Kawamura (1991). Através de tal índice verificou-se o modo como o vento, geralmente, contribuiu para o conforto térmico de modo desfavorável e resultando em desconforto.

Quando há incursões de ar frio para regiões tropicais em consequência do fenômeno de friagem, as principais variações meteorológicas em superfície são notadas na direção e intensidade do vento, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e como já mencionada diversas vezes, a temperatura. Percebe-se, dependendo da intensidade do evento, uma influência direta no bem estar animal e humano com relação ao desconforto/estresse térmico pelo frio, podendo ocasionar mortes por hipotermia.

Roldán (2005), além de uma análise física da estrutura vertical da troposfera, antes, durante e depois do evento de friagem que ocorreu em Puerto Maldonado – Peru, entre 8 e 13 de julho do ano de 2000, o autor também mostrou o impacto que a queda brusca das temperaturas teve de caráter social na saúde da população amazônica, principalmente nas crianças e nos idosos. Foi constatada relação direta entre o número de casos de pneumonia com a maior frequência e intensidade dos eventos daquele ano.

No Pantanal, além do desconforto/estresse térmico pelo frio, a resposta corporal tanto de animais quanto de pessoas pode resultar em mortes por hipotermia. De acordo com Santos et al. (2012), somente em 2010 ocorreram aproximadamente 3 mil mortes de bovinos associadas a hipotermia em Mato Grosso do Sul. Naquele mesmo ano, duas pessoas morreram por hipotermia no Pantanal (AQUIDAUANA NEWS, 2013). Em julho de 2014 ocorreram quase mil mortes de bovinos por hipotermia (CANAL RURAL, 2014). Evidentemente, estudos do conforto térmico na região são importantes, amenizando tanto a escassez de trabalhos do tema quanto as possíveis perdas.

### **3 Metodologia**

#### **3.1 Identificação dos casos gerais de friagem**

Para a identificação dos eventos de friagem que ocorreram na região do Pantanal, no período de 2007 à 2014, foi utilizado, como primeiro critério, o boletim mensal Climanálise, disponível no site do Centro de Previsão do Tempo e Pesquisas Climáticas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). A seção utilizada foi referente a Sistemas Frontais e Frontogênese, considerando os casos de Sistema Frontal (SF) que atingiram a cidade de Cuiabá, no Estado de Mato Grosso. Esta localidade foi tomada como base por estar localizada no norte do Pantanal, e, uma vez que as frentes frias no Hemisfério Sul avançam no sentido Sudoeste-Nordeste (Cavalcanti e Kousky, 2009), o sistema que chega até Cuiabá, passa antes por toda a região do Pantanal. Esse critério impediu que fosse contabilizado como friagem ingressos de ar frio que não influenciasse as temperaturas em toda extensão do Pantanal.

Posteriormente, a partir do SF, foram analisadas as temperaturas mínimas ( $T_{min}$ , °C) e temperaturas máximas ( $T_{max}$ , °C) diárias da cidade de Coxim-MS, como segundo critério, com base na estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET. Essa localidade foi a única da região do Pantanal que apresentou uniformidade nos dados disponíveis e, portanto, foi tomada como base para representar a região.

Foi considerado caso de friagem eventos que apresentaram desvios negativos em relação à Normal Climatológica (NC) do período de 1961 a 1990 (INMET), das  $T_{min}$

e/ou  $T_{max}$  ( $DT_{min}$  e  $DT_{max}$ ) no dia posterior a passagem do SF. Critérios semelhantes, levando em consideração as temperaturas para identificação de friagem, foram utilizadas por Mattos (2010) e Ribeiro (2012).

Para definir a duração de cada evento de friagem, foi considerado o dia da passagem do SF em Cuiabá como o primeiro dia do evento, e, o último dia, sendo aquele anterior ao dia em que ambas temperaturas ( $T_{min}$  e  $T_{max}$ ) não apresentarem desvio negativo ( $DT_{min}$ ,  $DT_{max}$ ) ou o dia anterior ao segundo dia consecutivo sem apresentar desvio negativo de temperatura ( $DT_{min}$ ,  $DT_{max}$ ), em relação à NC. Critério semelhante foi utilizado por Fernandes (2014) em seu trabalho de friagens na região, porém o autor considerou  $D_{tmin}$  e  $D_{Tmax}$  em relação a média das  $T_{min}$  e  $T_{max}$  do período do estudo.

Após a seleção destes episódios, foi avaliada a distribuição anual, mensal e diária dos mesmos. Para avaliação diária de  $T_{min}$  e  $T_{max}$ , foi considerado D-1 ao dia anterior da friagem, D0 o primeiro dia, D+1 o segundo do evento, e assim sucessivamente.

### **3.2 Identificação dos casos intensos de friagem**

A definição dos casos intensos de friagem foi feita com base no desvio padrão médio (DP) dos valores  $DT_{min}$  e  $DT_{max}$ , para todos os casos de friagem. Ou seja, foram calculados dos  $DT_{min}$  e  $DT_{max}$  para cada um dos casos gerais e então, calculado o Desvio Padrão dos casos de friagem ( $DT_f$ ).

Assim, foi considerado caso intenso de friagem, os eventos onde tanto o  $DT_{min}$  como o  $DT_{max}$  apresentaram valores iguais ou superiores a  $DT_f$ , sendo este de 4°C.

### **3.3 Análise do Conforto Térmico**

A análise do conforto térmico compreendeu os meses de junho, julho e agosto (JJA), meses do ano com maior frequência de frentes frias e período climatologicamente mais frio (NIMER, 1989; FERNANDES, 2014), de todos os anos do trabalho (2007 a 2014). Para aplicação do índice biometeorológico Temperatura Efetiva

com Vento (TE<sub>v</sub>), foram utilizados dados horários de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m/s), em Coxim-MS, conforme descreve a Equação 1 de Suping et al. (1992).

$$TE_v = 37 - \frac{(37 - T_a)}{\left[0,68 - 0,0014UR + \frac{1}{(1,76 + 1,4v^{0,75})}\right]} - 0,29T_a \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (1)$$

Através de zonas de conforto térmico (faixas interpretativas), caracterizou-se as sensações de confortos térmicos que mais ocorreram na cidade. Devido ao Pantanal não possuir uma classificação das zonas de conforto térmico adequadas aos padrões climáticos da região, o trabalho utilizou-se da Classificação Térmica desenvolvida por Maia e Gonçalves (2002) na cidade de São Paulo. Os autores relacionaram sensação térmica, dentro das faixas interpretativas do conforto térmico percebido, por *Muito Frio* (<13°C), *Frio* (13 – 16°C), *Frio Moderado* (16 – 19°C), *Ligeiramente Frio* (19 – 22°C), *Confortável* (22 – 25°C), *Ligeiramente Quente* (25 – 28°C), *Quente Moderado* (28 – 31°C), *Quente* (31 – 34°C) e por *Muito Quente* (>34°C).

### 3.5 Análise sinótica: Estudo de Caso

Para a análise sinótica do caso de friagem mais intenso, foi utilizado dados de reanálises do Modern Era Retrospective Analysis for Research and Applications 2 (MERRA-2) desenvolvido no Goddard Space Flight Center da National Aeronautics and Space Administration (GSFC/NASA) (RIENECKER et al., 2011), com resolução de 0.66° de longitude e 0.5° de latitude com intervalo de tempo de 6 horas. Foi utilizado: campos de pressão ao nível médio do mar (hPa), temperatura em 850hPa, componente zonal (u) e componente meridional (v) do vento em 250hPa e 850hPa, altura geopotencial em 1000hPa e 500hPa, para avaliar o comportamento do ambiente sinótico associado ao evento mais intenso de friagem.

Foi utilizado o Grid Analysis and Display System (GrADS), ferramenta interativa de visualização de dados, e utilizado imagens de satélites do *Geostationary Operational Environmental Satellite 13* (GOES-13) do canal visível (0,65 μm), da National Oceanic



and Atmospheric Administration (NOAA), obtidas no site do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE), com o intuito de verificar as características gerais de convecção devido à passagem do sistema.

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Distribuições mensais, anuais e duração dos casos gerais de friagem

Durante o período de 2007 a 2014, foram identificados 72 eventos de friagens atuando sobre a região do Pantanal, baseado nos critérios de identificação do fenômeno. Fernandes (2014) identificou 60 casos de friagens entre 2007 e 2012 (mesmo valor encontrado neste trabalho para o período de 2007 a 2012).

Na análise da distribuição anual dos eventos, verificou-se que a maior frequência de ocorrência de friagem ocorreu no ano de 2010, com um total de 12 eventos (Figura 6), seguido pelos anos de 2007, 2008 e 2009 com 11 eventos cada, enquanto que o ano de 2014 apresentou-se com a menor frequência, com 5 eventos. É possível observar nos anos entre 2007 a 2010, que a variabilidade interanual correspondeu ao maior número de casos ou aproximadamente 63% de todos os eventos, havendo assim uma diminuição da ocorrência do fenômeno nos últimos anos.

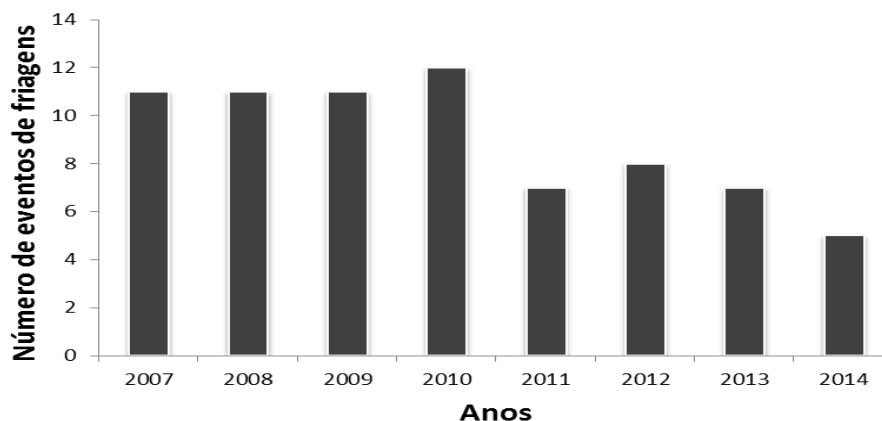


Figura 6 – Distribuição anual dos eventos de friagens para a região do Pantanal entre os anos de 2007 e 2014 com dados da cidade de Coxim-MS.

Pela distribuição mensal dos eventos de friagem (Figura 7), verificou-se que a maior frequência ocorreu em agosto, totalizando 16 eventos, seguido por maio com 12 eventos, junho e setembro contabilizando 11 eventos em cada mês e julho com 10. Observou-se entre maio e setembro, período climatologicamente mais frio na região, a ocorrência de maior frequência dos eventos, acumulando 60 friagens, correspondendo a aproximadamente 84% de todos os casos abordados neste trabalho. Nenhum evento de friagem ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro.

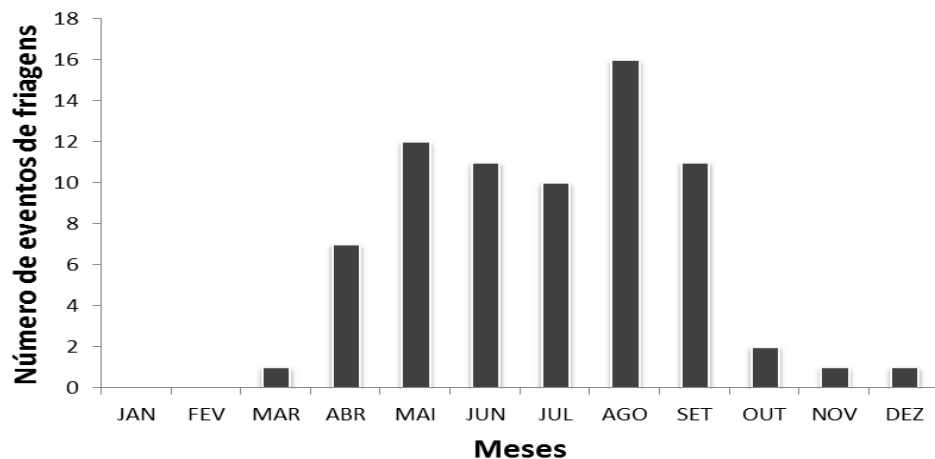


Figura 7 – Distribuição mensal dos eventos de friagens para a região do Pantanal entre os anos de 2007 e 2014 com dados da cidade de Coxim-MS.

Os resultados aqui encontrados concordam com o apresentado por Gan e Rao (1991), quando elaboraram uma climatologia das ciclogêneses no sul da América do Sul de 1979 a 1988, que é um mecanismo que impulsiona as massas de ar frio das altas latitudes para as baixas latitudes (SELUCHI, 2009; GARREAUD, 2000), onde observaram o inverno com maior frequência, destacaram ainda, que o período de menor frequência ocorreu durante o verão (dezembro a fevereiro). Além desse, assemelha-se também com o trabalho de Garreaud (2000) para a região Amazônica entre os anos de 1979 e 1995, onde o período de abril a setembro foi o de maior frequência; o trabalho de Ricarte et al. (2014), com o maior número de casos de friagens (chamado de “surto frio” pelos autores) do período de 1979 a 2008 ocorrendo no mês de julho, sendo os meses entre maio e setembro com maior frequência; e

coincide com o trabalho de Fernandes (2014) que identificou maio e agosto com maior frequência de eventos de friagem.

Considerando-se os 72 eventos observados nos oito anos de estudo e, um total de 314 dias sob o efeito de friagens (Figura 8), obteve-se uma média de 9 friagens.ano<sup>-1</sup> em Coxim. Os trabalhos de Brinkman et al. (1971), Brinkman e Ribeiro (1972), Fisch (1996), Cavalcanti e Kousky (2009), Ricarte et al. (2014) e Fernandes (2014) também buscaram analisar tais médias. Os quatro primeiros trabalhos, respectivamente, foram aplicados para região amazônica. Brinkman et al. (1971) e Brinkman e Ribeiro (1972) identificaram na Amazônia Central, ocorrência de 2 a 3 friagens.ano<sup>-1</sup>, durante os meses de seca (junho a outubro). Fisch (1996) em seu trabalho, aplicando uma estatística simples do número de eventos de friagem na região do Sul do Pará, durante os anos de 1992 e 1993, obteve uma frequência de ocorrência de 7 friagens.ano<sup>-1</sup>, durante os meses de maio a agosto. Cavalcanti e Kousky (2009) encontraram resultado superior ao observado neste trabalho ao estudarem a América do Sul, onde indicaram intervalo de 15 a 20 friagens.ano<sup>-1</sup> para a região do Pantanal no período de 1979 a 2005. No entanto, os autores utilizaram dados de reanálises e definiram como critério para a determinação de frentes frias variação da Pressão ao Nível Médio do Mar (PNM), temperatura, direção e sentido do vento em 925 hPa, o que pode ser um dos motivos da maior diferença dos resultados encontrados neste trabalho (utilizando dados em superfície). Ricarte et al. (2014) encontraram variabilidade interanual média de 5 friagens.ano<sup>-1</sup> em Vilhena – Rondônia, no período de 1979 a 2008, variado de 2 a 10 casos por ano. Já Fernandes (2014) encontrou valor um pouco superior de 10 friagens.ano<sup>-1</sup>, principalmente ao diferente critério de identificação de friagem.

Destacando o número de dias sob influência do evento (Figura 8), os resultados apontaram média de 42,6 dias.ano<sup>-1</sup> em Coxim, valor um pouco inferior ao encontrado por Fernandes (2014), de 44,8 dias.ano<sup>-1</sup>. O ano de maior frequência foi 2010 com um total de 60 dias.ano<sup>-1</sup>. Apesar do ano de 2013 ter apresentado menor número de SF no período em relação a 2007, 2008, 2009 e 2012, o total de 44 dias.ano<sup>-1</sup> ficou acima dos 43 dias.ano<sup>-1</sup>, 38 dias.ano<sup>-1</sup>, 36 dias.ano<sup>-1</sup> e 37 dias.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Esse resultado implica que não necessariamente um maior número de SF anual resultará em períodos de dias frios mais duradores.

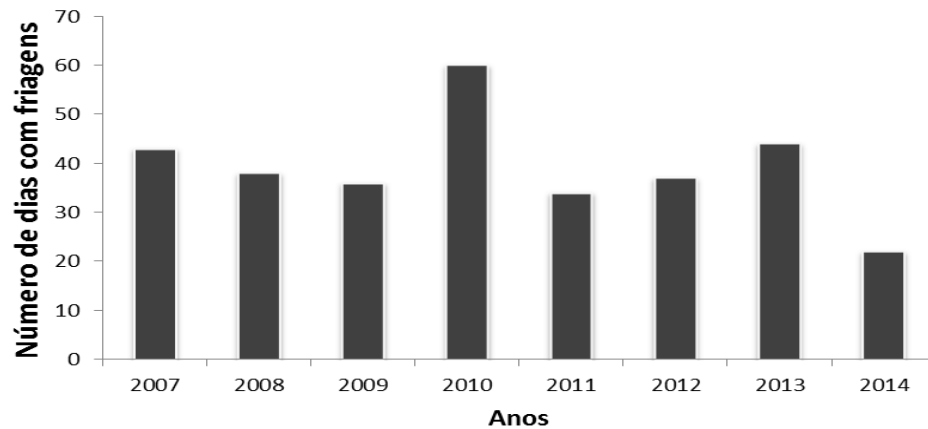


Figura 8 – Número de dias do ano sob friagem em Coxim-MS (2007 a 2014).

Ao mesmo tempo em que o mês de agosto apresentou, durante todo o período, o maior número de SF, o maior número de dias sob efeito de friagem ao longo de todos os anos do estudo também foi registrado no respectivo mês, com 66 dias.ano<sup>-1</sup> (Figura 9). Os meses de maio e julho apresentaram a sequência mensal de maiores valores, com 63 e 61 dias.ano<sup>-1</sup>, na devida ordem. O período estudado foi de 8 anos, ou seja, como agosto, maio e julho têm 31 dias cada, foram analisados 248 dias de agosto, maio e de julho nestes anos. Destes 248 dias, 66 dias de agosto, no período total dos 8 anos, estiveram sob a atuação de friagem. Não obstante, o mês de maio dos 248 dias dentro dos oito anos, totalizou 63 dias com friagem, assim como julho, dos 248 dias, apresentou 61 dias sob a influência de friagem (Figura 9). O mês de junho totalizou 45 dias, seguido por abril e setembro, com 37 e 30 dias, respectivamente. Essa distribuição do número de dias mensalmente correspondeu a 75% apenas entre maio a agosto. Ainda, analisando cada mês individualmente, os meses que mais apresentaram dias sob o fenômeno foram maio de 2010 e abril e agosto de 2013, com 16 dias.ano<sup>-1</sup> cada um.

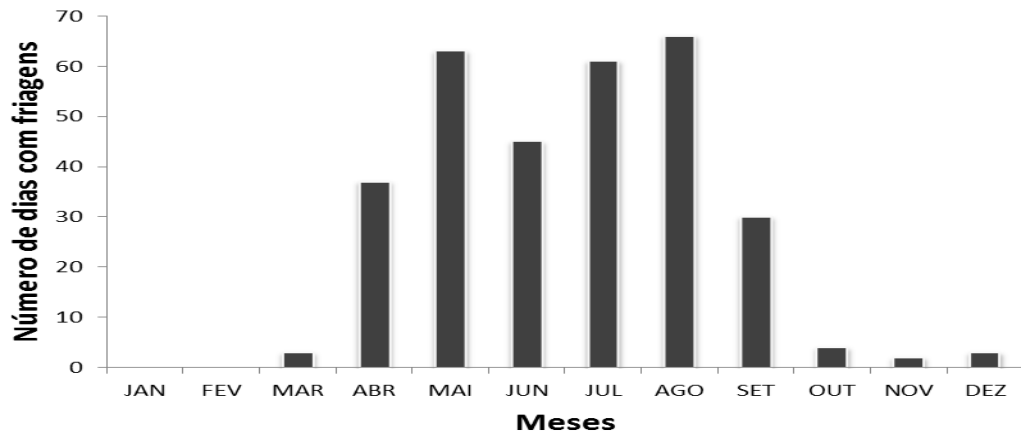


Figura 9 – Distribuição mensal do número de dias sob efeito de eventos de friagens em Coxim-MS entre os anos de 2007 e 2014.

A duração média encontrada para cada evento de friagem foi de 4,3 dias, o que está de acordo com do estimado na literatura entre 2 a 5 dias para a Amazônia (NIMER, 1989; PINTO JR; SILVA, 2012). Comparado ao trabalho de Fernandes (2014), o achado ficou abaixo, mas bem próximo, dos 4,5 dias para Coxim-MS. Marengo et al. (1997) observaram que o tempo para que as variáveis meteorológicas voltem às condições normais na região amazônica, durante um evento de friagem, varia em média, entre 5 e 6 dias.

#### 4.1.1 Análise das temperaturas e desvios de temperaturas

Em dias de friagens, ao longo dos 8 anos do trabalho, a média da Tmin foi de 14,3°C, enquanto que esse mesmo cálculo para a Tmax, resultou em 27,4°C. Esses valores, comparados com a NC anual, apontaram decréscimo de 5°C para a Tmin e 4,6°C para Tmax. Além disso, cabe destacar que esses comportamentos das temperaturas ficaram abaixo dos menores valores mensais de temperatura para a cidade (Figura 10).

Pela análise da Figura 10, nota-se em D-1, Tmax elevada que proporcionou a maior queda de temperatura de um dia para o outro sob atuação da friagem, com decaimento de 5,1°C em D0. Logo em D0 a Tmin cai para 17,1°C (18,2°C em D-1) e a Tmax para 26,5°C (31,6°C em D-1) na média. Em D+1 a Tmin cai para 14,2°C e a Tmax para 25,3°C, menor valor de Tmax. A partir de D+2 nota-se que a Tmax volta a ter

acrécimo dos valores, subindo aos 31,5°C em D+8, enquanto que T<sub>min</sub> continua suavemente com decréscimo, caindo aos 11,7°C em D+6 e voltando a subir nos dias posteriores.

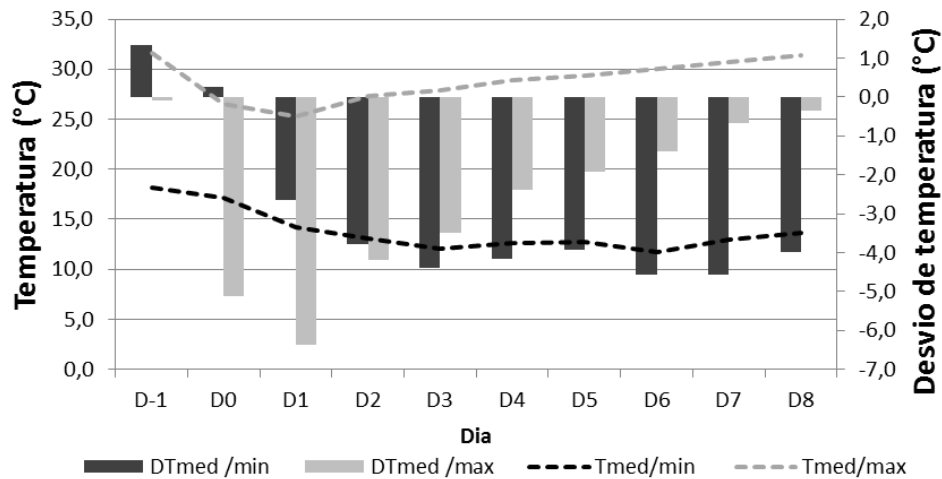


Figura 10 – Evolução diária (D-1 a D+8) das médias de temperaturas mínimas e máximas (T<sub>med/min</sub> e T<sub>med/max</sub>, °C) (linhas pontilhadas) e desvio de temperatura (DT<sub>med/min</sub> e DT<sub>med/max</sub>, °C) (barras) em relação a normal climatológica em eventos de friagem para a cidade de Coxim-MS no período de 2007 a 2014.

De acordo com Nimer (1989), posteriormente à ação direta do anticiclone polar, sucedendo à passagem de frentes frias, a continuidade da queda da temperatura do ar deve-se, geralmente, devido ao anticiclone polar em contínuo avanço diminuir as turbulências dos dias anteriores e o céu tornar-se limpo, favorecendo intensa perda da radiação noturna. Esse comportamento encontrado no trabalho também foi discutido por Escobar (2007), relacionando o padrão típico de circulação em superfície do anticiclone pós-frontal manter características continentais, favorecendo a intensificação da perda radiativa durante a noite e em consequência provocar temperaturas mínimas mais baixas.

A Tabela 1 apresenta o menor valor de T<sub>min</sub> e T<sub>max</sub> registrada em cada mês, ao longo do período de estudo, e o desvio em relação à NC com o ano de ocorrência de cada valor extremo. O maior valor de DT<sub>min</sub> foi de -12,5°C no dia 25/07/2013, que corresponde ao dia de menor T<sub>min</sub> registrada de 2,4°C. O maior DT<sub>max</sub> (-16,4°C) ocorreu em julho de 2013 e 2014, com T<sub>max</sub> de 15,2°C. Pode-se observar com estes

resultados, que não necessariamente valores com maiores desvios de temperatura apresentaram menores Tmin e Tmax, como o ocorrido em abril e junho e abril e outubro, na devida ordem. Ou seja, apesar do mês de abril ter apresentado maior valor de DTmin (-10,0°C) comparado a junho (-9,1°C), o menor valor de Tmin foi observado em junho (5,8°C) em relação a abril (10,3°C). Da mesma forma, o maior valor de DTmax em outubro (-11,1°C) resultou em Tmax maior do que o Tmax de abril, mesmo apresentando menor valor de DTmax (-9,8°C).

Tabela 1 – Desvio negativo da Tmin e Tmax dos eventos de friagem em Coxim-MS no período de 2007 a 2014.

<b>Mês</b>	<b>Tmin (°C)</b>	<b>Tmax (°C)</b>	<b>NC Tmin (°C)</b>	<b>NC Tmax (°C)</b>	<b>DTmin (°C)</b>	<b>DTmax (°C)</b>
<b>Março</b>	15	26,7	21,7	32,3	-6,7 (2012)	-5,6 (2012)
<b>Abril</b>	10,3	22,2	20,3	32	-10 (2012)	-9,8 (2008)
<b>Mai</b>	5,5	18,2	17,4	30,7	-11,9 (2010)	-12,5 (2008)
<b>Junho</b>	5,8	17,5	14,9	29,5	-9,1 (2009)	-12 (2011)
<b>Julho</b>	2,4	15,2	14,9	31,6	-12,5 (2013)	-16,4 (2013/14)
<b>Agosto</b>	5,4	18	15,5	32,5	-10,1 (2013)	-14,5 (2013)
<b>Setembro</b>	7,6	23,3	18,7	32,7	-11,1 (2008)	-9,4 (2009)
<b>Outubro</b>	18,9	22,6	20,8	33,7	-1,9 (2010)	-11,1 (2008)
<b>Novembro</b>	19,7	27,9	21,6	33	-1,9 (2010)	-5,1 (2010)
<b>Dezembro</b>	19,8	27,1	22,1	32	-2,3 (2010)	-4,9 (2010)

#### 4.2 Distribuições mensais, anuais e duração dos casos intensos de friagens

Com base no DP dos desvios de Tmin e Tmax (DTmin e DTmax, respectivamente), dos casos de friagem (DPf) do período de 2007 a 2014, definiu-se o valor de -4 °C como sendo o limiar para os casos friagem intensos. Ou seja, os casos



que apresentaram valores negativos de DTmax e DTmin iguais ou superiores à 4 °C no mesmo dia, foram considerados casos intensos de friagem. Desta maneira, dos 72 eventos de friagem identificados na região do Pantanal, durante o período de estudo, 27 eventos foram definidos como intensos (DT4Temp).

Na análise da distribuição anual dos eventos intensos, verificou-se que a maior frequência de ocorrência de friagem ocorreu nos anos de 2010 e 2013, com um total de 5 eventos cada (Figura 11), seguido pelos anos de 2007 e 2011 com 4 eventos cada, enquanto que o ano de 2014 apresentou-se com a menor frequência, com apenas 1 evento. Esses resultados corroboram com o encontrado no item 4.1. Nota-se, tanto pela distribuição anual dos casos gerais, quanto aos casos intensos, que o ano de 2010 destacou-se pelo maior número de eventos. No entanto, apesar do ano de 2013 ter ficado entre os anos com menores frequências de casos gerais de friagem, também registrou o maior número de casos intensos. Enquanto que no ano de 2010 os casos intensos corresponderam a aproximadamente 42% dos casos gerais, em 2013 os casos intensos representaram 70% dos eventos de friagens que modificaram os padrões climatológicos com o ingresso do ar frio na região pantaneira. Ainda de acordo com a Figura 11, é possível observar o ano de 2014 com o menor número de casos gerais, assim como de caso intenso. Com isso, a variabilidade interanual do número de casos que ocorrem no período variou de 1 a 5 casos por ano, e uma média de 3,4 friagens.ano<sup>-1</sup>.

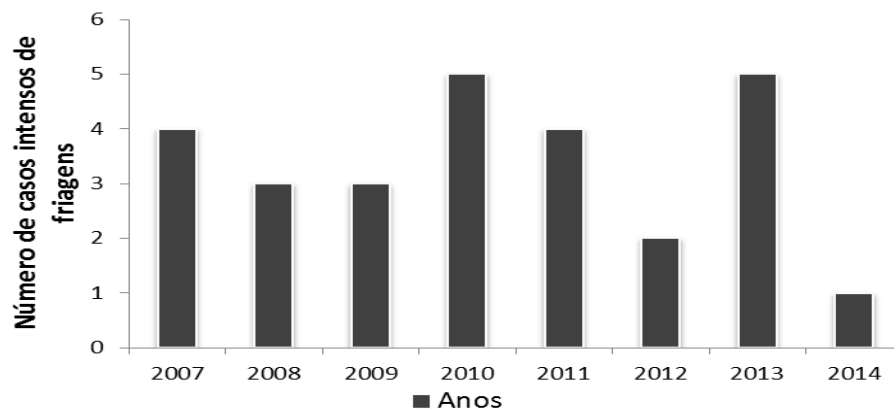


Figura 11 – Distribuição anual dos eventos intensos de friagens para a região do Pantanal entre os anos de 2007 e 2014 com dados da cidade de Coxim-MS.

Pela distribuição mensal dos eventos intensos de friagem (Figura 12), as maiores frequências ocorreram em julho e agosto, totalizando 8 eventos cada, seguido por maio com 5 eventos, setembro contabilizando 3 eventos, junho com 2 eventos e abril com 1 evento. Esses resultados implicaram que apenas nos meses de julho e agosto os casos intensos corresponderam a 60% de todos os eventos. O mês de julho destaca-se por apresentar 80% como intenso, dentre os casos gerais, enquanto que agosto esse valor correspondeu à metade dos casos.

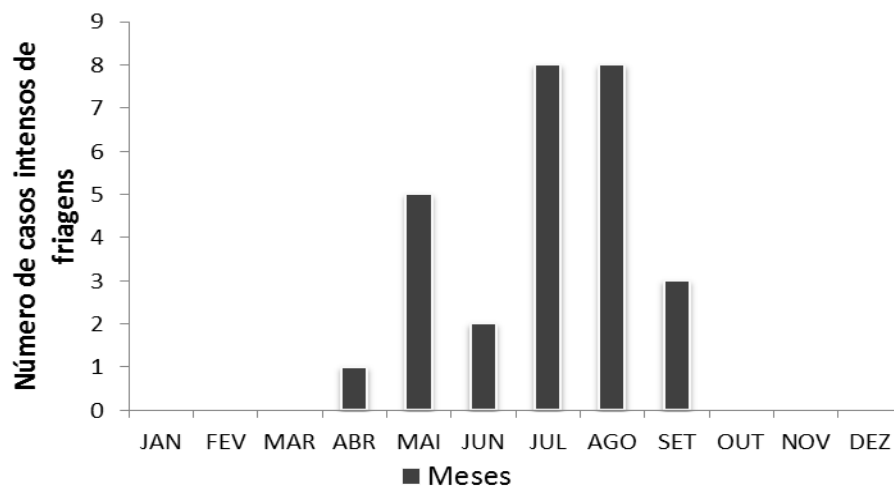


Figura 12 – Distribuição anual dos eventos intensos de friagens para a região do Pantanal entre os anos de 2007 e 2014 com dados da cidade de Coxim-MS.

### 4.3 Análise do conforto térmico

Durante os meses que compreenderam a análise do conforto térmico, de JJA do período de 2007 a 2014, foram identificados 38 eventos de friagens em Coxim (Figura 13 a-b) dentre os casos gerais. Nesse momento, tornou-se preciso apresentar a distribuição anual e mensal dos eventos do dado trimestre devido os cálculos desse item serem reduzidos a esse período. Diante disso, os resultados mostraram o ano de 2009 e o mês de agosto com os maiores números de eventos, com 7 e 16, respectivamente, enquanto que 2008 e o meses de junho e julho apresentaram os menores número de eventos, com 3 e 11, respectivamente (Figura 13a).

O total de dias sob efeito de friagens correspondeu a 157 dias durante o período considerado (Figura 13b), sendo os anos de 2012 com maior número de dias sob

friagens e o mês de agosto com o maior número, 25 e 60 respectivamente. O mês de julho apresentou-se com frequência muito próxima a julho, com 59 dias, apesar de apresentar cinco eventos a menos. Já no mês de junho foi observado 48 dias sob efeito de friagens.

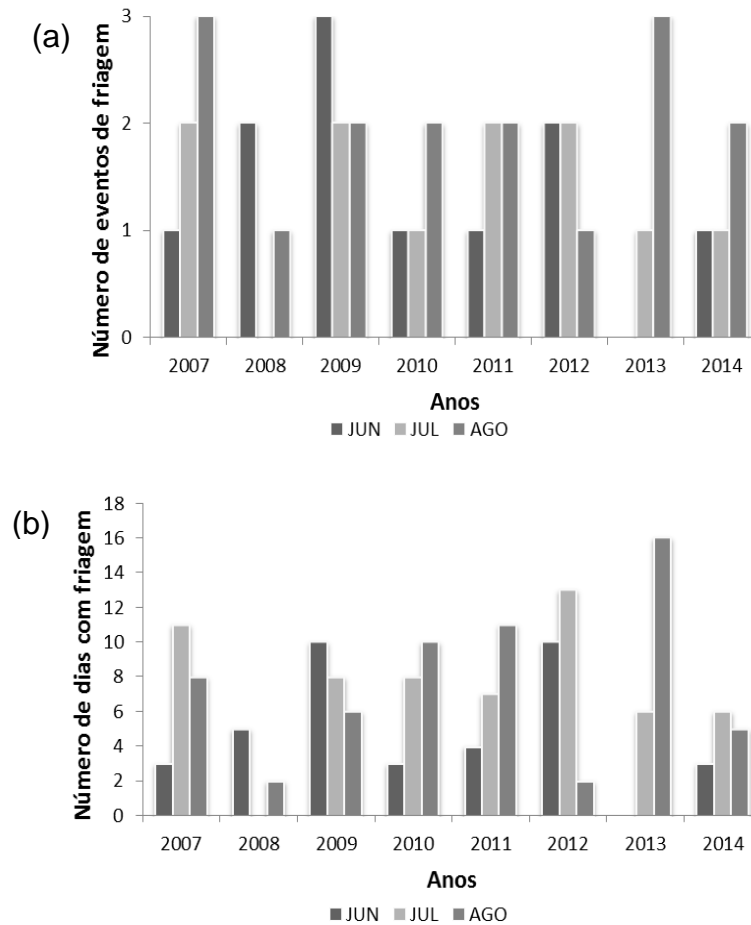


Figura 13 (a-b) – Número de eventos de friagens (a) e total de dias sob eventos de friagens (b) anual e mensal (JJA) em Coxim-MS no período de 2007 a 2014.

A condição do conforto térmico calculada através do índice TE<sub>v</sub> é apresentada na Tabela 2. Devido a falhas na série temporal dos dados das variáveis umidade relativa do ar e velocidade do vento, os anos de 2012 e 2013 não foram considerados. Entretanto, para os outros anos, a maior parte dos meses JJA apresentou-se, conforme as faixas interpretativas do conforto térmico desenvolvida por Maia e Gonçalves (2002), dentro da faixa de *Ligeiramente Frio* (19 - 22°C), seguido por desconforto por *Frio*

*Moderado* (16 – 19°C), enquanto que, sob atuação de eventos de friagens, obteve-se um desconforto maior por *Muito Frio* (<13°C).

Os resultados apontaram em média os meses de julho com maior frequência de estresse térmico por *Muito frio* (543 horas), seguido por junho (325 horas) e agosto (319 horas). Junho apresentou maior frequência na faixa de *Confortável* (22 – 25°C), já agosto maior número de horas com sensação térmica por *Ligeiramente Quente* (25 – 28°C) e por *Quente Moderado* (28 – 31°C). Não houve durante todo período desconforto por *Quente* (31 – 34°C) e por *Muito Quente* (>34°C).

Tabela 2 – Conforto térmico e total de horas entre JJA de 2007/2011 e 2014 em Coxim-MS.

<b>Sensação Térmica</b>	<b>Junho (horas)</b>	<b>Julho (horas)</b>	<b>Agosto (horas)</b>
<b>Muito Frio</b>	325	543	319
<b>Frio</b>	562	523	515
<b>Frio Moderado</b>	1020	1002	953
<b>Ligeiramente Frio</b>	1106	993	988
<b>Confortável</b>	831	761	760
<b>Ligeiramente Quente</b>	377	486	706
<b>Quente Moderado</b>	0	0	117
<b>Quente</b>	0	0	0
<b>Muito Quente</b>	0	0	0

O menor valor de TEv (1,76°C) foi observado às 12 Universal Time Coordinated (UTC) do dia 03 de junho de 2009, decorrente de um fenômeno de friagem que ocasionou temperatura mínima diária de 5,8°C e temperatura máxima diária de 22,8°C (Figura 14a).

Outra ocasião de estresse térmico ocorreu em julho de 2010, sob atuação de um fenômeno de friagem, onde foi observado apenas 2,1°C de TEv no dia 19 (Figura 14b). De acordo com Santos et al. (2012), somente em 2010 ocorreram aproximadamente 3 mil mortes de bovinos associadas a hipotermia no MS. Naquele mesmo ano, como já discutido anteriormente, duas pessoas morreram por hipotermia no Pantanal (AQUIDAUANA NEWS, 2013).

Em julho de 2014 ocorreram quase mil mortes de bovinos por hipotermia (CANAL RURAL, 2014) sob um fenômeno de friagem, onde se observou menor valor de TEv de

7,5°C no dia 24. Neste mesmo evento ocorreu o maior desvio negativo de temperatura máxima (16,4°C) de todo período do trabalho, no dia 25 de julho. Embora não tenha apresentado valores de TEv baixo como o ocorrido em junho de 2009, cabe destacar que a maior ocorrência de mortes dos bovinos neste episódio de friagem pode ter sido decorrente da maior queda brusca de temperatura em poucas horas, como discutido por Santos et al. (2012). Os autores analisaram ocorrência periódica de mortalidade de bovinos por hipotermia no MS ocorridos de agosto de 2000 a julho de 2010, em 13 municípios do Estado, incluindo cidades do Pantanal. Foram relatados 16 surtos associados a uma queda brusca de temperatura, de até 29°C, em intervalos de 1 a 4 dias associada à chuva e vento.

No ano de 2011 foi registrado o menor valor de TEv dentre todos os meses de agosto (Figura 14c), onde foi observado às 12 UTC do dia 04, do respectivo mês, com sensação térmica de apenas 2,5°C, ocasionada pela atuação de friagem que provocou temperatura mínima diária de 5,7°C e temperatura máxima de 23,2°C.

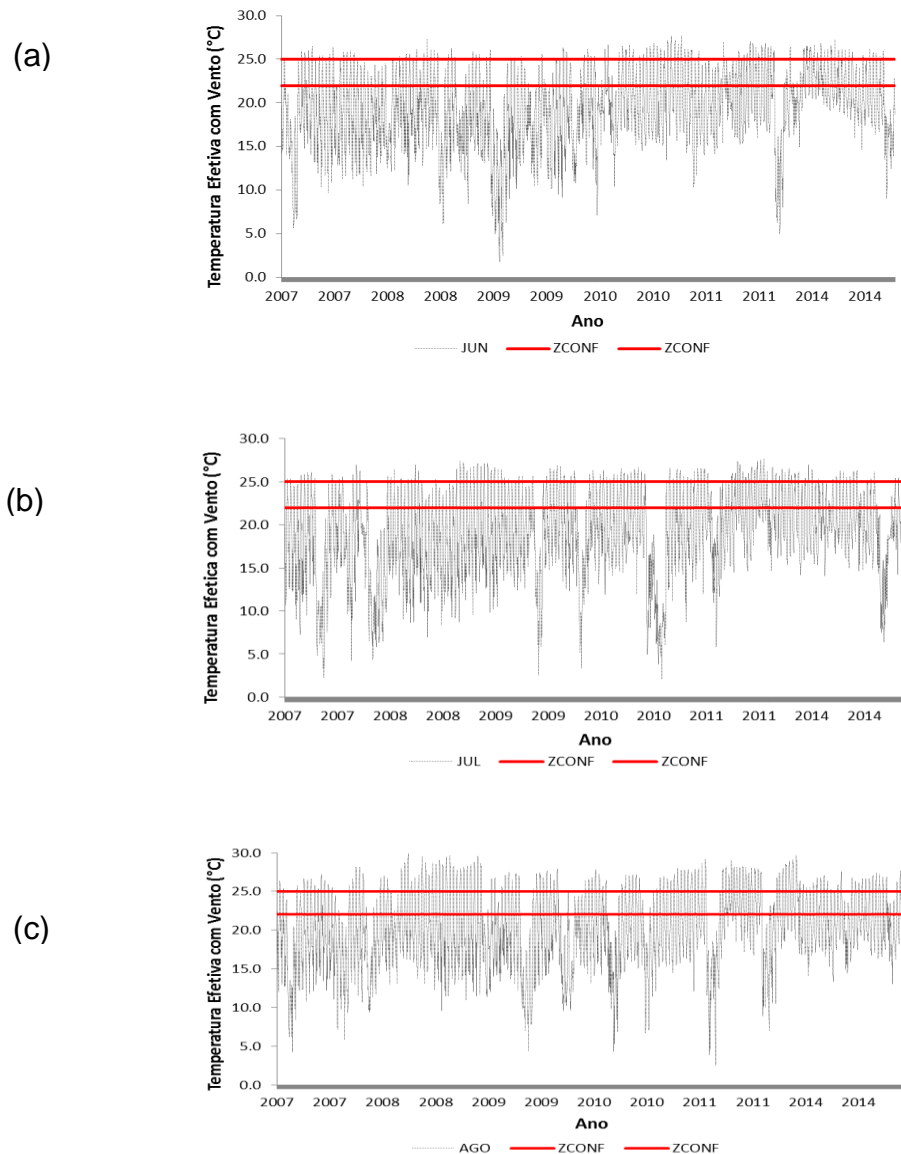


Figura 14 (a-c) – Índice TEv em junho (a), julho (b) e agosto (c) em Coxim-MS (2007/2011 e 2014).

#### 4.4 Análise Sinótica

O caso intenso selecionado para a análise sinótica foi o de Julho de 2013, que foi o mais intenso em relação à T<sub>min</sub>. O evento perdurou por 6 dias (22 a 27/07) e registrou T<sub>min</sub> de 2,4°C (25/07) em Coxim. De acordo com o boletim Climanálise do respectivo mês, houve geada forte em várias cidades da Região Sul do país e no Mato Grosso do Sul.

#### 4.4.1 Imagens de satélites e convecção

A formação de nuvens associada à entrada da friagem pode ser visualizada pelas imagens de satélite do canal visível ( $0.65 \mu\text{m}$ ) às 15 UTC (Figura 15 a-d), a qual apresenta uma sequência temporal da evolução da nebulosidade durante o evento. Nota-se em D-2, o sul da região do Pantanal com cobertura de nuvens mais abrangentes, enquanto que boa parte do bioma as condições de tempo apresentavam com pouca ou nenhuma cobertura de nuvem (Figura 15a). No dia D-1, a nebulosidade sobre a região avançava para as demais áreas com deslocamento no sentido sul-norte, cobrindo boa parte do Pantanal e chegando praticamente ao Estado do Mato Grosso (MT) (Figura 15b). Em D0, toda a extensão do Pantanal estava coberta pela nebulosidade decorrente do SF (Figura 15c), exatamente quando se observava o início da entrada da friagem, perceptível pela declinação da temperatura do ar em Coxim. Nos dias seguintes (D+1 e D+2), a nebulosidade começa a diminuir no Pantanal com o ingresso do ar frio polar, associada ao movimento de subsidência presente após a passagem do SF. Somente a partir de D+3 a nebulosidade dissipa-se totalmente (não apresentado).

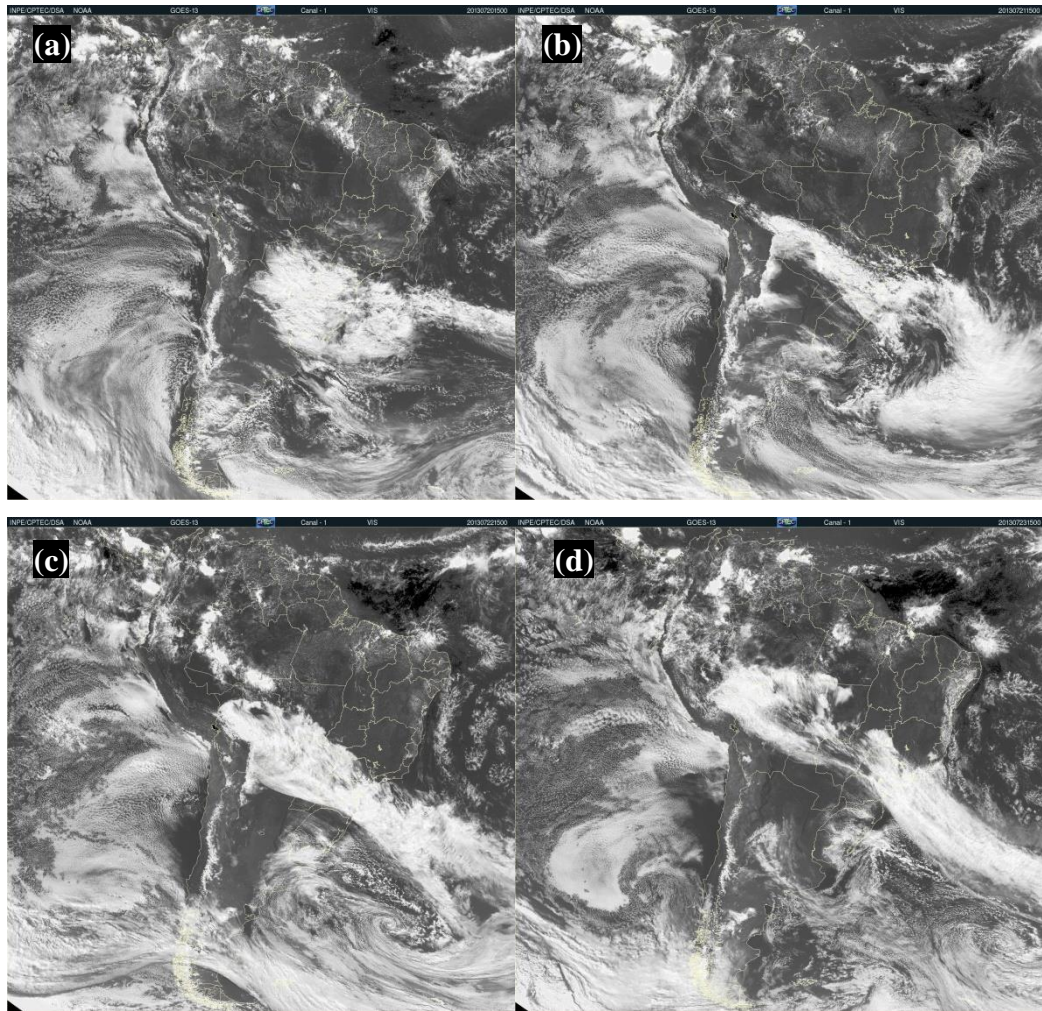


Figura 15 (a-d) – Imagem de satélite canal visível (0.65  $\mu\text{m}$ ) às 15 UTC no dia 20 (a), 21 (b), 22 (c) e 23 (d) de julho de 2013 para América do Sul.

A convecção devido ao episódio da friagem assumiu papel importante, como diversos estudos encontrados na literatura, no comportamento das temperaturas. Enquanto que nos primeiros dias foi registrado o maior valor de  $DT_{\text{max}}$  (16,4°C), o maior  $DT_{\text{min}}$  (12,5°C) ocorreu após a dissipação da nebulosidade.

#### 4.4.2 Campos de reanálises

Através do campo de linha de corrente e magnitude do vento em 250 hPa, para três dias antes e dois dias depois do dia 22/07 (D-3 a D+2) (Figura 16 a-f), foi possível observar o desenvolvimento e dissipação das configurações sinóticas que ocasionou o ingresso do ar frio no Pantanal. Na Figura 16a (D-3) observava-se na região de estudo



o escoamento quase zonal da circulação anticiclônica sobre o Pantanal, enquanto que o Jato Subtropical localizava-se mais ao sul, sobre centro do Chile (CHI) e Argentina (ARG), Uruguai (URU) e Rio Grande do Sul (RS). A presença de uma circulação anticiclônica sobre o Pantanal contribuía para intensificar os movimentos ascendentes do ar nesta área, devido o aquecimento da camada, e intensificar o aquecimento diurno. Em D-2, o escoamento do Jato Subtropical (JST) dividia-se em dois ramos, onde o ramo norte apresentava-se com curvatura anticiclônica sobre o Pantanal, enquanto que o ramo sul se estendia zonalmente do Oceano Pacífico até o Oceano Atlântico, passando sobre o norte do CHI, ARG e região Sul do Brasil (Figura 16b). No sul do continente, observava-se uma onda curta baroclínica de oeste, típica de sistemas transientes (BLUESTEIN; SPEHEGER, 1995), sendo que o cavado frontal apresentava-se bem amplificado e com eixo se estendendo desde o Atlântico ( $\sim 55^{\circ}\text{S}-55^{\circ}\text{W}$ ) até o Pacífico ( $\sim 30^{\circ}\text{S}-75^{\circ}\text{W}$ ). Notava-se que o cavado estava circundado pela corrente de jato, situação típica para este sistema baroclínico (FEDOROVA, 2001), e promovia a leste advecção de vortacidade ciclônica na região próxima onde a ciclogênese em superfície ocorreu. No dia seguinte (D-1), houve um leve deslocamento para norte do cavado frontal no centro da ARG, bem amplificado e com eixo orientado de noroeste para sudeste (representava-se em um forte Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN)), refletindo no sistema frontal em superfície, cuja nebulosidade, como visto no item anterior, estendia-se por boa parte do Pantanal, região Sul e Sudeste, até o oceano adjacente (Figura 16c). Em D0, o escoamento permanecia anticiclônico no norte e leste do Pantanal, cujo centro posicionava-se sobre o MT, enquanto que ao sul da região, Paraguai (PAR), norte da ARG e Região Sul do país, notava-se o jato mais intenso (Figura 16d). O cavado frontal ainda apresentava-se amplificado e com eixo orientado de noroeste para sudeste do centro da ARG até o oceano adjacente, a leste da província de Buenos Aires, mantendo a baroclinia nestas regiões. Nos dias seguintes (D+1 e D+2), o cavado frontal estendia-se até o sul do RS, com o escoamento meridional e advecção fria sobre a ARG desde o sul do continente até latitudes mais baixas ao norte do PAR, sul da Bolívia (BOL) e norte do Pantanal (Figura 16 e-f).

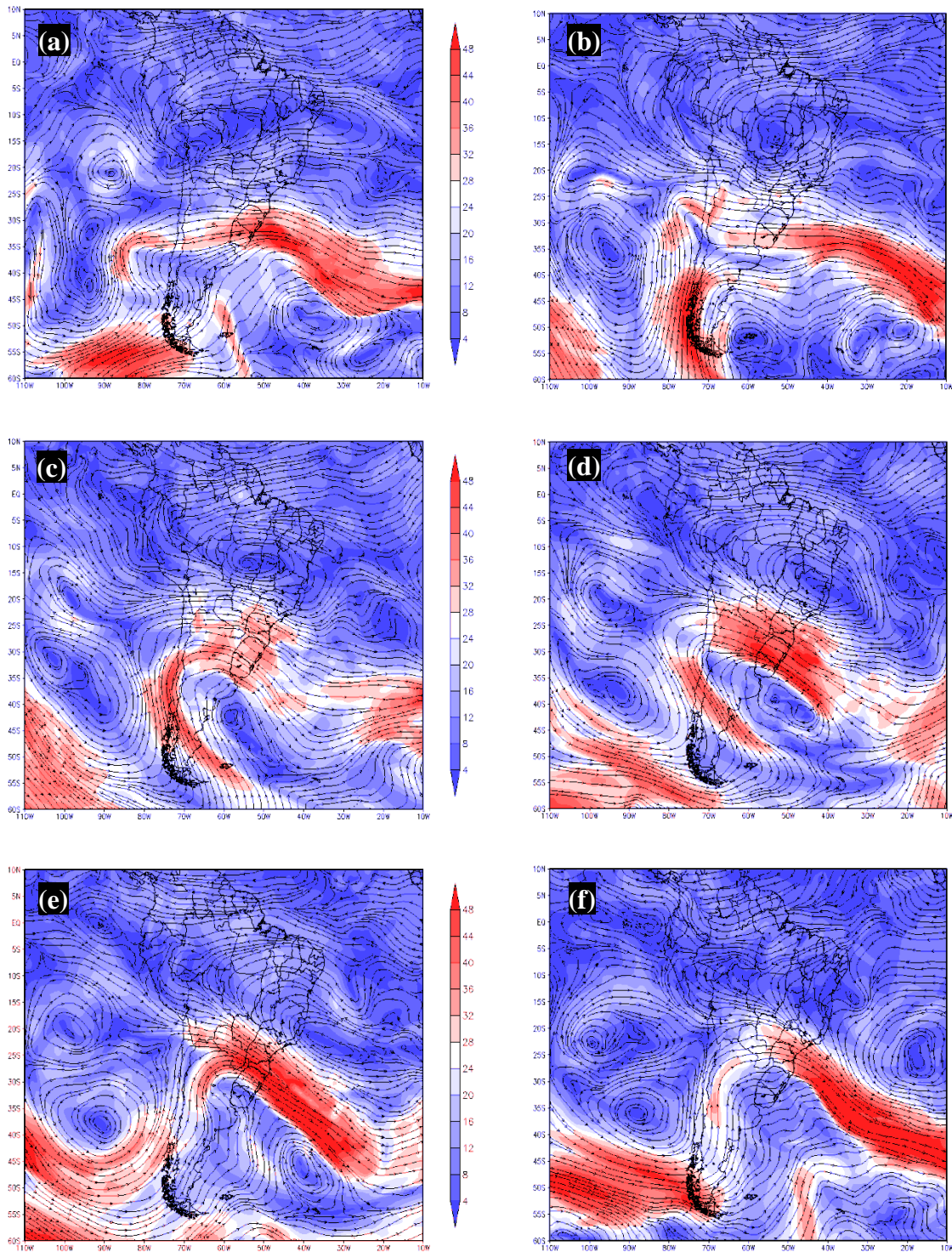


Figura 16 (a-f) – 2 Campo de linha de corrente (contorno) e magnitude do vento (sombreado) em  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  em 250 hPa às 00 Z para o dia 19 (a), 20 (b), 21 (c), 22(d), 23 (e) e 24(f) de julho de 2013.

Essas condições associada ao cavado ajudavam a configurar a friagem no Pantanal, assim como o Centro-Sul e parte da Região Norte do país. Conforme discutido na literatura, como por exemplo Seluchi (2009), o autor encontrou situações sinóticas similares, com um cavado sobre o Oceano Atlântico intensificando a onda de frio, além de um eixo de crista sobre o oceano Pacífico em altos e médios níveis. A influência do anticiclone do Pacífico que ao adentrar no continente provoca um intenso escoamento de sul sobre o leste e centro da ARG, reforçado pela circulação ciclônica a leste (GARREUD, 2000).

A Figura 17 (a-f) apresenta o campo de altura geopotencial e o campo de velocidade vertical ômega em 500 hPa. Na análise da altura geopotencial em 500 hPa, foi possível observar um reflexo do padrão descrito em altos níveis, ou seja, a configuração de um cavado frontal inclinado sobre o sul do continente (D-2, D-1 e D0), favorecendo a baroclinia e o gradiente de geopotencial nessa região (Figura 17 a-c). Como os sistemas frontais estavam restritos a latitudes maiores nestes dias, notava-se que o campo de altura geopotencial em 500 hPa não apresentava variações significativas sobre a região do Pantanal, além da ausência de gradiente térmico nestas localidades (uma vez que altura geopotencial é relacionada à temperatura do ar). No entanto, de D+1 a D+3 observava-se um leve gradiente do geopotencial sobre a região de estudo, associado ao cavado frontal em 250 hPa (Figura 17 d-f), além da presença mais clara do cavado na região estar associada a intrusão do ar frio, haja vista que embaixo do cavado em 500 hPa ocorre a advecção fria. A intensidade das cristas e cavados em altos níveis é fundamental no deslocamento dos sistemas frontais para latitudes mais baixas do continente (ANDRADE, 2005).

Como visto anteriormente, a advecção de vorticidade ciclônica a leste do cavado frontal favorecia formação de sistema de baixa pressão em superfície, ocasionando movimentos ascendentes nestas regiões, como observado em D-2 (Figura 17a). Conforme o ciclone deslocava-se nos dias seguintes, essa característica acompanhou o ramo frontal, como bem configurado em D+1 (Figura 17d). Já nas regiões da retaguarda do SF notavam-se movimentos subsidentes devido o anticiclone pós-frontal. De acordo com Pinto Jr. e Silva (2012), após a passagem do SF, a ação do anticiclone pós-frontal inibe os processos de convecção, favorecendo bom tempo e céu limpo.

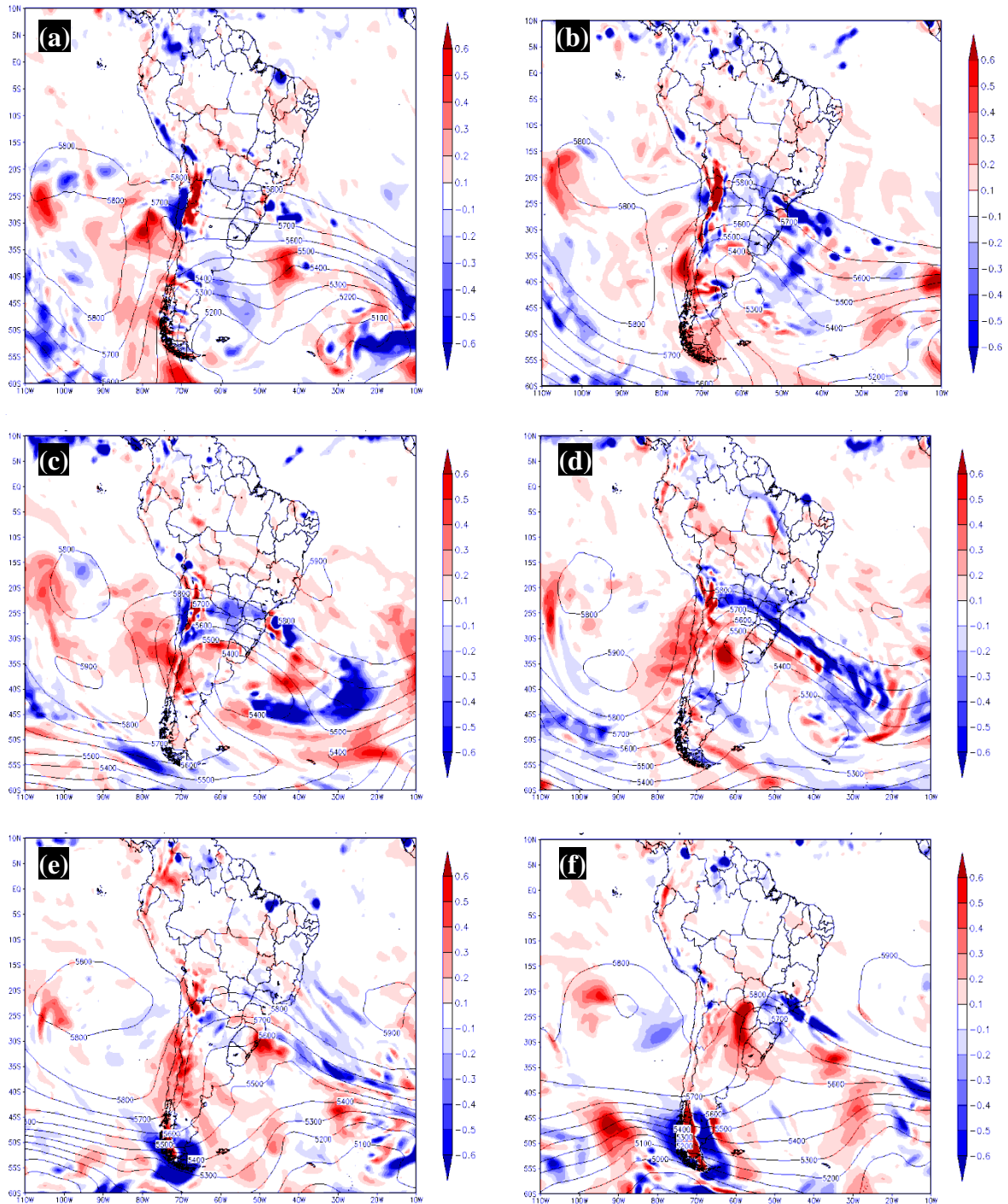


Figura 17 (a-f) – Campo de geopotencial (contorno, em mgp) e ômega em 500 hPa (sombreado, em  $\text{ms}^{-1}$ ) às 00 Z para o dia 20 (a), 21 (b), 22 (c), 23(d), 24 (e) e 25(f) de julho de 2013.

Analisando as linhas de corrente e temperatura em 850 hPa, além da pressão atmosférica em superfície (Figura 18 a-f), foi possível observar, ao passar dos dias, a configuração e avanço do cavado frontal no sul do continente para latitudes mais

baixas. Associados ao escoamento nesse nível, reflexo dos níveis superiores, notava-se no campo de pressão atmosférica o sistema de baixa pressão com valor de 985 hPa, posicionado a leste da costa sul do continente ( $\sim 50^{\circ}\text{S}-50^{\circ}\text{W}$ ) em D-2 (Figura 18a). Em D-1 e D0 o centro de baixa pressão ao deslocar-se para menores latitudes sobre o oceano, estendia um cavado sobre centro da ARG, favorecendo a presença da onda frontal deslocar-se para latitudes baixas, como no Pantanal (Figura 18 c e e), configurando o episódio de friagem. Pelo campo de temperatura em 850 hPa, foi possível notar o acompanhamento do ingresso do ar mais frio no sul do continente para as latitudes baixas, a medida que o cavado nos níveis superiores deslocava-se sobre o continente e oceano adjacente, favorecendo o escoamento do vento bastante meridional e o deslocamento do SF em superfície. Isso se refletia em superfície com ventos fortes do quadrante sul adentrando no sul do continente, sendo este associado à incursão de ar frio. No Pantanal, enquanto que em D-2 os valores de temperatura oscilavam entre  $18^{\circ}\text{C}$  e  $21^{\circ}\text{C}$ , em D+1 notava-se sobre a região valores entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $3^{\circ}\text{C}$ , evidenciando a intensidade da friagem (Figura 18 a e d, respectivamente). Nota-se que o núcleo frio da alta pós-frontal foi observado mais próximo da região pantaneira em D+1, embora o menor valor de  $T_{\text{min}}$  ( $2,5^{\circ}\text{C}$ ) do evento ocorreu em D+3 (Figura 18f).

Em todos os dias, observa-se o papel importante da Cordilheira dos Andes no papel de canalizar o escoamento dos ventos neste nível da alta pressão migratória no continente, descolando-se ageostroficamente das altas latitudes em direção ao Equador (HAMILTON; TARIFA, 1978; SELUCHI et al., 1998, GARREAUD (2000); dentre outros).



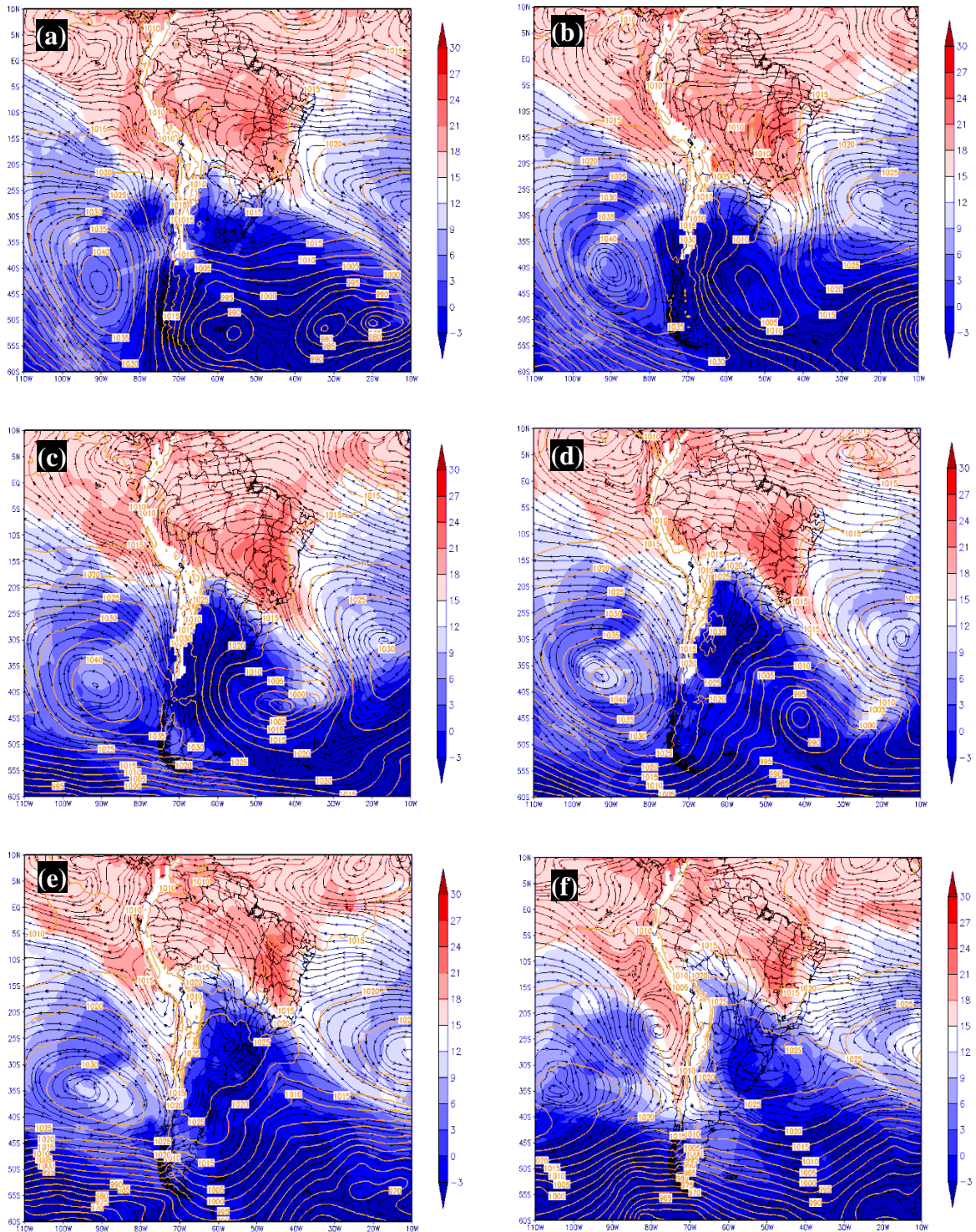


Figura 18 (a-f) – Campo de linha de corrente (contorno preto, em  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e temperatura (sombreado em,  $^{\circ}\text{C}$ ) em 850 hPa, e pressão atmosférica ao nível médio do mar (contorno amarelo, em hPa) às 00 Z em 20 (a), 21 (b), 22(c), 23 (d), 24 (e) e 25 (f) de julho de 2013.

A espessura entre os níveis de 500 e 1000 hPa e pressão atmosférica em superfície evidencia a presença de uma frente fria penetrando sobre parte do território argentino se estendendo até o Atlântico adjacente, acoplado a uma baixa pressão atmosférica, no qual apresentava-se nos níveis superiores com forte gradiente de geopotencial e muito baroclínico (Figura 19). Conforme discutido na literatura por Escobar (2008), a frente fria se localiza adiante de um acentuado gradiente de temperatura e/ou espessura 500/1000 hPa. Notava-se que sobre a região pós-frontal, os valores do campo de espessura da camada encontravam-se mais baixos (camada mais fria) com valores que variam em torno de 5200 a 5400 m. Na região do Pantanal, valores mais altos de 5700 m em D-2 e D-1 estão associados a camada mais quente (Figura 19 a-b). À medida que o SF avança do sul do continente para menores latitudes (D0, D+1), assim como o anticiclone pós-frontal com isóbara central de até 1032 hPa sobre o centro da ARG, verificava-se variação da espessura da camada sobre a região do Pantanal, apresentando uma camada mais estreita em relação aos dias anteriores, chegando a 5500 m em D+1 (Figura 19 c-d). Posteriormente, em D+2 e D+3, a espessura da camada na região pantaneira voltava às configurações similares antes da passagem do SF (Figura 19 e-f).

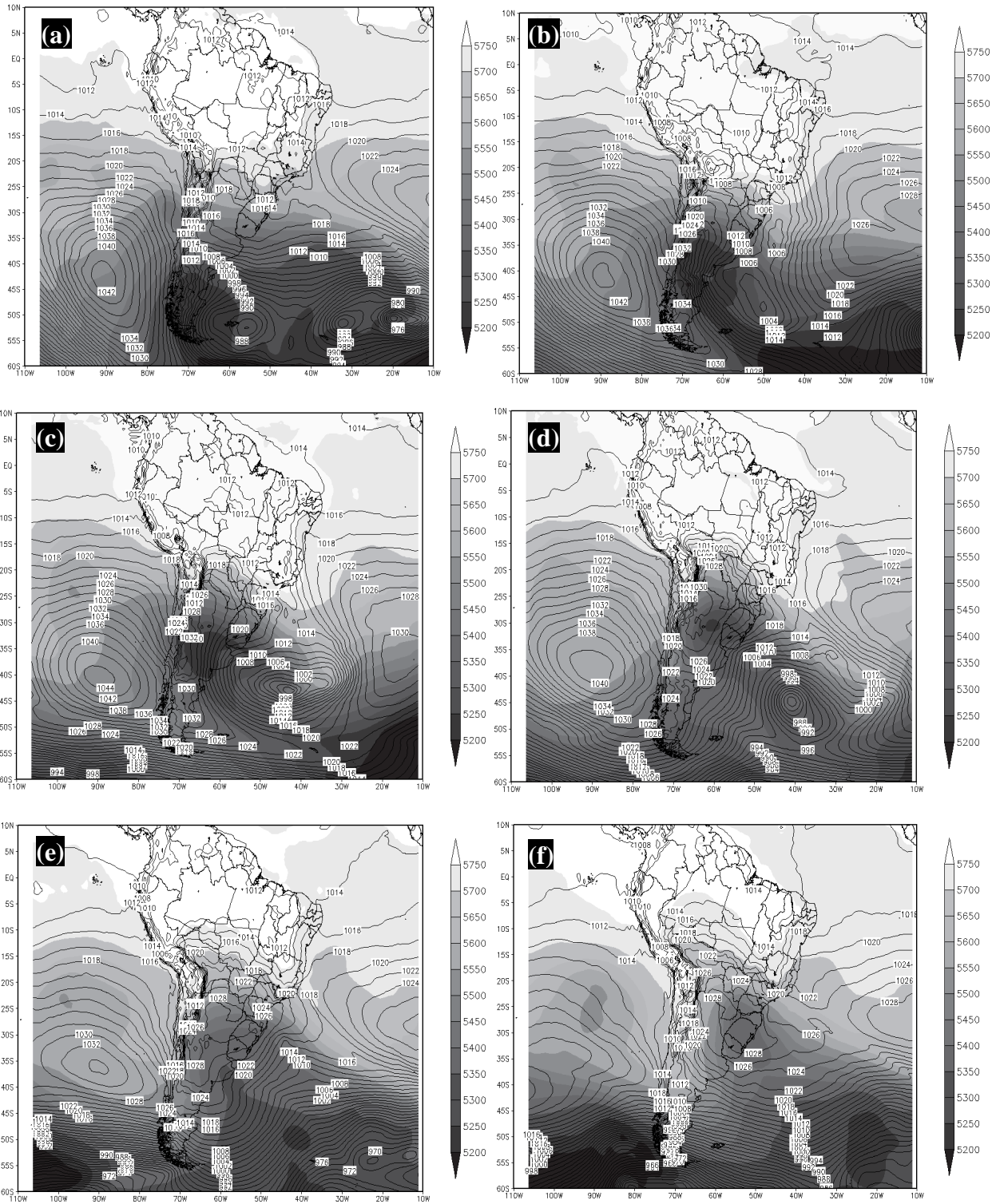


Figura 19 – Campo de pressão ao nível médio do mar (contorno, em hPa) e espessura entre 500 e 1000 hPa (sombreado, em m) às 00 Z em 20 (a), 21 (b), 22(c), 23 (d), 24 (e) e 25 (f) de julho de 2013.



## 5. Conclusões

Foram identificados 72 eventos de friagens dos casos gerais ao longo de oito anos de estudos no Pantanal, com base nos dados de Coxim. Os eventos ocorreram com maior frequência no ano de 2010 e nos meses de agosto, enquanto que não houve casos nos meses de janeiro e fevereiro. A variabilidade interanual do número de casos foi de 9 friagens.ano<sup>-1</sup> e 42,6 dias.ano<sup>-1</sup>. A duração média encontrada para cada evento de friagem foi de 4,3 dias, o que está de acordo com do estimado na literatura. Os eventos mais duradouros ocorreram em agosto e, em alguns casos, os resultados implicaram que não necessariamente um maior número de SF anual resultará em períodos de dias frios mais duradouros. Valores com reduções significativas de temperatura, não necessariamente, apresentaram menores T<sub>min</sub> e T<sub>max</sub>.

As análises dos casos intensos apontaram 27 eventos, ocorrendo com maior frequência nos anos de 2010 e 2013 e os nos meses de julho e agosto.

A maior frequência de desconforto térmico sob atuação de friagens em Coxim encontrou-se na faixa de desconforto por Muito Frio (<13°C). Em julho de 2009 ocorreu o menor valor do índice biometeorológico Temperatura Efetiva com vento (1,76°C), seguido por julho de 2010 (2,1°C), onde ocasionou perdas de pessoas e animais associadas à hipotermia. Deve ser levado em consideração o fato dos anos de 2012 e 2013 terem apresentado boa parte dos dados com falhas, podendo ter ocultado menores valores do índice biometeorológico nesses anos.

O estudo de caso sinótico apontou a configuração de um ciclone no Oceano Atlântico a leste do sul do continente da América do Sul, relacionado à ampliação da onda baroclínica associada ao cavado frontal observado em altos níveis, com um anticiclone pós-frontal migratório frio, evidenciado pelo campo de temperatura em

baixos níveis (850 hPa), escoamento do vento em altos níveis (250 hPa), ômega e geopotencial em médios níveis (500 hPa), espessura da camada entre 500 e 1000 hPa, e pressão atmosférica ao nível médio do mar. A configuração do cavado frontal favoreceu a advecção de vorticidade ciclônica a leste da formação de sistema de baixa pressão em superfície. Assim como encontrado na literatura, a Cordilheira dos Andes assumiu um papel orográfico importante para canalizar o fluxo meridionalmente a leste da montanha, contribuindo em superfície para ocorrência da friagem, através das linhas de corrente em baixos níveis.

Considera-se importante que pesquisas sobre friagens na região do Pantanal sejam incentivadas, possibilitando assim novos conhecimentos referentes ao tema estudado. Sugere-se realizar um estudo sobre os motivos que levaram a diferença considerável da frequência de eventos de friagens entre os quatro primeiros anos (2007 a 2010) e os quatro anos seguintes (2011 a 2014); estudo sobre a conjectura do maior número de casos de friagem em 2010; estudo do conforto térmico com atuação do fenômeno de friagem relacionando com casos de internações hospitalares; caracterizar o ambiente sinótico através da utilização de campos compostos.

## Referências

ALFONSI, R. R.; PAES DE CAMARGO, M. B. Condições climáticas para a região do Pantanal Matogrossense. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1.1986, Corumbá. **Anais...**, Corumbá, 1986, p. 29-42.

ALVARENGA, S.M.; BRASIL, A.E.; DEL'ARCO, D.M. Geomorfologia. In: **IBGE**. Campo Grande: 1984, p.125-184.

AMORIM NETO, Alcides de Castro. **Estrutura e evolução de frentes frias intensas na região amazônica brasileira**. 2013. 182 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) — Curso de Pós-Graduação, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2013.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul**. 2005. 187p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

ANDREASI, W. A. **Avaliação do impacto de estratégias bioclimáticas na temperatura interna de edificações no Passo do Lontra, Pantanal do Estado de Mato Grosso do Sul**. 2001. 146 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

AQUIDAUANANEWS. **Miranda: Idoso morre de frio em frente a sede da ação social**. Disponível em: <<http://www.aquidauananeWS.com/0,0,00,5260-160540-MIRANDA+IDOSO+MORRE+DE+FRIO+EM+FRENTE+A+SEDE+DA+ACAO+SOCIAL.htm>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

ASSINE, M. L.; SILVA, A. Contrasting fluvial styles of the Paraguay river in the northwestern border of the Pantanal wetland, Brazil, **Geomorphology**, v. 113, p. 189-199, 2009.

BLUESTEIN, H.B.; SPEHEGER, D.A. The dynamics of an upper-level trough in the baroclinic westerlies: Analysis based upon data from a wind profiler network. **Monthly Weather Review**, p. 2369-2383, 1995.

BJERKNES, J. On the structure of moving cyclones. **Monthly Weather Review**, v. 47, n. 2, p. 95–99, 1919.

BJERKNES, J.; SOLBERG, H. Life Cycle of Cyclones and the Polar Front Theory of Atmospheric Circulation. **Geophysical**, v. 3, n. 1, 325p., 1922.

BRASIL. **Ministério do Interior**. Estudo de desenvolvimento integrado da bacia do Alto Paraguai: Relatório da 1a fase, descrição física e recursos naturais. Brasília: 1979. v. 2, 235p.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Pantanal. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/itemlist/category/59-pantanal>. Acesso: 20 de jun. 2017.

BRAZIL, M. C. Terra e trabalho no sul de Mato Grosso - Considerações sobre superação do escravismo, luta pela terra, economia pastoril e advento do trabalho livre - séculos 19 e 20. **História: Debates e Tendências**, v. 7, n. 2, p. 82-100, 2007.

BRINKMANN, W. L.; WEINMAN, J. A.; GOES RIBEIRO, M. N. Air temperature in central Amazonia I. **Acta Amazonica**, v. 1, n. 1, p. 51–56, 1971.

BRINKMANN, W. L.; GOES RIBEIRO, M. N. Air temperature in central Amazonia III. **Acta Amazonica**, v. 2, n. 3, p. 27–32, 1972.

CAVALCANTI, I. F. A. Casos de intensa precipitação nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de inverno de 1979 a 1983. 1985. (INPE- 3743-RPE/498), INPE, São José dos Campos, 1985.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. **Tempo e Clima no Brasil**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 133-147.

CALHEIROS, D.F.; FONSECA JÚNIOR, W.C. da . **Perspectivas de estudos ecológicos sobre o Pantanal**. Corumbá, MS: EMBRAPA-CPAP, 1996. 41p.

CANAL RURAL. **Número de bois mortos por hipotermia em Mato Grosso do Sul pode superar mil**. Disponível em: <https://instagram.com/canalruralhttp://www.canalrural.com.br/noticias/pecuaria/numero-bois-mortos-por-hipotermia-mato-grosso-sul-pode-superar-mil-8693>. Acessado em: 20 mar. 2017.

CLIMANÁLISE. **Boletim Climanálise**. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim>>. Acesso em: 10 mai. 2015.

COLODEL, E. M.; ANGREVES, G. M.; ALBERTON, E. L.; WUNTKER, R. M. M.; SANTOS, C. E. P.; NAKAZATO, L. Inversão térmica como causa de mortalidade de bovinos no Estado de Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIA, 33. 2006, Cuiabá. **Anais...**, Cuiabá, 2006.

COUTINHO, L. M. **Fire in the ecology of the brazilian cerrado**. In: GOLDAMMER, J. G. (ed.). *Fire in the tropical biota*, Berlin - Heidelberg: Springer Verlag, 1990, p. 82-105.

CRISTALDO, Fernando Almerico Larroza. **Exploração e aproveitamento dos recursos hídricos do Chaco central paraguaio**. 2002. 161 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Hidrologia) - Instituto de Geociências, São Paulo, 2002.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, p. 241-254, 2007.

ESCOBAR, G. C. J. **Meteorologia Sinótica Prática Aplicada à Previsão de Tempo**. Apostila de Meteorologia Sinótica – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista, São Paulo, 2008.

EITEN, G. **Classificação da vegetação do Brasil**. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasília. 1983, p. 305.

FARIAS, S. E. M.; CHAN, C. S. Simulação das características micrometeorológicas para o Pantanal sul-mato-grossense. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1. 2006, Campo Grande. **Anais do...** Campo Grande, 2006, p. 57-66.

FEDOROVA N. Meteorologia sinótica. 1999. Pelotas: **UFPEL**, v.1.

FEDOROVA N. Meteorologia sinótica. 2001. Pelotas: **UFPEL**, v.2.

FERNANDES, A.; BEZERRA, P. Estudo fitogeográfico do Brasil. **Stylos Comunicações**, Fortaleza, p. 205, 1990.

FERNANDES, Bruno Maon. **Estudo de friagem na região do Pantanal**. 2014. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

FISCH, Gilberto. **Camada limite amazônica: aspectos observacionais e de modelagem**. 1996. 203 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Curso de Pós-Graduação, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

FORTUNE, M. A. A severidade das geadas de 1981, vista pelo satélite GOES. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. São José dos Campos, p. 469-476, 1982.

GAN, M. A.; RAO, V. B. The influence of the Andes cordillera on transient disturbances. **Monthly Weather Review**, p. 1141–1157, 1994.

GARCIA, E. A. C. O clima no Pantanal Mato-Grossense. **Circular Técnica**. Corumbá: n. 14, p. 36, 1984.

GARREAUD, R. D. Cold air incursions over subtropical South America: mean structure and dynamics. **Monthly Weather Review**, v. 128, n. 7, p. 2544-2559, 2000.

GOMES, M. S. **Efeito dos Eventos de Friagem nas Condições meteorológicas do Sudoeste da Amazônia**. 2015. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

GUERRINI, V. **Bacia do alto rio Paraguai; estudo climatológico**. Brasília-DF: EDIBAP/SAS (Estudo de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai), 1978, 60p.

HAMILTON, M. G.; TARIFA, J. R. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, July, 1972. **Monthly Weather Review**, v. 106, n. 11, p. 1545-1556, 1978.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; HOFMANN, G. S. **O clima da RPPN SESC Pantanal**. Relatório técnico: Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Biociências Centro de Ecologia. Porto Alegre, 2003. 31 p.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Mapa de Biomas e de Vegetação. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 12 jul. 2014.

JUNK, W. J.; NUNES DA CUNHA, C. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological Engineering**, v. 24, n. 4, p. 391-401, 2005.

LEMOS, C.; CALBETE, N. O. Sistemas Frontais que atuaram no Litoral – Período 1987-1995. **Climanálise Especial 10 anos**, v. 11, numero especial, p. 131-135, 1996.

LONGO, R. C. M.; DIAS, M. A. F. S. Análise das características dinâmicas e sinóticas de um evento de friagem durante a estação chuvosa no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 59-72, 2004.

LOURIVAL, R; HARRIS, M.; MONTAMBAULT, J.M. Introdução ao Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Competência: A Biological Assessment of the Aquatic Ecosystems of the Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil - RAP Bulletin of Biological Assessment**, p. 147-151, 2000.

LUCIOLI, J., FURLAN F. H.; MENDES, R. E.; BORELLI, V.; MEZARROBA, S.; TRAVERSO, S.D.; GAVA, A. Baixa temperatura como causa de mortalidade em zebuínos: relato de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIA, 33., 2006, Cuiabá. **Anais...**, Cuiabá, 2006.

MAIA, J. A.; GONÇALVES, F. L. T. Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorológicas na cidade de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...**, Foz do Iguaçu, 2002.

MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R. D.; COSTA, H. C.; MELO, D. C. R. Anomalias na precipitação pluviométrica no bioma do Pantanal Sul-Mato-Grossense. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3. 2010, Cáceres. **Anais...**, Cáceres, 2010, p. 151-159.

MAGALHÃES, N. W. **Conheça o Pantanal**. São Paulo: Terragraph, 1992, 390p.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.; 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, 1997a.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.; CULF, A. D. Cold surges in tropical and extratropical South America: the strong event in June 1994. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 11, p. 2759-2786, 1997b.

MARTINS, J. T.; BORGES, R. C.; SANTIAGO, R. U.; ARAÚJO, C. E. S. Identificação de sistemas frontais em 3 dimensões. **Caderno de Publicações Acadêmicas - Instituto Federal de Santa Catarina**. v. 1, n. 1. P. 141-145, 2010.

MATEUS, L. A. F.; PENHA, J. M. F.; PETRERE, M. Fishing resource in the rio Cuiabá basin, Pantanal do Mato Grosso, Brazil. **Sociedade Brasileira de Ictiologia**, v. 2, n. 4, p. 2117-227, 2004.

MATO GROSSO DO SUL (MS). **Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral**. Anuário estatístico do Estado de Mato Grosso do Sul, Campo Grande-MS, 1994.

MATTOS, L. F. **Os dezoito casos mais intensos de friagem na Amazônia no período 1975-2009**. In.: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém-PA, 2010.



MATTOS, L. F. **Modelo conceitual de frontogênese na América do Sul**. In.: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002.

MENDONÇA, M; ROMERO, H. Ondas de frio, índices de oscilação e impactos socioambientais das variabilidades climáticas de baixa frequência na América do Sul. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, p.185-203, 2012.

MIOTO, C.L.; PARANHOS FILHO, A.C.; ALBREZ, E.A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. **Revista Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 165-180, 2012.

MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 24 ago. 2017.

MYERS, V. A. A cold front invasion of Southern Venezuela. **Monthly Weather Review**, v. 92, n. 11, p. 513-521, 1964.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). Estados Unidos, 2001. Disponível em: <[www2.jpl.nasa.gov/srtm/](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/)>. Acesso em: 30 de julho de 2017.

NIMER, E. Geografia do Brasil – Região Centro-Oeste. Rio de Janeiro, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, v. 1, p. 23-34, 1989.

NUNES, Haroldo Sérgio Martins. **Estudo da variação da estrutura termodinâmica da atmosfera durante o RBLE-2**. 1994. 43p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 1994.

OLIVEIRA, P. J.; ROCHA, E. J. P.; FISCH, G.; KRUIJT, B.; RIBEIRO, J. B. M. Efeitos de um evento de friagem nas condições meteorológicas na Amazônia: um estudo de caso. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 4, p. 613-619, 2004.

ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 56(5), p. 527-530, 1975.

PARMENTER, F. C. A Southern Hemisphere cold front passage at the Equator. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 57, n. 12, p. 1435-1440, 1976.

PECUÁRIA. **Gado morre de frio no MS**. Disponível em: <<http://www.pecuaria.com.br/info.php?ver=8632>>. Acesso em 19 jun. 2016.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; CARDOZO, F. C.; SILVA, F. B.; ARAI, E. Impacto climático das áreas alagadas no Bioma Pantanal. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3. 2010, Cáceres. **Anais...**, 2010, Cáceres, p. 190-199.

PETTS, G. E. Regulation of large rivers: Problems and Possibilities for environmentally - sound river development in South America. **Interciência**, v. 15, n. 6, p. 388-395, 1990.

PINTO JR., S. C.; SILVA, C. A. A dinâmica climática do Mato Grosso do Sul e as queimadas do ano de 2009: uma análise têmporo-espaial a partir das Imagens do NOAA-15. **Acta Geografica**, v. Ed. Especial, p. 223-237, 2012.

PNUD. **Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento**. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

PRADO, D.E.; GIBBS, P.E.; POTT, A.; POTT, V.J. The Chaco- Pantanal transition in southern Mato Grosso, Brazil. In: FURLEY, P.A.; PROCTOR, J. & RATTER, J.A. **Nature and dynamics of forest savanna boundaries**. Chapman & Hall, London, p. 451-470. 1992.

PUPIM, Fabiano do Nascimento. **Geomorfologia e paleo-hidrologia dos mogaleques dos rios Cuiabá e São Lourenço, quaternário da bacia do Pantanal**. 2014. 109 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2014.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Brasília – DF. 2009.

RICARTE, R. M. D.; HERDIES, D. L.; BARBOSA, T. F. Patterns of atmospheric circulation associated with cold outbreaks in southern Amazonia. **Meteorological Applications**, v. 22, p. 129-140, 2014.

RIBEIRO, I. L. **As incursões de ar frio no estado do Amazonas**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

RIBEIRO, Bruno Zanetti. **Climatologia sinótica das frentes quentes no sudeste da América do Sul**. 2014. 171 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

RIENECKER, M.M.; SUAREZ, M.J.; GELARO, R.; TODLING, R.; BACMEISTER, J.; LIU, E.; BOSILOVICH, M.G.; SCHUBERT, S.D.; TAKACS, L.; GI-KONG, K.; BLOOM, S.; CHEN, J.; COLLINS, D.; CONATY, A.; SILVA, A.; GU, W.; JOINER, J.; KOSTER, R.D.; LUCCHESI, R.; MOLOD, A.; OWENS, T.; PAWSON, S.; PEGION, P.; REDDER, C.R.; REICHLER, R.; ROBERTSON, F.R.; RUDDICK, A.G.; SIENKIEWICZ, M. & WOOLLEN, J. MERRA: NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. **Journal of Climate**, 24: 3624-3648, 2011.

RODELA, Luciana Graci. **Unidades de vegetação e pastagens nativas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul**. 2006. 252 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SANTOS, B. S.; PINTO, A. P.; ANIZ, A. C. M.; ALMEIDA, A. P. M. G; FRANCO, G. L.; GUIMARAES, E. B.; LEMOS, R. A. A. **Mortalidade de bovinos zebuínos por hipotermia em Mato Grosso do Sul**. Pesquisa Veterinária Brasileira. v. 32, p. 204-210, 2012.

SANTOS, M. J. M.; CONCEICAO, L. F. C; MONTEIRO, C. A; PINTO, L. B. Fenômeno intenso de friagem em julho de 2013 em Coxim-MS, norte do Pantanal: análise do ambiente sinótico. In: XXV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 2016, Pelotas. **Anais...** Pelotas: 2016.

SATYAMURTY, P.; FONSECA, J. F. B.; BOTINO, M.J.; SELUCHI, M.E.; LOURENÇO, M.C.M.; GONÇALVES, L.G. An early freeze in southern Brazil in April 1999 and its NWP guidance. **Meteorological Applications**. v. 9, n. 1, p. 113-128, 2002.

SATYAMURTY P.; MATTOS L. F. Climatological Lower Tropospheric Frontogenesis in the Midlatitudes Due to Horizontal Deformation and Divergence. *Monthly Weather Review*, p. 1355-1364, 1989..

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. South America, In: Karoly, D. J., Vincent, D. G. ed. *Meteorology of the Southern Hemisphere*. **American Meteorological Society**, v. 27, n° 49, p. 119-139, 1998.

SELUCHI, M. E; SERAFINI, Y. V; TREUT, H. Le. The Impact of the Andes on Transient Atmospheric Systems: A Comparison between Observations and GCM Results. *M. W. R.*, v. 126, n. 4, p. 895-912, 1998.

SELUCHI, M. E; MARENGO, J. A.. Tropical-Mid Latitude Exchange of Air Masses in South America. Part. II: Diagnostic of Three cases study of extreme weather situations. *Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Brasília, DF: 1998.

SELUCHI, M. E.; GARREAUD, R.; NORTE, F. A.; SAULO, A. C. Influence of the subtropical Andes on baroclinic disturbances: A cold front case study. **Monthly Weather Review**. v. 134, n. 11, p. 3317–3335, 2006.

SELUCHI, M. E. Geadas e Friagens. In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (org.) **Tempo e Clima no Brasil**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 149-167.

SERRA, A.; RATISBONNA, L. As massas de ar da América do Sul: 1ª e 2ª partes. **Revista Geográfica**, n. 51-52, 1959-1960.

SILVA, Carolina Joana. **Influência da variação do nível d'água sobre a estrutura e funcionamento de uma área alagável do Pantanal Mato-Grossense (Pantanal de Barão de Melgaço, município de Santo Antônio de Leverger e Barão de Melgaço - MT)**. 1990. 215 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1990.

SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of the meteorotropic effects on distance runners. **International Journal of Biometeorology**, v. 36, p. 63-68, 1992.

VILA DA SILVA J.S.; ABDON, M.M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **EMBRAPA**, v. 33, Número Especial, p. 1703-1711, 1998.

TARR, B. **Cold stress in cows**. Ministry of Agriculture and Food, Ontario, 2007.

VIANA, Liviany Pereira. **Estudo observacional dos eventos de friagens e tendências climáticas na Bacia Amazônica brasileira**. 2015. 129 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

VILHENA, J. E. S.; MOTA, M. A. S.; CAVALCANTE, E. P.; DANTAS, V. A.; CHAGAS, G. F. B. Análise das Condições Termodinâmicas durante um Evento de Friagem em Vilhena-Ro: Estudo de Caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA - A METEOROLOGIA E AS CIDADES, 15. 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2008.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. 2 ed. Washington, p. 504, 2006.