

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS  
ATMOSFÉRICAS

Ana Maria Pereira Nunes

**Climatologia e ambiente de tempo severo na  
Amazônia**

SÃO PAULO, 2015

# **Climatologia e ambiente de tempo severo na Amazônia**

Dissertação apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas como condição para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Meteorologia  
Orientadora: Maria Assunção Faus da Silva Dias

Versão corrigida - Original encontra-se disponível na unidade.

**São Paulo  
2015**

Aos meus pais e  
minha irmã, por  
absolutamente tudo.

## **Agradecimentos**

Agradeço, primeiramente, aos meus pais Moacir e Maria Cristina pelo apoio, incentivo e esforço incondicional para que eu chegasse até aqui. A minha irmã Maria da Graça que sempre fez com que eu confiasse em mim.

Agradeço a Dra. Maria Assunção Faus da Silva Dias por ter me aberto as portas da USP, pela proposta de trabalho e por sempre me fazer enxergar tudo com maior clareza.

Agradeço ao colega Evandro Anselmo por toda a paciência em me auxiliar quando mais precisei, repassando seus valiosos conhecimentos com tanta tranquilidade.

Agradeço ao Jean Peres, do MASTER, por toda a ajuda na obtenção dos dados, fundamentais à conclusão deste trabalho.

Agradeço ao Djalma Melo por estar sempre disposto e com muita boa vontade a me auxiliar em qualquer situação.

Agradeço a grande amiga Tatiane Martins por me receber de braços abertos nesta cidade e pelo exemplo de companheirismo.

Agradeço aos amigos e colegas Natália Crespo, Mario Gavidia, Alexandre Tique e Marcos Leitão por todos os momentos em que deixaram seus próprios trabalhos para me ajudar. Aos demais, Ariane Braga, Sergio Mendez, Franciane Rodrigues, Carolina Gramcianinov, Caio Ruman e Elisa Glitzenhirn pela convivência e companheirismo. Sem vocês esta troca de experiências não seria possível e certamente não teria tido tantos bons momentos no IAG.

Agradeço as minhas grandes amigas Bianca Maio e Patrícia Camargo, que mesmo de longe sempre estiveram do meu lado.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo indispensável apoio financeiro durante o desenvolvimento desta pesquisa.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
1.1. Objetivo Geral.....	23
1.2. Objetivos Específicos.....	23
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>24</b>
2.1. Convecção na Amazônia.....	24
2.2. Convecção severa.....	26
2.3. Parâmetros para análise de tempo severo.....	28
<b>3. DADOS.....</b>	<b>30</b>
3.1. Dados TRMM.....	30
3.2. Dados CFSR-NCEP.....	33
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1. Tempestades severas na Amazônia.....</b>	<b>34</b>
a) Metodologia de análise dos dados do TRMM.....	34
b) Resultados.....	38
<b>4.2. Aspectos de grande escala analisados.....</b>	<b>53</b>
a) Metodologia de análise do ambiente de tempestade.....	53
b) Resultados.....	53
<b>4.3. Estudo de casos.....</b>	<b>74</b>
a) Região CA.....	74
b) Região SA.....	82
<b>5. SUMÁRIO E CONCLUSÕES.....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>99</b>

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1:** Sequência de imagens Landsat em agosto de a) 1989; b) 1990 e c) 1991 mostrando um caso de *blowdown* ocorrido em 2°12' S, 59°42' W. Fonte: Nelson et. al. 1994.....22

**Figura 2:** Eventos extremos no globo, filtrados a partir da mínima  $PCT_{85GHz}$ , do sensor SSM/I do satélite F-14. Fonte: Zipser et. al. (2006).....27

**Figura 3:** Distribuição geográfica das derrubadas de árvores na Amazônia devido a rajadas de vento de tempestades. Fonte: Nelson et. al. (1994).....28

**Figura 4:** Fluxograma dos três níveis da base de dados de características do TRMM da Universidade de Utah. Adaptado de Liu et. al. (2008).....31

**Figura 5:** Região e sub-regiões de estudo, delimitadas pelos polígonos brancos, onde: WAS: *Southern part of Western Amazonia*; WAN: *Northern part of Western Amazonia*, GS: *Guyana Shield*; CA: *Central Amazonia*; EA: *Eastern Amazonia* e SA: *Southern Amazonia*. Fonte: Steege et. al., H. (2013).....37

**Figura 6:** Gráfico de comparação entre o número total de casos potencialmente severos para os diversos critérios, onde as barras laranja representam casos encontrados para o Conjunto 1 de características, barras vermelhas o Conjunto 2, barras verdes o Conjunto 3 e as barras amarelas o Conjunto 4, para o período de 1998-2012.....39

**Figura 7:** Distribuição dos casos severos (Conjunto 4) em uma grade 2°x2°, por mês, para o período de 1998-2012. As cores indicam o número de casos por célula da grade, a concentração aumenta para as cores mais quentes.....40,41

**Figura 8:** SCM detectados nos trabalhos de Velasco e Fritsh (1987), Conforte (1997), Torres e Nicolini (2002) e Salio, Nicolini e Zipser (2007). Preparado por J. C. Conforte (1997). Adaptado de Silva Dias, Rozante e Machado (2009), onde os

retângulos vermelhos indicam a região amazônica.....42

**Figura 9:** Histogramas trimestrais (Janeiro-Fevereiro-Março, Abril-Maio-Junho, Julho-Agosto-Setembro, Outubro-Novembro-Dezembro) das distribuições de frequência do tamanho das áreas com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 250\text{ K}$  dos sistemas de tempo severo encontrados pelo critério de seleção do Conjunto 4 de características.....44

**Figura 10:** Histogramas trimestrais (Janeiro-Fevereiro-Março, Abril-Maio-Junho, Julho-Agosto-Setembro, Outubro-Novembro-Dezembro) das distribuições de frequência do tamanho das áreas com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 100\text{ K}$  dos sistemas de tempo severo encontrados pelo critério de seleção do Conjunto 4 de características.....45

**Figura 11:** Histogramas trimestrais (Janeiro-Fevereiro-Março, Abril-Maio-Junho, Julho-Agosto-Setembro, Outubro-Novembro-Dezembro) das distribuições de frequência da taxa de raio (raio/min) dos sistemas de tempo severo encontrados pelo critério de seleção do Conjunto 4 de características.....46

**Figura 12:** Gráfico de comparação entre o número total de casos severos contabilizados pelo Conjunto 4 (barras em verde), considerando toda a região entre  $20^\circ\text{ S} - 10^\circ\text{ N}$  e  $80^\circ\text{ O} - 40^\circ\text{ O}$  e o Conjunto 5 (barras em azul) onde os casos possuem as mesmas características do Conjunto 4 porém estão confinados na delimitação da Floresta Amazônica.....47

**Figura 13:** Distribuição do número de casos por trimestre por sub-regiões, no período de 1998-2012, onde: a) sub-região WAS, b) sub-região WAN, c) sub-região GS, d) sub-região CA, e) sub-região EA, f) sub-região SA.....48

**Figura 14:** Distribuição horária (hora local) de frequência dos casos de tempo severo (Conjunto 5), por sub-região, acumulado para os trimestres a) JFM; b) AMJ; c) JAS e d) OND, para os anos de 1998-2012.....50

**Figura 15:** Histograma com distribuição mensal de casos de tempo severo com ocorrência noturna (entre 0 e 5 horas local) na região WAS, para o período de

1998-2012.....	51
----------------	----

**Figura 16:** Histograma para o mês de outubro da região SA, para o período de 1998-2012, mostrando a frequência e a distribuição horária (hora local) dos casos potencialmente severos, concentrados nos horários após às 12 horas local.....52

**Figura 17:** Módulo da magnitude média do cisalhamento do vento (m/s) para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 para a região CA, entre os níveis de 500-850 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região CA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.....55

**Figura 18:** Módulo da magnitude média do cisalhamento do vento (m/s) para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 para a região SA, entre os níveis de 500-850 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região SA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.....56

**Figura 19:** Divergência média do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 para a região CA, no nível de 200 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região CA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.....57

**Figura 20:** Divergência média do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 para a região SA, no nível de 200 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região SA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.....58

**Figura 21:** Divergência média do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para casos a partir de 12 hora local de outubro 1998-2010 para a região CA, no nível de 950 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região CA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.....59

**Figura 22:** Divergência média do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 para a região SA, no nível de 950 hPa. O polígono



em azul delimita a sub-região SA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.....60

**Figura 23:** Umidade relativa média (%) e campo médio das linhas de corrente para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 na a região CA, no nível de 950 hPa. O polígono em vermelho delimita a sub-região CA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.....61

**Figura 24:** Umidade relativa média (%) e campo médio das linhas de corrente para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 na a região SA, no nível de 950 hPa. O polígono em vermelho delimita a sub-região SA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.....62

**Figura 25:** Gráfico em 3D mostrando comparação dos valores típicos de cisalhamento entre 500-850 hPa (x), divergência do vento em 200 hPa (y) e em 950 hPa (z), para os horários 00Z (a), 06Z (b), 12Z (c) e 18Z (d), para os casos de tempo severo da região CA (símbolo vermelho) e SA (símbolo verde).....64

**Figura 26:** Gráfico em 3D mostrando os valores típicos de cisalhamento (m/s) entre 500-850 hPa (x), divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa (y) e em 950 hPa (z), para os horários 00Z (símbolo vermelho), 06Z (símbolo verde), 12Z (símbolo azul) e 18Z (símbolo rosa), para os casos de tempo severo da região CA (a) e SA (b).....65

**Figura 27:** Gráfico em 3D mostrando comparação dos valores típicos de umidade relativa (%) em 950 hPa (x), cisalhamento (m/s) entre 500-850 hPa (y) e divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa (z), para os horários 00Z (a), 06Z (b), 12Z (c) e 18Z (d), para os casos de tempo severo da região CA (símbolo vermelho) e SA (símbolo verde).....66

**Figura 28:** Gráfico em 3D mostrando os valores típicos de umidade relativa (%) em 950 hPa (x), cisalhamento (m/s) entre 500-850 hPa (y) e divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa (z), para os horários 00Z (símbolo vermelho), 06Z

(símbolo verde), 12Z (símbolo azul) e 18Z (símbolo rosa), para os casos de tempo severo da região CA (a) e SA (b) ocorridos a partir de 12 hora local em outubro (1998- 2010).....68

**Figura 29:** Histogramas mostrando distribuição de frequência de valores pontuais de cisalhamento do vento (m/s) entre 500-850 hPa para os quatro horários, para casos de tempo severo ocorridos em outubro a partir de 12 hora local, de 1998-2010, para a) região CA e b) região SA.....69

**Figura 30:** Histogramas mostrando distribuição de frequência de valores pontuais de divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa para os quatro horários, para casos de tempo severo ocorridos em outubro a partir de 12 hora local, de 1998-2010, para a) região CA e b) região SA.....71

**Figura 31:** Histogramas mostrando distribuição de frequência de valores pontuais de divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa para os quatro horários, para casos de tempo severo ocorridos em outubro a partir de 12 hora local, de 1998-2010, para a) região CA e b) região SA.....72

**Figura 32:** Histograma mostrando distribuição de frequência de valores pontuais de umidade relativa (%) em 950 hPa para os quatro horários, para casos de tempo severo ocorridos em outubro a partir de 12 hora local, de 1998-2010, para a) região CA e b) região SA.....73

**Figura 33:** Imagens do satélite GOES-12, infravermelho canal 4, para o dia 20/10/2004, onde: a) 0009Z, b) 0609Z, c) 1209Z, d) 1809Z, e) 1839Z, f) 1939Z. Fonte: CPTEC/INPE.....76

**Figura 34:** Imagem do satélite GOES-12, infravermelho canal 4, para o dia 20/10/2004 às 1809Z, onde o círculo vermelho mostra a formação do caso severo. Adaptado de CPTEC/INPE.....77

**Figura 35:** Módulo do cisalhamento do vento (m/s), para o dia 20/10/2004,

onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região CA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.....78

**Figura 36:** Divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa, para o dia 20/10/2005, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região CA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.....79

**Figura 37:** Divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa, para o dia 20/10/2005, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região CA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.....80

**Figura 38:** Umidade relativa do ar (%) em 950 hPa, para o dia 20/10/2005, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono vermelho delimita a região CA, e o ponto vermelho indica onde o caso está localizado.....81

**Figura 39:** Imagens do satélite GOES-10, infravermelho canal 4, para o dia 17/10/2009, onde: a) 0000Z, b) 0600Z, c) 1200Z, d) 1715Z, e) 1730Z, f) 1800Z. Fonte: CPTEC/INPE.....83

**Figura 40:** Imagem do satélite GOES-10, infravermelho canal 4, para o dia 17/10/2009, no horário de 1715Z, onde o círculo vermelho mostra a formação do caso severo. Adaptado de CPTEC/INPE.....84

**Figura 41:** Módulo do cisalhamento do vento (m/s), para o dia 17/10/2009, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região SA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.....85

**Figura 42:** Divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa, para o dia 17/10/2009, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região SA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.....86

**Figura 43:** Divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa, para o dia 17/10/2009, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região SA, e o ponto

azul indica onde o caso está localizado.....87

**Figura 44:** Umidade relativa do ar (%) em 950 hPa, para o dia 17/10/2009, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono vermelho delimita a região SA, e o ponto vermelho indica onde o caso está localizado.....88

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Definição das características de nuvem e precipitação de 1998-2006 da base de dados do TRMM da Universidade de Utah. Adaptado de Liu et. al., 2008).....	32
<b>Tabela 2:</b> Critérios de seleção de casos potencialmente severos.....	35
<b>Tabela 3:</b> Conjunto 4, formado a partir de uma adaptação do Conjunto 3.....	36
<b>Tabela 4:</b> Informações gerais para o caso em estudo na região CA.....	75
<b>Tabela 5:</b> Características do caso de tempo severo ocorrido em 17/10/2009, mostrando valores de cisalhamento do vento entre 500-850 hPa, divergência do vento em 200 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), divergência do vento em 950 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) e umidade relativa do ar (%) para os horários 00Z, 06Z, 12Z e 18Z.....	75
<b>Tabela 6:</b> Informações gerais para o caso em estudo na região SA.....	82
<b>Tabela 7:</b> Características do caso de tempo severo ocorrido em 17/10/2009, mostrando valores de cisalhamento do vento entre 500-850 hPa, divergência do vento em 200 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), divergência do vento em 950 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) e umidade relativa do ar (%) para os horários 00Z, 06Z, 12Z e 18Z.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**AMJ** Abril-Maio-Junho

**C210F** *Cloud Features with 210 K*

**C235F** *Cloud Features with 235 K*

**C273F** *Cloud Features with 273 K*

**CA** *Central Amazonia*

**CAPE** *Convective Available Potential Energy*

**CPTEC** Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

**CFS** *Climate Forecast System*

**CFSR** *Climate Forecast System Reanalysis*

**CINE** *Convective Inhibition Energy*

**DMSP** *Defense Meteorological Satellite Program*

**EA** *Eastern Amazonia*

**GOES** *Geostationary Operational Environmental Satellite*

**GPCC** *Global Precipitation Climatology Center*

**GrADS** *Grid Analysis and Display System*

**GS** *Guyana Shield*

**IAG** Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

**IDL** *Interactive Data Language*

**INPE** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**INMET** Instituto Nacional de Meteorologia

**JAS** Julho-Agosto-Setembro

**JFM** Janeiro-Fevereiro-Março

**LI** Linhas de instabilidade

**LIC** LI Costeiras

**LIP1** LI com propagação do tipo 1

**LIP2** LI com propagação do tipo 2

**LT** *Local Time*

**MASTER** Laboratório de Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais

**NASDA** *National Space Development Agency of Japan*

**NCEP** *National Centers for Environmental Prediction*

**NLT100** Número de pixel com  $PCT_{85GHz} < 100$  K

**NLT200** Número de pixel com  $PCT_{85GHz} < 200$  K

**NLT225** Número de pixel com  $PCT_{85GHz} < 225$  K

**NLT250** Número de pixel com  $PCT_{85GHz} < 250$  K

**OND** Outubro-Novembro-Dezembro

**PCP** *Precipitation Climatology Project*

**PCT** *Polarization Corrected Temperature*

**PCTF** *TMI Cold  $PCT_{85GHz}$  Feature*

**PF** *Precipitation Features*

**PR** *Precipitation Radar*

**RAINCONV\_2A25** Volume de chuva convectiva

**RPF** *Radar Precipitation Feature*

**RPPF** *Radar Projection Precipitation Feature*

**SA** *Southern Amazonia*

**SCM** Sistemas Convectivos de Mesoescala

**SSM/I** *Special Sensor Microwave Imager*

**T<sub>B11</sub>** Temperatura de brilho

**TMI** *TRMM Microwave Imager*



**TPF** *TMI Precipitation Feature*

**TRMM** *Tropical Rainfall Measuring Mission*

**USP** *Universidade de São Paulo*

**VIRS** *Visible and Infrared Scanner*

**WAS** *Southern part of Western Amazonia*

**WAN** *Northern part of Western Amazonia*

**ZCIT** *Zona de Convergência Intertropical*

## RESUMO

NUNES, A. M. P. **Climatologia e ambiente de tempo severo na Amazônia**. 2015. 106 p., Dissertação – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A região amazônica desempenha papel fundamental na regulação do clima, tanto em escala regional quanto em escala global. A precipitação na região é bastante heterogênea, sobretudo devido à vasta extensão territorial da Amazônia. Dentre os sistemas responsáveis pela precipitação, alguns se destacam como eventos extremos de tempestades, como pode ser verificado em diversos estudos anteriores. Contudo, diferentemente das latitudes médias, na região tropical não há um conjunto de definições amplamente conhecido e difundido para identificação de tempo severo. O presente estudo busca identificar um critério para identificação de tempo severo na região amazônica a partir da base de dados Precipitation Features (PF) – 1998 a 2012 - gerados e armazenados pela Universidade de Utah, com base nos dados do satélite TRMM. Além disso, identificar características sinóticas associadas ao ambiente de ocorrência destes eventos, através de composições com dados da reanálise CFSR-NCEP, bem como parâmetros importantes na identificação de tempestades. Utilizando o subconjunto PCTF do Nível 2 da base de dados PF, o critério estabelecido para identificação de casos severos compreende sistemas com: 80 *pixels* ou mais  $PCT_{85\text{ GHz}} < 250\text{ K}$ ; 1 *pixel* ou mais com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 100\text{ K}$ ; volume de chuva convectiva maior do que 1000 mm/h km<sup>2</sup> e pelo menos um registro de raio. Comparando os sistemas selecionados pelo critério com os Sistemas Convectivos de Mesoescala já catalogados é possível notar que a distribuição sazonal é semelhante, embora as estações com maior número de casos sejam as estações de transição (primavera e outono, 429 e 223 casos respectivamente). Analisando as altas taxas de raios destes sistemas, fica evidente que o critério realmente seleciona casos severos. Com a região amazônica dividida em seis sub-regiões e os casos acumulados por trimestre (JFM, AMJ, JAS, OND) sub-região *Southern Amazonia* (SA) contabiliza o maior número de casos, com um total de 271 para o período do estudo, sendo OND o trimestre com maior ocorrência (135), o menor AMJ (29). O mês de outubro chama atenção para esta sub-região como o mês com maior

número de casos, totalizando 59, dos quais 83% ocorrem a partir das 12 horas local. Estes casos foram investigados nas composições de reanálise, assim como os casos a partir de 12 horas local de outubro da sub-região *Central Amazonia* (CA). De forma geral: 1) SA tem maior área com cisalhamento médio mais intenso (8 m/s) do que CA, principalmente para 00Z, 06Z e 12Z; 2) valores médios de divergência positiva do vento em 200 hPa mostram-se mais significativos para CA do que para SA; 3) convergência do vento em 950 hPa é mais evidente para SA do que para CA e 4) CA é predominantemente mais úmida em baixos níveis do que SA. Histogramas com valores pontuais para cada um destes casos, em ambas as sub-regiões, são apresentados no intuito de auxiliar a identificação destes casos por previsores. O critério de identificação de tempo severo na Amazônia mostra-se eficiente, sendo o cisalhamento do vento entre 500-850 hPa e a convergência do vento em 950 hPa os como parâmetros mais importantes na região SA, onde há maior ocorrência de tempestades severas.

**Palavras chave:** Tempo severo, Amazônia, TRMM, Características de Precipitação.

## ABSTRACT

NUNES. A.M.P. **Climatology and severe weather environment in the Amazon.** 2015. 106 p. Dissertation – Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, São Paulo.

The Amazon region plays a key role in climate regulation, both at the regional scale and on a global scale. Rainfall in the region is very heterogeneous, mainly because of the vast size of the Amazon. Among the systems responsible for rainfall, some stand out as extreme storm events, as can be seen in many previous studies. However, unlike the mid-latitudes, in the tropical region there is no widely acknowledged set of conditions for severe weather identification. This study seeks to identify a criterion for identifying severe weather in the Amazon region from the database Precipitation Features (PF) - 1998-2012 - generated and stored by the University of Utah, based on the TRMM satellite data. This study will also attempt to identify synoptic features associated with the occurrence of these events through compositions using the reanalysis NCEP CFSR data. Using the PCTF subset of Level 2 of PF database, the criteria established for identifying severe cases include: 1) systems with 80 or more pixels  $PCT_{85\text{ GHz}} < 250\text{ K}$ ; 2) systems with one or more pixel with  $PCT_{85\text{ GHz}} < 100\text{ K}$ ; 3) systems with convective rain volume greater than  $1000\text{ km}^2\text{ mm/h}$  and 4) at least one record of lightning. Comparing the systems selected by this criterion with the Mesoscale Convective Systems already cataloged it can be seen that the seasonal distribution is similar, although the stations with the highest number of cases are the transition seasons (spring and fall, 429 and 223 cases, respectively). Analyzing high rates of rays found in these systems, it is clear that the criterion truly selects severe cases. With the Amazon region divided into six sub-regions and cases accumulated by quarter (JFM, AMJ, JAS, OND) South of the Amazon sub region (SA) accounts for the largest number of cases, with a total of 271 for the period of study, OND quarter with higher occurrence (135), the lowest AMJ (29). The month of October draws attention to this sub-region as the month with the highest number of cases, totaling 59, of which 83% occur after 12 local time. These cases have been investigated in compositions, as well as cases observed after 12 local time in October for Amazon Central subregion (CA). In general: 1) SA has larger area with average stronger shear (8 m/s) than AC, especially for 00Z, 06Z and 12Z;

2) average wind positive divergence values at 200 hPa were more significant for CA than for SA; 3) Wind convergence at 950 hPa is more obvious for SA than at CA and 4) is predominantly CA moster at low levels than SA. Histograms with specific values for each of these cases, both sub regions are presented in order to help identify predictors for these cases. The severe weather identification criterion in the Amazon proves efficient, while the wind shear between 500-850 hPa and wind convergence in 950 hPa stand out as important parameters in the SA region, where there is greater occurrence of severe storms.

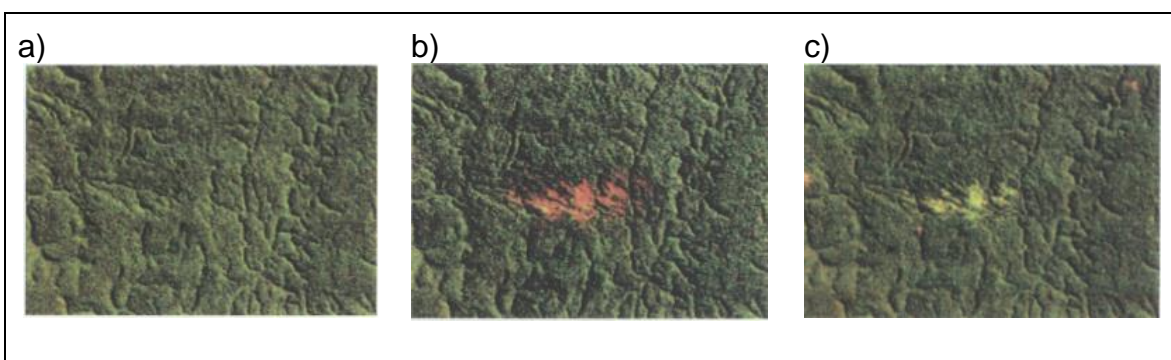
**Key words:** severe storms, Amazon, TRMM, Precipitation Features.

## 1. INTRODUÇÃO

A região Amazônica é foco de diversos tipos de experimentos e estudos climáticos, tamanha a sua importância para o clima local e global. Em termos gerais, a Amazônia é uma grande fonte global de vapor d'água e calor latente, que através de convecção profunda são gerados e/ou transportados para a alta troposfera e assim contribuem para a circulação geral da atmosfera (Raupp e Silva Dias, 2004).

Diversos tipos de sistemas precipitantes agem nesta região, inclusive sistemas de tempo severo. Estes estão normalmente associados com Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) embebidos em sistemas de escala maior como frentes, ondas de leste, entre outros, e têm sido reportados na literatura científica nas últimas décadas. Há, inclusive, sistemas severos a ponto de causar significativos desmatamentos, perda de propriedades e de vida humana.

Nelson et. al. (1994) foram os primeiros a detectar desmatamentos concentrados e em linha reta, com extensão de vários quilômetros, os quais foram chamados de *blowdowns*. A razão para o nome foram as evidências locais de que as árvores na faixa desmatada teriam sido derrubadas por rajadas de ventos fortes e concentrados (*downbursts*). A Figura 1 mostra uma sequência de imagens do Landsat em agosto de 1989, 1990 e 1991 (Figura 1a, b, c, respectivamente) mostrando os danos à vegetação causado por um *blowdown* ocorrido em 2'12' S, 59°42' W.



**Figura 1:** Sequência de imagens Landsat em agosto de a) 1989; b) 1990 e c) 1991 mostrando um caso de *blowdown* ocorrido em 2'12' S, 59°42' W. Fonte: Nelson et. al. 1994.

Este documento está organizado da seguinte forma: a introdução é considerada o capítulo 1, o capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, os dados utilizados são apresentados no capítulo 3. O capítulo 4 apresenta os resultados divididos em três partes: a ocorrência das tempestades severas, o ambiente associado, e estudos de casos. Finalmente o capítulo 5 apresenta um sumário geral e as conclusões.

## **1.1 - Objetivo Geral**

Levando em consideração os danos significativos a infraestruturas, impactos à vida humana e até mesmo à vegetação, que eventos de tempo severo podem causar, surge a questão central desta proposta que é identificar quando e onde ocorrem com maior frequência as tempestades severas e quais situações sinóticas levam à sua ocorrência. A partir dessa análise pretende-se contribuir para um avanço nas técnicas de previsão de eventos extremos na Amazônia.

## **1.2 - Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste estudo são:

- a) Desenvolver um critério de seleção de sistemas que possam ser classificados como severos na região amazônica;
- b) Elaborar uma climatologia para estes eventos incluindo sua sazonalidade e ciclo diurno;
- c) Identificar padrões sinóticos que levem à ocorrência de tempo severo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Convecção na Amazônia

A região amazônica desempenha papel fundamental na regulação do clima, tanto em escala regional quanto em escala global. O mecanismo que busca equilibrar o acentuado aquecimento que a região sofre em superfície é a intensa evapotranspiração da floresta tropical, que bombeia calor latente à atmosfera (Nobre et. al., 2009). A convecção (rasa e profunda) na Amazônia tem papel fundamental no balanço de energia e influencia a dinâmica tropical de grande escala. Além disso, a convecção profunda (precipitante) se apresenta de forma heterogênea na extensa região amazônica, enquanto alguns regimes apresentam com mais frequência sistemas convectivos organizados, como as Linhas de Instabilidade (LI), outros experimentam um forte ciclo diurno de células convectivas não organizadas (Adams et. al., 2009).

A precipitação é bastante heterogênea, sobretudo devido à vasta extensão territorial da Amazônia. Na parte norte da bacia, a distribuição da precipitação sazonal mostra uma heterogeneidade significativa. A parte meridional tem estações seca e úmida distintas, com ocorrência de máxima precipitação no verão austral (Nobre et. al., 2009).

Marengo e Nobre (2009) falam de três núcleos de precipitação abundante. O primeiro, representando a máxima de precipitação anual (acima de 3000 mm), localiza-se no noroeste da Amazônia e é associada à convergência de fluxo de umidade de leste em baixos níveis, provavelmente resultado da presença da Cordilheira dos Andes a oeste (Nobre, 1983). Essa elevada precipitação pode ser entendida como uma resposta da flutuação dinâmica do centro de convecção quase permanente, afinal este centro é parte integral da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que no verão austral migra latitudinalmente para a sua posição mais ao Sul (Marengo e Hastenrath, 1993). A estação chuvosa ocorre principalmente no trimestre de abril/maio/junho. O segundo núcleo corresponde à parte central da Amazônia, com uma banda zonalmente orientada em torno de 5° S, totalizando anualmente 2500 mm, com estação chuvosa entre março e maio. O terceiro núcleo localiza-se na parte sul da região, onde o máximo ocorre entre janeiro e março. Um



quarto núcleo também aparece próximo a Belém, com precipitação de 4000 mm/ano e máxima entre fevereiro e abril, que está relacionado com as LI que se formam na costa leste da bacia, forçadas pela circulação da brisa marinha no final da tarde (Marengo e Nobre, 2009).

Em escala sazonal, há uma defasagem de seis meses entre o período chuvoso do norte da bacia amazônica (junho/julho) e o período chuvoso do sul da bacia (iniciado em dezembro). A estação chuvosa inicia-se na primavera, no sul da Amazônia, com máximo chuvoso no verão (austral), quando no outono o máximo ocorre na parte central. O inverno corresponde à estação seca na maior parte da região, embora represente um máximo chuvoso para o extremo norte (Marengo e Nobre, 2009).

Segundo Molion (1987, 1993) os mecanismos precipitantes na Amazônia podem ser agrupados em três tipos: 1) convecção diurna (resultante de aquecimento da superfície); 2) LI e 3) aglomerados convectivos (de meso e grande escala) associados com sistemas frontais na região Sul/Sudeste do Brasil interagindo com a região Amazônica.

O desenvolvimento das células convectivas tem início durante a manhã com o nascimento do Sol, e ao longo do tempo sofrem um processo de seleção, no qual algumas crescem e formam aglomerados ou linhas, e outras, menores, dissipam-se (Molion, 1987).

As LI, identificadas primeiramente por Kousky (1980), tem grande papel na precipitação de algumas regiões e podem representar cerca de 45% da precipitação no centro-leste do Pará (Cohen et. al. 1989). Segundo Garstang et. al. (1998) elas passam por um ciclo de vida em que se formam à tarde nas proximidades de Belém, perdem a intensidade durante a noite e adquirem força novamente na tarde do dia seguinte quando se encontrariam na região a oeste de Manaus. Molion (1987) também verifica este ciclo de vida que enfraquece à noite (na região de Santarém). Cohen et. al. (1989) realizaram um levantamento sobre a distribuição de frequências e condições favoráveis à manutenção e propagação de LI, no período de 1979 a 1986, e as classificaram em três grupos: as LI Costeiras (LIC) – que se propagam continente adentro, até no máximo 170 km - as LI com propagação do tipo 1 (LIP1) – deslocamento rumo ao continente entre 170 e 400 km - e as LIs com propagação do tipo 2 (LIP2) - quando o deslocamento no continente é superior a 400 km.

Além dos mecanismos de convecção já citados, a região amazônica (parte sudoeste) sofre ainda influência de passagem de frentes frias durante o inverno (Fisch, Marengo e Nobre, 1998). Este fenômeno conhecido localmente como “friagem”, ocasiona uma brusca alteração nas condições meteorológicas, causando uma diminuição da temperatura e umidade do ar e modificando as características ambientais. Trabalhos anteriores descreveram friagem como sendo uma forte entrada de ar frio vindo do Sul o qual penetra dentro dos trópicos e afeta a Amazônia (Serra e Rastibona, 1942).

## **2.2. Convecção severa**

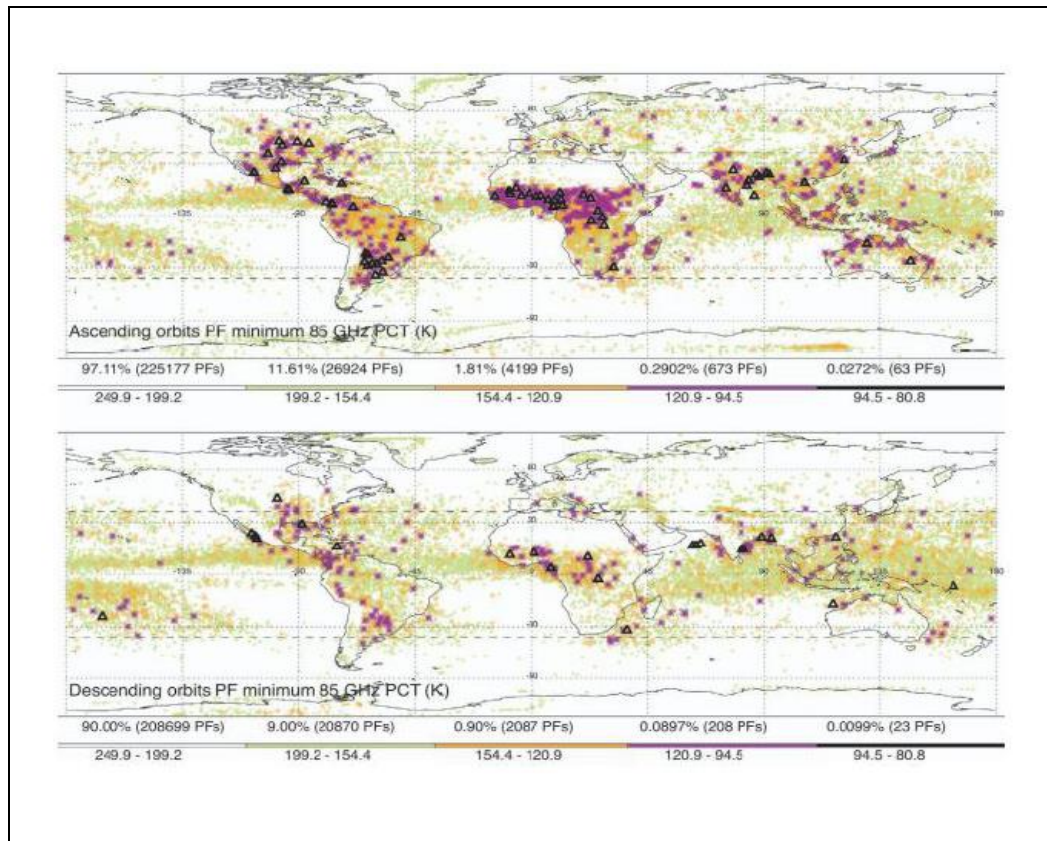
Na literatura científica são encontradas diversas definições a respeito de convecção severa. No conceito de severidade está explícito o fato de que o sistema possa gerar fenômenos com significativo impacto social e econômico (Nascimento, 2004), porém é um conceito arbitrário e varia de acordo com as características geográficas do local do acontecimento (área urbana ou área rural).

Johns e Doswell (1992) e Moller (2001), através de análises para regiões dos Estados Unidos da América, definem tempo severo para como uma tempestade capaz de gerar pelo menos um dos fenômenos: tornado, ventos intensos em superfície (velocidade igual ou superior a 94 km/h) ou granizo com tamanho maior ou igual a 1,9 cm de diâmetro. Mills e Colquhoun (1998), por sua vez, estudaram uma região na Austrália e definiram tempo severo de maneira semelhante, como uma tempestade capaz de gerar pelo menos um dos fenômenos: tornado, ventos intensos em superfície (velocidade igual ou superior a 90 km/h), granizo com tamanho igual ou superior a 2 cm de diâmetro ou altas taxas de precipitação (que causem inundações, pois como a área em estudo é essencialmente urbana, inundações são de grande impacto social/econômico). A definição de Mills e Colquhoun (1998) é a que melhor representa a realidade brasileira, onde altas taxas de precipitação são causadoras de inundações repentinas e deslizamentos de encostas (Bender, 2012). Contudo, estas definições são amplamente conhecidas e difundidas no que dizem respeito a latitudes médias, e não são bem caracterizadas nas latitudes equatoriais e tropicais.

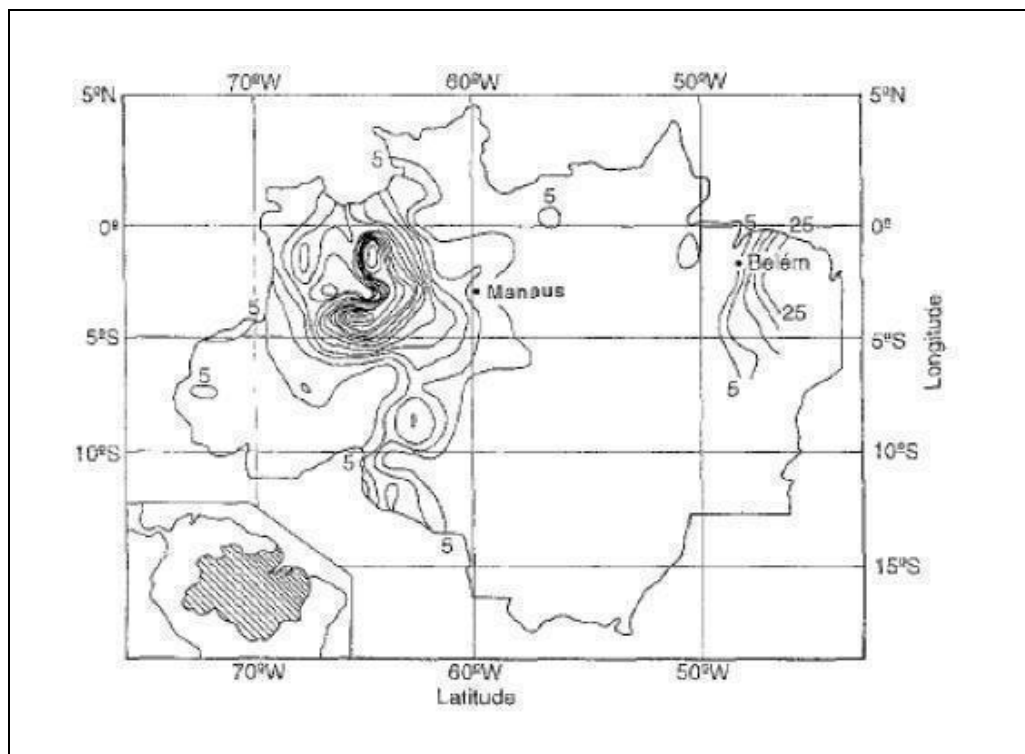
Em se tratando de latitudes tropicais, como a região de estudo em questão, estes parâmetros ainda não estão bem definidos. Porém, é fato que existem eventos severos em latitudes tropicais, como alguns autores já mostraram. Por exemplo, em função dos resultados obtidos por Liu et. al. (2008) e Nesbitt et. al. (2000) sabe-se que ocorrem eventos extremos de tempestades na Amazônia, apesar de não ser a região preferencial do globo nem mesmo da América do Sul. Zipser et. al. (2006) fizeram uso de canais de alta frequência do sensor TMI (*TRMM Microwave Imager*) do TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), que dão uma boa indicação da massa da coluna e/ou da densidade da precipitação de gelo (Vivekenandan et. al. 1991), estando ambas relacionadas com a força das correntes ascendentes.

A Figura 2, extraída de Zipser et. al. (2006), mostra esta ocorrência de alguns eventos extremos na Amazônia, ela identifica eventos extremos observados globalmente em 85 GHz a partir de um ano completo (2004) de dados do sensor SSM/I a bordo do satélite F-14, do Program Defense Meteorological Satellite (DMSP), onde órbitas ascendentes são perto de 1900 LT (Local Time) e órbitas descendentes perto de 0700 LT. Permanece, portanto, em aberto o critério de tempo severo para a região amazônica.

A ocorrência de tempo severo na Amazônia associado SCM tem sido reportada nas últimas décadas na literatura científica. As LI que se formam na costa norte do Brasil (Cohen et. al. 1995, Alcantara et. al. 2011) são apontadas como os principais sistemas que podem produzir efeitos severos. Estudos como de Garstang et. al. (1998) analisaram a associação dos *blowdowns* com LI, em especial as que têm um ciclo de vida maior, o que explicaria as regiões preferenciais de *blowdown* inventariadas por Nelson et. al. (1994), mostradas na Figura 3.



**Figura 2:** Eventos extremos no globo, filtrados a partir da mínima  $PCT_{85GHz}$ , do sensor SSM/I do satélite F-14. Fonte: Zipser et. al. (2006).



**Figura 3:** Distribuição geográfica das derrubadas de árvores na Amazônia devido a rajadas de vento de tempestades. Fonte: Nelson et. al. (1994).

## 2.3 - Parâmetros para análise de tempo severo

Existe uma série de parâmetros de tempo severo conhecidos, especialmente para latitudes médias. Nascimento (2004) afirma que estes parâmetros foram/são concebidos para destacar ambientes em escala sinótica e em mesoescala com altos valores de instabilidade e cisalhamento vertical do vento, onde as tempestades que ali se desenvolvem terão o potencial de se tornar severas.

Tradicionalmente os valores de energia potencial disponível para convecção (*Convective Available Potential Energy*, CAPE) e inibição convectiva (*Convective Inhibition Energy*, CINE) têm sido incluídos na análise do caráter convectivo. Adams et. al. (2009) fazem uma revisão de vários estudos que enfocam o regime de convecção na Amazônia e notam que em geral há menores valores de CAPE quando a convecção tem um caráter mais marítimo e maiores valores de CAPE associados à convecção profunda – sem discriminar a severidade das tempestades associadas. Por outro lado, valores de CAPE, para serem representativos do ambiente de uma tempestade, devem ser próximos o suficiente das tempestades e longe o suficiente para não terem sido afetados por ela. Para o caso das latitudes médias isso tem sido bastante discutido com o conceito de sondagens próximas (por exemplo, Potwin et. al., 2010).

Além da CAPE e da CINE, parâmetros como cisalhamento de vento e umidade relativa do ambiente, também são importantes para o desenvolvimento da convecção profunda (James e Markoski, 2010). O cisalhamento vertical do vento, ou a mudança de ventos com a altura, leva à vortacidade horizontal e interage dinamicamente com as tempestades, fazendo aumentar ou diminuir as correntes ascendentes/descendentes. (Thompson, 2002).

A umidade relativa em baixos níveis é ingrediente importante para o desenvolvimento do tempo severo, como mostrado por Carlson e Ludlam (1968) e Silva Dias (2000). Com uma camada úmida e quente em baixos níveis e uma camada seca acima de 700 hPa, quando o ar à superfície é levantado o entranhamento acima de 700 hPa provoca forte evaporação, o que intensifica as correntes descendentes que produzem rajadas em superfície.

A divergência/convergência do vento em altos/baixos níveis é um fator aliado à convecção, pois cria regiões favoráveis a levantamento de ar. Lima, Machado e

Laurent (2008), por exemplo, analisaram a interação entre a divergência em altos níveis, a cobertura de nuvens e a convecção sobre a Amazônia. Eles encontraram a seguinte relação: um máximo de três horas separa o máximo de cobertura de nuvens convectivas (nuvens com topos de limiares frios – 210° K) e o máximo de precipitação, e que o ciclo diurno da divergência do vento em altos níveis está em fase com este máximo de precipitação, ou seja, também tem defasagem de três horas com a cobertura de nuvens.

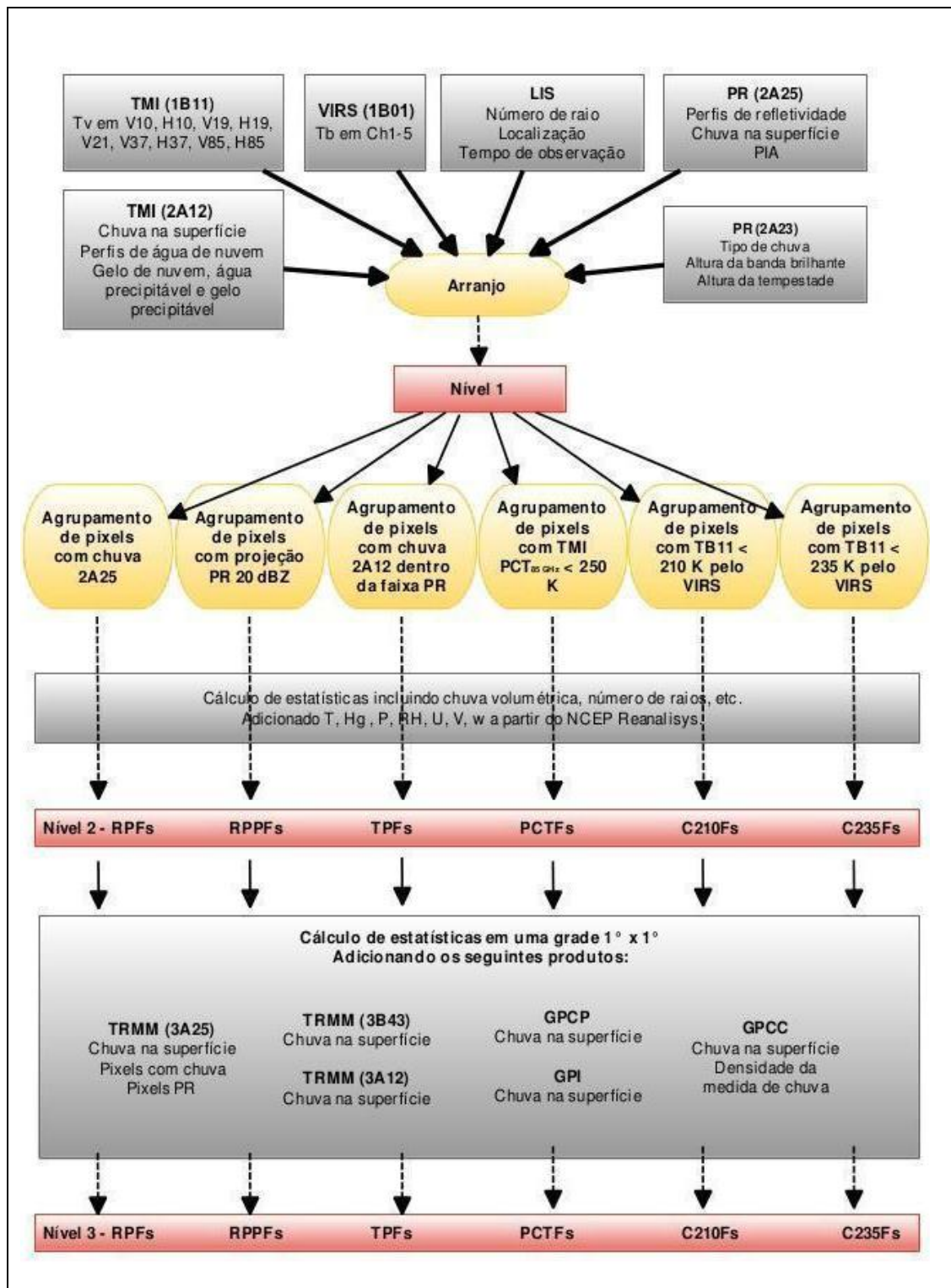
### 3. DADOS

#### 3.1. Dados TRMM

Para identificar os casos de tempestades severas será utilizado o banco de dados de *Precipitation Features* (PF) gerados e armazenados pela Universidade de Utah, com base nos dados do satélite TRMM. Esses dados são públicos e disponíveis na página da universidade na internet (<http://trmm.chpc.utah.edu>).

Diante da vasta quantidade de informação fornecida pelo satélite, Nesbitt et. al. (2000) foram os pioneiros em estabelecer um algoritmo que sintetizasse os eventos de precipitação do conjunto de dados do TRMM, através do conceito de agrupamento de PF. Nesse trabalho os *pixels* com refletividade do *Precipitation Radar* (PR) perto da superfície  $\geq 20$  dBZ ou sinal de espalhamento de gelo pela *Polarization Corrected Temperature* ( $PCT_{85\text{ GHz}}$ ) do TMI são agrupados. O trabalho também classifica as PF de acordo com tamanho e intensidade, separando os sistemas em três tipos: com espalhamento de gelo ( $PCT_{85\text{ GHz}} < 250$  K), sem espalhamento de gelo ( $PCT_{85\text{ GHz}} > 250$  K) e SCM.

Liu et. al. (2008), no entanto, identificaram alguns problemas na aplicabilidade deste método para grandes áreas, visto que ele possui definições bem particulares. As desvantagens são, por exemplo, que estas PF não consideram alguma possível área com baixa precipitação com refletividade entre o mínimo sinal detectável do PR (entre 17 e 20 dBZ) e  $PCT_{85\text{ GHz}} > 250$  K. Ademais, algumas PF sobre áreas sem chuva podem apresentar  $PCT_{85\text{ GHz}}$  fria, como por exemplo, áreas de baixa emissividade sobre superfícies cobertas por neve. Assim, o artigo apresenta um método que diminui estes problemas citados, e divide o banco de dados do TRMM em três níveis de processamento, como esquematiza o fluxograma da Figura 4.



**Figura 4:** Fluxograma dos três níveis da base de dados de características do TRMM da Universidade de Utah. Adaptado de Liu et. al. (2008).

De acordo com a descrição dos produtos no banco de dados da Universidade de Utah (Liu, 2007), o Nível 1 dos dados corresponde a um arranjo das observações e recuperações dos diferentes instrumentos que estão a bordo do satélite TRMM, de forma que as medições utilizadas são as que estão na faixa do PR e a grade comum para este arranjo corresponde aos *pixels* do PR (Liu et. al., 2008). O Nível 2 agrupa as PF de acordo com diferentes definições, seguido de cálculo das propriedades das medições e recuperações dentro de cada característica, como por exemplo, tamanho, volume de chuva, refletividade, temperatura mínima de brilho, entre outros (Liu, 2007). Já o Nível 3 apresenta características de nuvens individuais e sistemas de precipitação do Nível 2, em uma grade com resolução de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ , e que incorpora estimativas através de estatísticas de precipitação de outras fontes (como o índice de precipitação do *Geostationary Operational Environmental Satellite* - GOES, *Global Precipitation Climatology Center* – GPCC - e do *Precipitation Climatology Project* – PCP (Liu, 2007). A Tabela 1 mostra os diferentes critérios utilizados para as definições das PF no Nível 2.

**Tabela 1:** Definição das características de nuvem e precipitação de 1998-2006 da base de dados do TRMM da Universidade de Utah. Adaptado de Liu et. al., 2008)

Sigla	Definição	Critério	População (milhões)
RPF	<i>Radar Precipitation Feature</i>	<i>Pixels com taxa de chuva 2A25 &gt;0</i>	78,2
RPPF	<i>Radar Projection Precipitation Feature</i>	<i>Pixels com 20 dBZ em qualquer lugar acima do solo</i>	68,6
TPF	<i>TMI Precipitation Feature</i>	<i>Pixels com taxa de chuva 2A12 &gt;0</i>	14,8
PCTF	<i>TMI cold PCT<sub>85GHZ</sub> feature</i>	<i>Pixels com PCT<sub>85-GHZ</sub> &lt; 250 K</i>	6,2
C210F	<i>Cloud Features with 210 K</i>	<i>VIRS T<sub>B11</sub> &lt; 210 K</i>	2,8
C235F	<i>Cloud Features with 235 K</i>	<i>VIRS T<sub>B11</sub> &lt; 235 K</i>	20,5
C273F	<i>Cloud Features with 273 K</i>	<i>VIRS T<sub>B11</sub> &lt; 273 K</i>	77,2



Com respeito ao Nível 2, subconjunto RPF (*Radar Precipitation Feature*) é relativo à característica de precipitação denominada 2A25, estimada pelo PR, que se refere a *pixels* contíguos de chuva próxima à superfície. O subconjunto TPF (*TRMM Microwave Imager Precipitation Features*) é relativo à característica de precipitação denominada 2A12, estimada pelo TMI, que se refere a *pixels* contíguos de chuva na superfície. O subconjunto RPPF (*Radar Projection Precipitation Feature*) refere-se a características de precipitação de projeção do radar e são introduzidas agrupando a área de projeção no solo com refletividade do radar maior que 20 dBZ. O subconjunto PCTF (*Polarization Corrected Temperature Features*) refere-se a características com PCT frias e são definidas por *pixels* com  $PCT_{85\text{GHz}} < 250\text{K}$ . Características de nuvens são definidas usando VIRS (*Visible and Infrared Scanner*) 10,8  $\mu\text{m}$  com temperatura de brilho ( $T_{B11}$ )  $T_{B11} < 210\text{ K}$  (subconjunto C210F),  $T_{B11} < 235\text{ K}$  (subconjunto C235F) e  $T_{B11} < 237$  (subconjunto C237F).

Autores como Liu et. al. (2008) sugerem uso dos dados dos Níveis 2 como ferramenta para selecionar casos com características particulares e/ou eventos históricos.

### 3.2. Dados CFSR-NCEP

A reanálise escolhida para a composição de dados é a do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) desenvolvido pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Esta é a terceira geração de produtos de reanálise (Saha et. al., 2010) e foi elaborada para melhor simular a condição do domínio acoplado do sistema oceano-atmosfera-terra e gelo da superfície do mar, com alta resolução. No CFS (*Climate Forecast System*) o modelo atmosférico global possui resolução de 38 km e 64 níveis verticais, enquanto o oceânico 0,25° latitudinalmente próximo ao Equador e até 0,5° próximo aos trópicos, com 40 níveis de profundidade até 4737 m (Saha et. al., 2010). Quadro et. al. (2013) analisaram ciclo da água na América do Sul de acordo com três reanálises e concluíram uma qualidade superior do CFSR em relação às outras. Os dados aqui utilizados foram conseguidos junto ao laboratório MASTER-IAG, onde estão disponíveis até 2010 (porém a reanálise CFSR engloba os anos de 1979-2011), com resolução horizontal de 0,5° e resolução temporal de 6h.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Tempestades severas na Amazônia

#### a) Metodologia de análise dos dados do TRMM

Diante da base de dados com um número vasto de informações, é necessário realizar testes com as variáveis disponíveis em busca de um conjunto de características que possam representar tempestades como possivelmente severas.

Baseado na metodologia de Mohr e Zipser (1996), que utilizaram a  $PCT_{85\text{ GHz}}$  a partir do sensor Special Sensor Microwave/Imager (precursor e similar ao TMI) para obter uma amostra de SCM, aqui será utilizado o subconjunto PCTF do Nível 2, que segue este mesmo critério. Eles definiram o espalhamento por gelo dos SCM como uma área contígua superior a 2000 km<sup>2</sup> com PCT inferior a 250 K, e com pelo menos um *data bin* com PCT de 225 K ou menos (para garantir a convecção profunda no sistema).

A PCT é uma combinação linear das polarizações horizontal e vertical da temperatura de brilho, segundo Spencer (1986), e que serve para amenizar os efeitos das diferentes emissividades das superfícies de fundo que podem ser confundidas com áreas de chuva. O TMI é um sensor de micro-onda passivo que mede quantidade de energia emitida pela terra, superfícies de água, nuvens. Ele é capaz de quantificar vapor d'água, água da nuvem e intensidade da precipitação e mede em cinco frequências (10.7, 19.4, 21.3, 37 e 85.5 GHz), sendo que as micro-ondas de alta frequência (85.5 GHz) são fortemente espalhadas pelo gelo presente no topo de muitas nuvens com chuva (NASDA, 2001).

Para estimar a área de cada sistema considerou-se a área de cada pixel como 25 km<sup>2</sup> (segundo a documentação dos dados do TRMM disponível em [http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/documentation/TRMM\\_README](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/documentation/TRMM_README)), assim, 2000 km<sup>2</sup> é igual a aproximadamente 80 pixels. Selecionaram-se, portanto, dentro da base de dados PCTF com o auxílio do *software Interactive Data Language* (IDL), três conjuntos de características a serem testados, como mostra a Tabela 2.

**Tabela 2:** Critérios de seleção de casos potencialmente severos.

Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas com 80 <i>pixels</i> ou mais com NLT250 (número de <i>pixel</i> com <math>PCT_{85}</math> GHz&lt;250 K);</li> <li>• Sistemas com 1 <i>pixel</i> ou mais com NLT225 (número de <i>pixel</i> com <math>PCT_{85}</math> GHz&lt;225 K);</li> <li>• Sistemas com volume de chuva convectiva RAINCONV_2A25 maior do que 1000 mm/h km<sup>2</sup> (equivalente a 40 mm/h em cada <i>pixel</i>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas com 80 <i>pixels</i> ou mais com NLT250 (número de <i>pixel</i> com <math>PCT_{85}</math> GHz&lt;250 K);</li> <li>• Sistemas com 1 <i>pixel</i> ou mais com NLT200 (número de <i>pixel</i> com <math>PCT_{85}</math> GHz&lt;200 K);</li> <li>• Sistemas com volume de chuva convectiva RAINCONV_2A25 maior do que 1000 mm/h km<sup>2</sup> (equivalente a 40 mm/h em cada <i>pixel</i>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas com 80 <i>pixels</i> ou mais com NLT250 (número de <i>pixel</i> com <math>PCT_{85}</math> GHz&lt;250 K);</li> <li>• Sistemas com 1 <i>pixel</i> ou mais com NLT100 (número de <i>pixel</i> com <math>PCT_{85}</math> GHz&lt;100 K);</li> <li>• Sistemas com volume de chuva convectiva RAINCONV_2A25 maior do que 1000 mm/h km<sup>2</sup> (equivalente a 40 mm/h em cada <i>pixel</i>).</li> </ul>

A diferença entre os critérios dos Conjuntos 1, 2 e 3 diz respeito a um núcleo mais frio dentro do sistema, que garanta convecção, e é um critério bastante sensível quando observamos os totais de casos, como será mostrado adiante. Considerando o Conjunto 3, com núcleo mais frio (abaixo de 100 K) como o mais representativo de casos potencialmente severos, foi adicionada a condição de que os sistemas deveriam conter, ainda, registro de pelo menos um raio. A Tabela 3 mostra este conjunto de características, referido como Conjunto 4, que deve representar casos severos.

**Tabela 3:** Conjunto 4, formado a partir de uma adaptação do Conjunto 3, indica as características aqui consideradas como representativas de tempo severo na Amazônia.

---

Critérios Conjunto 4

---

- Sistemas com 80 *pixels* ou mais com NLT250 (número de *pixel* com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 250\text{ K}$ );
  - Sistemas com 1 *pixel* ou mais com NLT100 (número de *pixel* com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 100\text{ K}$ );
  - Sistemas com volume de chuva convectiva RAINCONV\_2A25 maior do que 1000 mm/h km<sup>2</sup> (equivalente a 40 mm/h em cada *pixel*);
  - Sistemas com pelo menos um registro de raio (FLASHCOUNT >0).
- 

Aplicou-se na região de estudo (região amazônica, 20° S – 10° N e 80° W – 40° W) uma grade com resolução horizontal de 2°x2° e através do *software* IDL contabilizou-se o número de casos mensais com as características descritas em cada um dos quatro conjuntos no período de 1998-2012, buscando a distribuição espacial. Os totais podem ser observados nos resultados do item a seguir, bem como a espacialização dos casos (que é mostrada apenas para o Conjunto 4).

Para os casos selecionados pelo Conjunto 4 foram calculadas estatísticas a respeito de: área total ( $A_t$ ), dada pelo tamanho da área com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 250\text{ K}$  (Equação 1), área do núcleo mais frio ( $A_n$ ) dada pelo tamanho da área com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 100\text{ K}$  (Equação 2) e taxa de raios (FT, dada pela Equação 3), conforme proposto por Anselmo (2015). Estas estatísticas são apresentadas na forma de histogramas.

$$A_t = \text{NLT250} * 25 \text{ [km}^2\text{]} \quad (1),$$

onde NLT250 é a quantidade de *pixels* com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 250\text{ K}$  em um dado sistema e 25 é a área de um *pixel*, em km<sup>2</sup>.

$$A_n = \text{NLT100} * 25 \text{ [km}^2\text{]} \quad (2),$$

onde NLT100 é a quantidade de *pixels* com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 100\text{ K}$  em um dado sistema e 25 é a área de um *pixel*, em km<sup>2</sup>.

$$FT = N_{ti}/VT_m * 60 [\text{min}^{-1}] \quad (3),$$

onde FT é a taxa de raios no tempo,  $N_{ti}$  é o número de raios do sistema e  $VT_m$  é o tempo médio (em segundos) de observação do sensor *Lightning Imaging Sensor* - LIS (sensor que identifica raios). O fator 60 que multiplica a Equação 3 é aplicado para converter o tempo segundos para minutos, em geral a severidade é quantificada em raios por minuto (ASELMO, 2015).

Posteriormente, para uma análise mais detalhada dos casos severos encontrados, a região amazônica foi dividida conforme a classificação apresentada em Steege et. al. (2013) mostrada na Figura 5: WAS (*Southern part of Western Amazonia*), WAN (*Northern part of Western Amazonia*), GS (*Guyana Shield*), CA (*Central Amazonia*), EA (*Eastern Amazonia*) e SA (*Southern Amazonia*).

Considerando então estas seis sub-regiões o chamado Conjunto 5 é definido. Atribui-se ao Conjunto 5 as tempestades encontradas pelo Conjunto 4 que estejam dentro das delimitações das seis sub-regiões, ou seja, dentro dos limites da floresta Amazônica (região delimitada pelo polígono branco na Figura 5), desconsiderando-se casos que ocorreram em células fora deste limite.

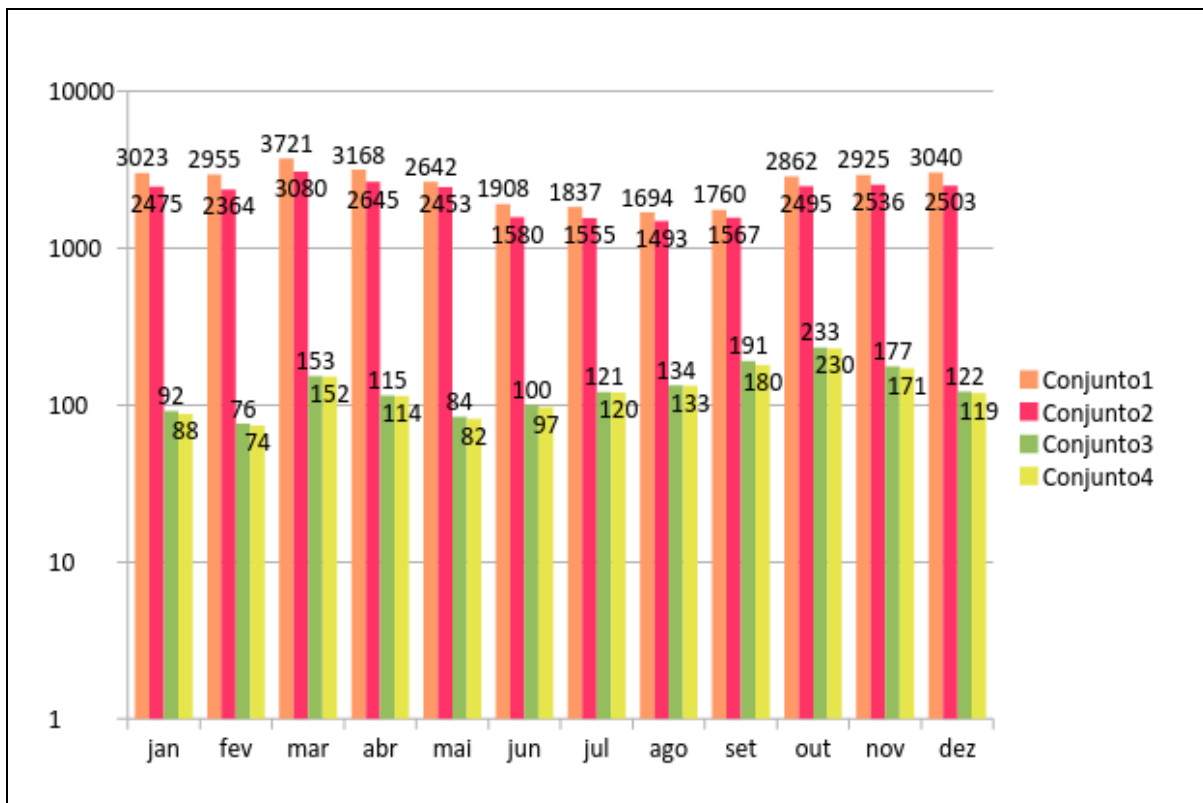


**Figura 5:** Região e sub-regiões de estudo, delimitadas pelos polígonos brancos, onde: WAS: *Southern part of Western Amazonia*; WAN: *Northern part of Western Amazonia*, GS: *Guyana Shield*; CA: *Central Amazonia*; EA: *Eastern Amazonia* e SA: *Southern Amazonia*. Fonte: Steege et. al., H. (2013).

Os casos do Conjunto 5 serão utilizados para análises mais específicas como a distribuição dos casos acumulados por trimestre Janeiro-Fevereiro-Março (JFM), Abril-Maio-Junho (AMJ), Julho-Agosto-Setembro (JAS) e Outubro-Novembro-Dezembro (OND) e histogramas horários (Hora Local) trimestrais, ambos calculados separadamente para cada sub-região. Estas análises são bastante úteis quando consideramos o fato de que a região da Bacia Amazônica é muito extensa e possui regimes diferentes de precipitação, portanto, a distribuição dos casos severos selecionados também deve apresentar variação ao longo do ano em cada sub-região, bem como os horários de ocorrência também podem ser distintos.

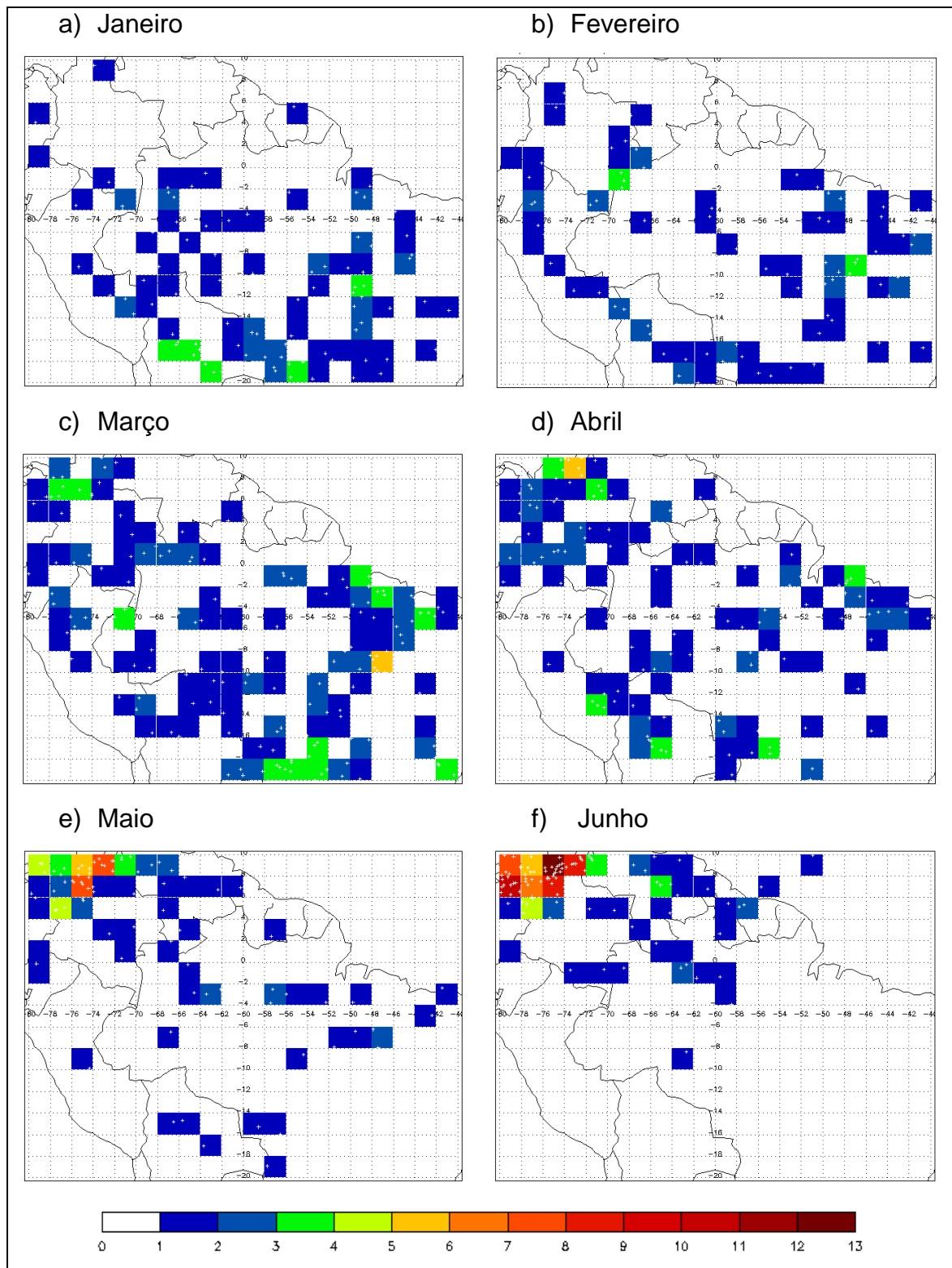
## **b) Resultados**

A Figura 6 mostra uma comparação entre os totais de casos selecionados pelos Conjuntos 1, 2, 3 e 4 de critérios. Estes totais estão distribuídos em toda a área  $20^{\circ}$  S –  $10^{\circ}$  N e  $80^{\circ}$  W –  $40^{\circ}$ W e reforçam a constatação de que o Conjunto 4 é o mais representativo de tempo severo. Considerando a presença de raio como um forte indicativo de tempo severo e observando que os totais de casos encontrados pelos Conjuntos 3 e 4 são bastante semelhantes pode-se dizer que as características selecionadas pelo Conjunto 3 representam fortemente tempo severo (visto que a maioria dos casos contém registro de raio) e que o Conjunto 4, de fato, garante severidade quando impõe a obrigatoriedade do registro de raio.



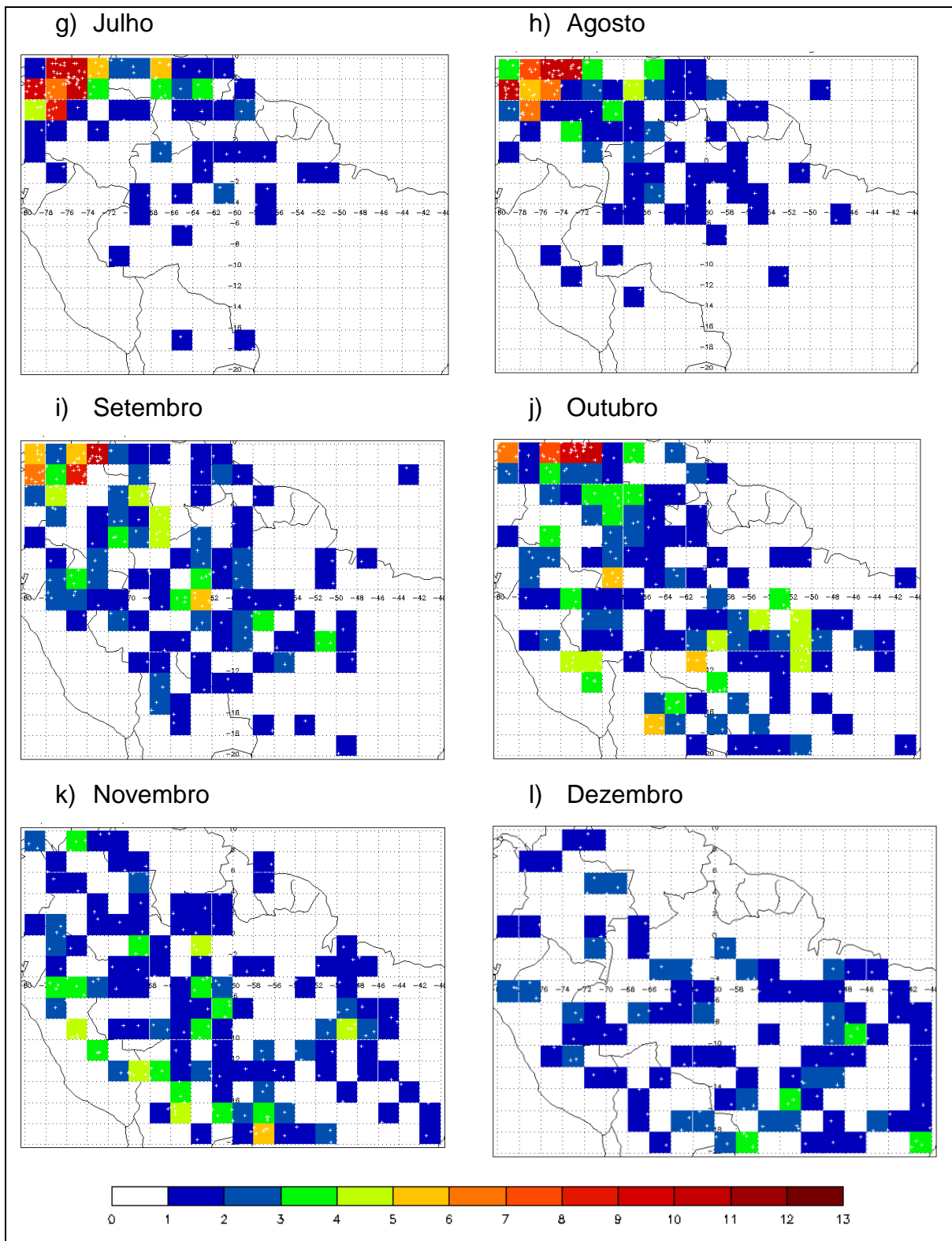
**Figura 6:** Gráfico de comparação entre o número total de casos potencialmente severos para os diversos critérios, onde as barras laranja representam casos encontrados para o Conjunto 1 de características, barras vermelhas o Conjunto 2, barras verdes o Conjunto 3 e as barras amarelas o Conjunto 4, para o período de 1998-2012.

A Figura 7 mostra a distribuição destes casos severos (Conjunto 4) acumulados por meses, ao longo do período de 1998-2012, em uma grade  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ . O mês de outubro apresenta o maior número de casos (230) e fevereiro o menor (74), considerando toda a região de  $20^{\circ} \text{ S} - 10^{\circ} \text{ N}$  e  $80^{\circ} \text{ W} - 40^{\circ} \text{ W}$ .

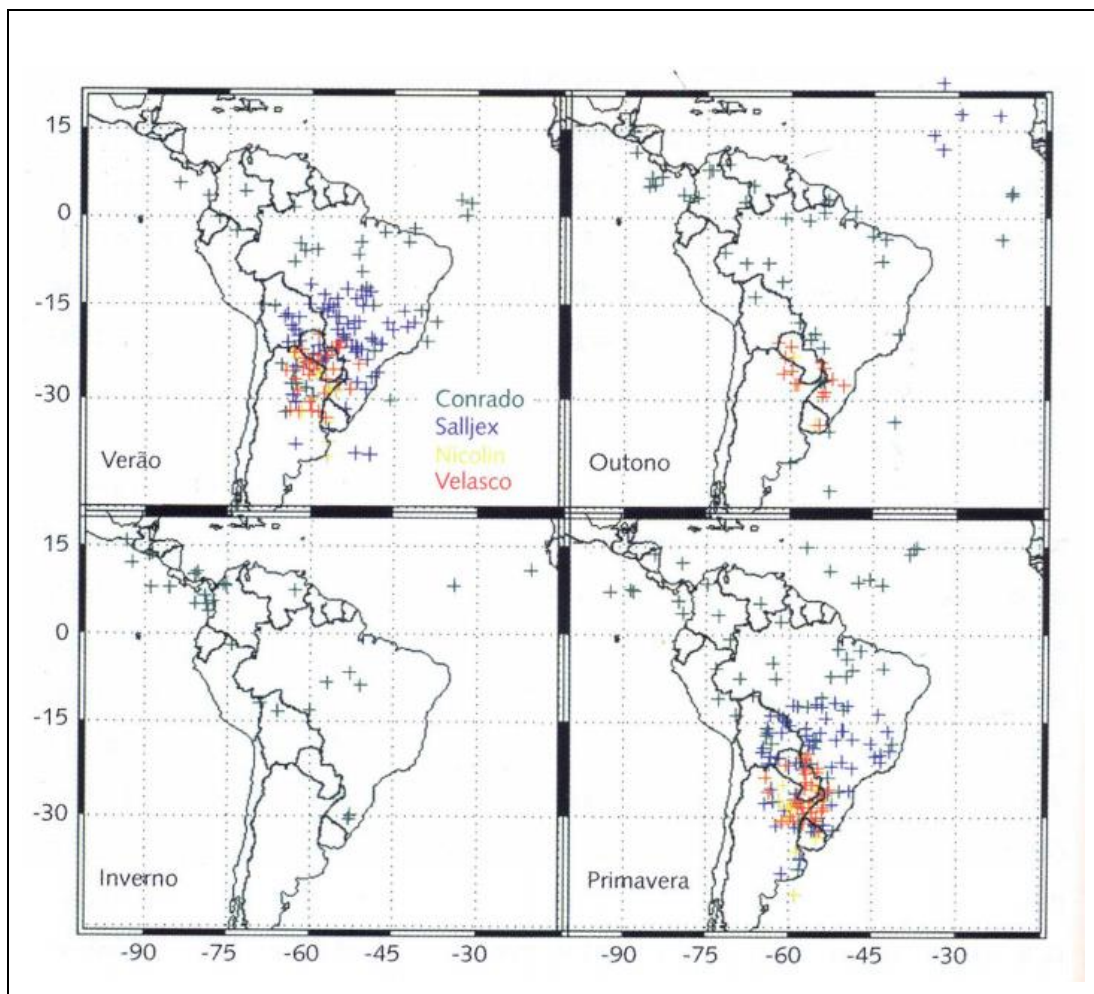


**Figura 7:** Distribuição dos casos severos (Conjunto 4) em uma grade  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ , por mês, para o período de 1998-2012. As cores indicam o número de casos por célula da grade, a concentração aumenta para as cores mais quentes.





Comparando estes casos, Figura 7, com os SCM catalogados disponíveis em Silva Dias, Rozante e Machado (2009) na região Amazônica, Figura 8, é possível notar que a distribuição sazonal é semelhante. As distribuições dos casos severos/SCM da Figura 7/Figura 8 coincidem da seguinte forma: durante o verão, os casos severos/SCM encontram-se principalmente na região sudoeste-central da região Amazônica; para o outono, nos meses de março e abril os casos severos/SCM distribuem-se mais uniformemente, com concentração um pouco maior no sul-sudoeste da região, enquanto que o mês de Maio apresenta padrão mais parecido com os meses de inverno, com número reduzido de casos severos/SCM na região de interesse; os meses de inverno mostram casos severos/SCM levemente ao norte da região central e na primavera os casos severos/SCM estão mais concentrados na região central e sudoeste da região amazônica.

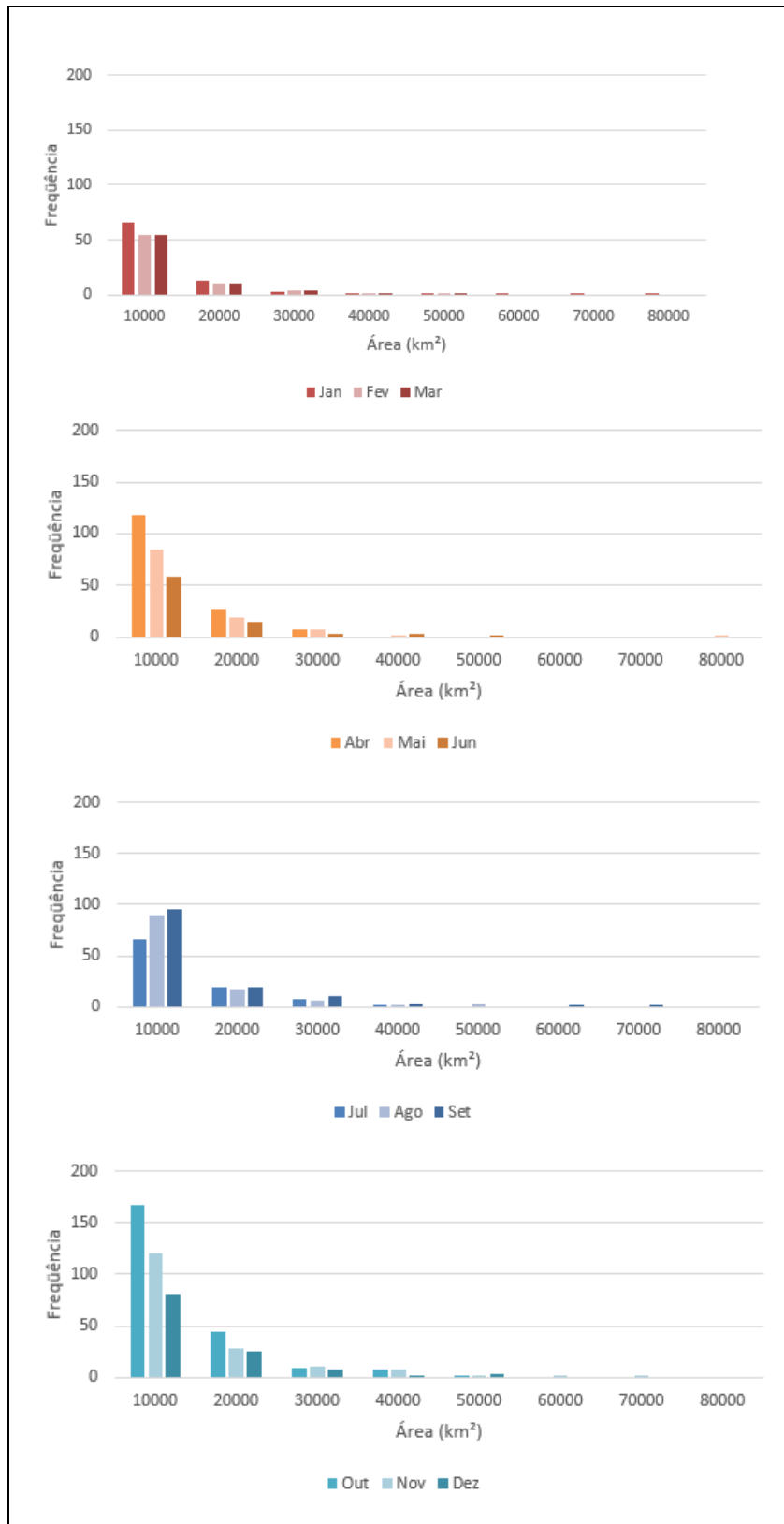


**Figura 8:** SCM detectados nos trabalhos de Velasco e Fritsh (1987), Conforte (1997), Torres e Nicolini (2002) e Salio, Nicolini e Zipser (2007). Preparado por J. C. Conforte (1997). Fonte: Silva Dias, Rozante e Machado (2009).

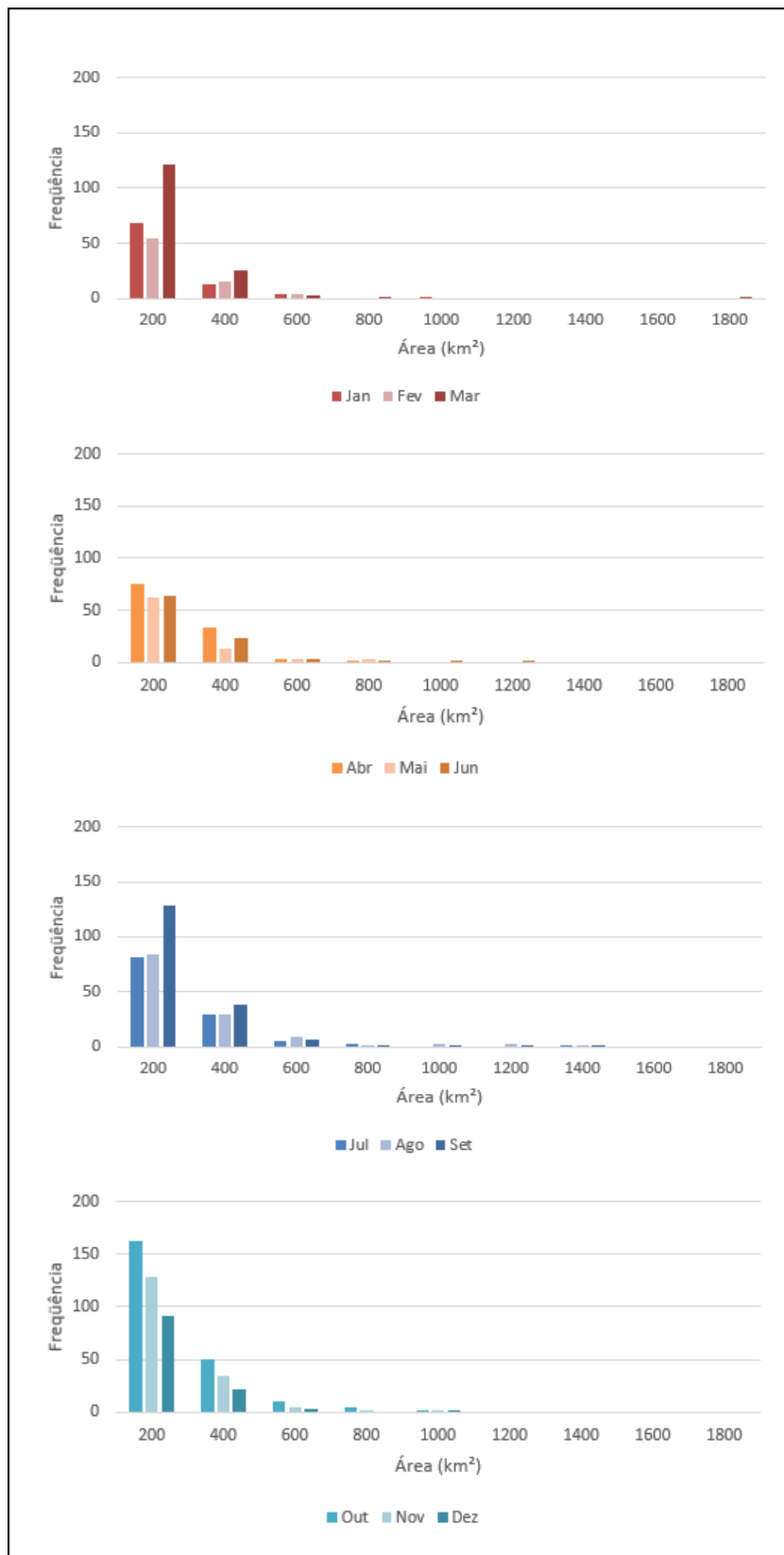
Algumas ressalvas destacam-se nesta comparação: no presente estudo as estações com maior número de casos severos são as estações de transição (primavera e inverno, 581 e 350 casos, respectivamente), e a faixa latitudinal preferencial está entre 10 e 4°N, próximo à Cordilheira dos Andes, onde a topografia é favorável, diferentemente dos SCM catalogados na Figura 8, pois quando analisa-se toda a região e não somente a área da Bacia Amazônica, as estações com maior ocorrência são primavera e verão e a faixa latitudinal preferencial é em torno de 30° S.

As Figuras 9, 10 e 11 mostram, respectivamente, estatísticas a respeito da área total dos sistemas ( $PCT_{85\text{GHz}} < 250 \text{ K}$ ), área do núcleo mais frio ( $PCT_{85\text{GHz}} < 100 \text{ K}$ ) e taxa de raios (raio/min) para cada caso severo mostrado na Figura 7. Analisando as Figuras 9, 10 e 11 nota-se que: a maioria dos sistemas severos têm área total de até 10000 km<sup>2</sup>, área do núcleo mais frio de até 200 km<sup>2</sup> e taxa de raio de 30 raios/min, para todos os meses.

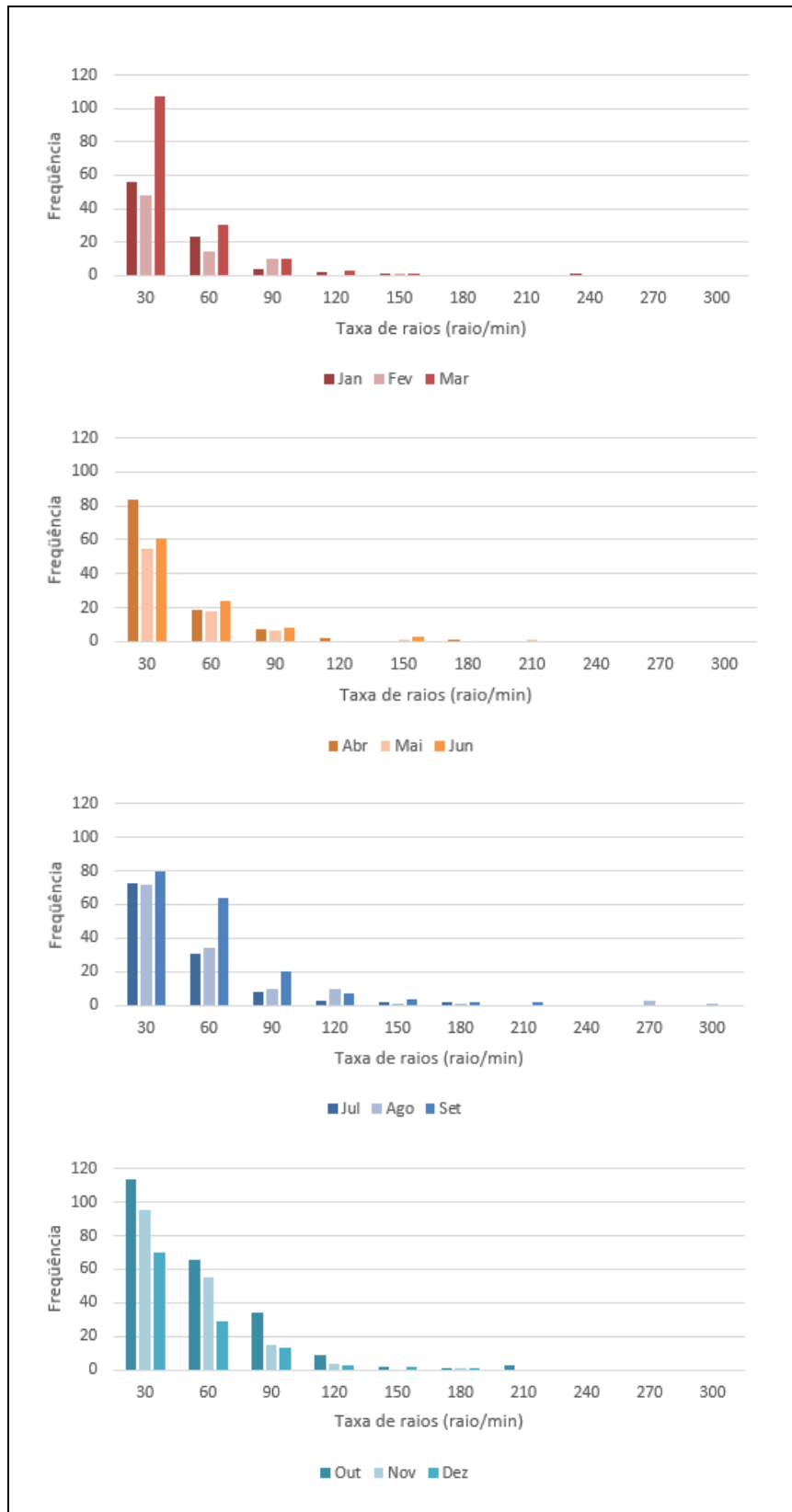
Condições de ambiente de severo tais como formação de granizo, registro de tornados e frentes de rajadas estão comumente associadas com um aumento acentuado nas taxas de raios total das tempestades elétrica (MACGORMAN et al., 1989; CAREY; RUTLEDGE, 1998; WILLIAMS et al., 1999). Nota-se, ainda, que nos meses em que o número de casos aumenta (Setembro, Outubro e Novembro) a taxa de raios (Figura 11) também aumenta, chegando até 210 raios/min em Outubro, entretanto, nem a área total (Figura 9) nem a área do núcleo mais frio (Figura 10) aumentam na mesma proporção. Além disto, o mês que registrou maior taxa de raios (um único caso) foi Agosto, totalizando 276 raios/min. Anselmo (2015) estudou a morfologia das tempestades elétricas na América do Sul e seus resultados mostram que taxas de raios (calculadas através da Equação 3) a partir de 47,2 raios/min são consideradas extremas. Assim, o presente estudo confirma a presença de um elevado número dos casos extremos na Amazônia, mesmo não sendo a região preferencial de ocorrência no globo, nem mesmo na América do Sul (LIU ET. AL., 2008).



**Figura 9:** Histogramas trimestrais (Janeiro-Fevereiro-Março, Abril-Maio-Junho, Julho-Agosto-Setembro, Outubro-Novembro-Dezembro) das distribuições de frequência do tamanho das áreas com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 250\text{ K}$  dos sistemas de tempo severo encontrados pelo critério de seleção do Conjunto 4 de características.



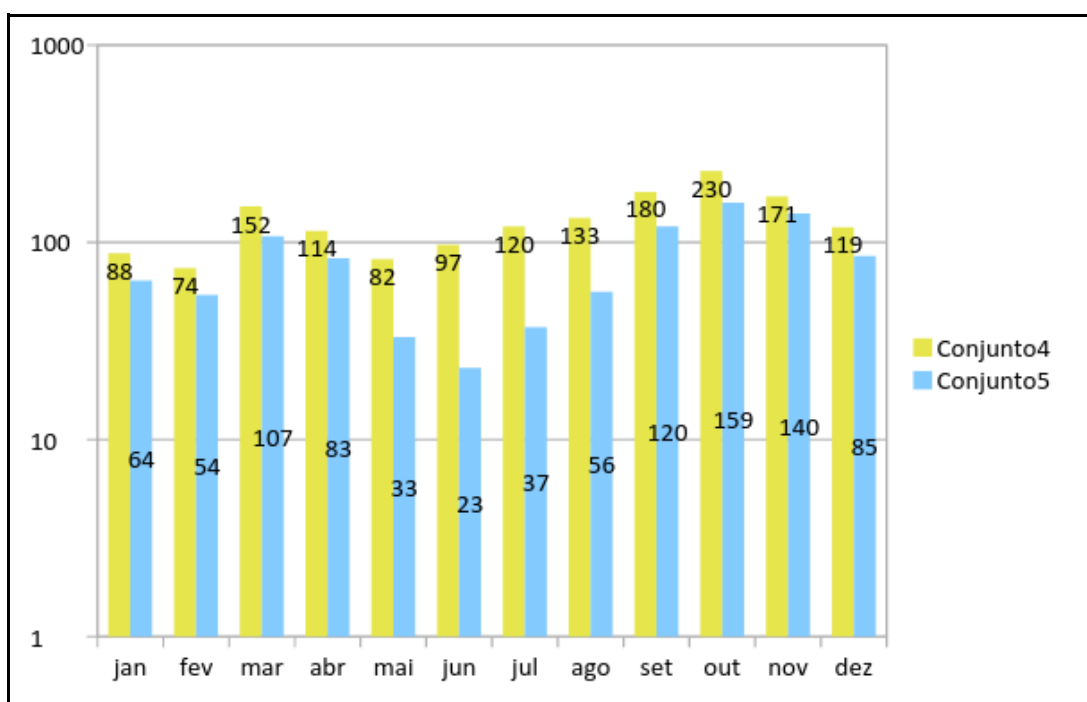
**Figura 10:** Histogramas trimestrais (Janeiro-Fevereiro-Março, Abril-Maio-Junho, Julho-Agosto-Setembro, Outubro-Novembro-Dezembro) das distribuições de frequência do tamanho das áreas com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 100\text{ K}$  dos sistemas de tempo severo encontrados pelo critério de seleção do Conjunto 4 de características.



**Figura 11:** Histogramas trimestrais (Janeiro-Fevereiro-Março, Abril-Maio-Junho, Julho-Agosto-Setembro, Outubro-Novembro-Dezembro) das distribuições de frequência da taxa de raio (raio/min) dos sistemas de tempo severo encontrados pelo critério de seleção do Conjunto 4 de características.

Como mencionado anteriormente, algumas análises mais específicas serão feitas considerando os casos severos (com as características do Conjunto 4) localizados apenas dentro das delimitações da floresta Amazônica (representado pelo polígono branco na Figura 5). Estes casos, portanto, estão dentro do nomeado Conjunto 5, e ele será utilizado para todas as análises a seguintes.

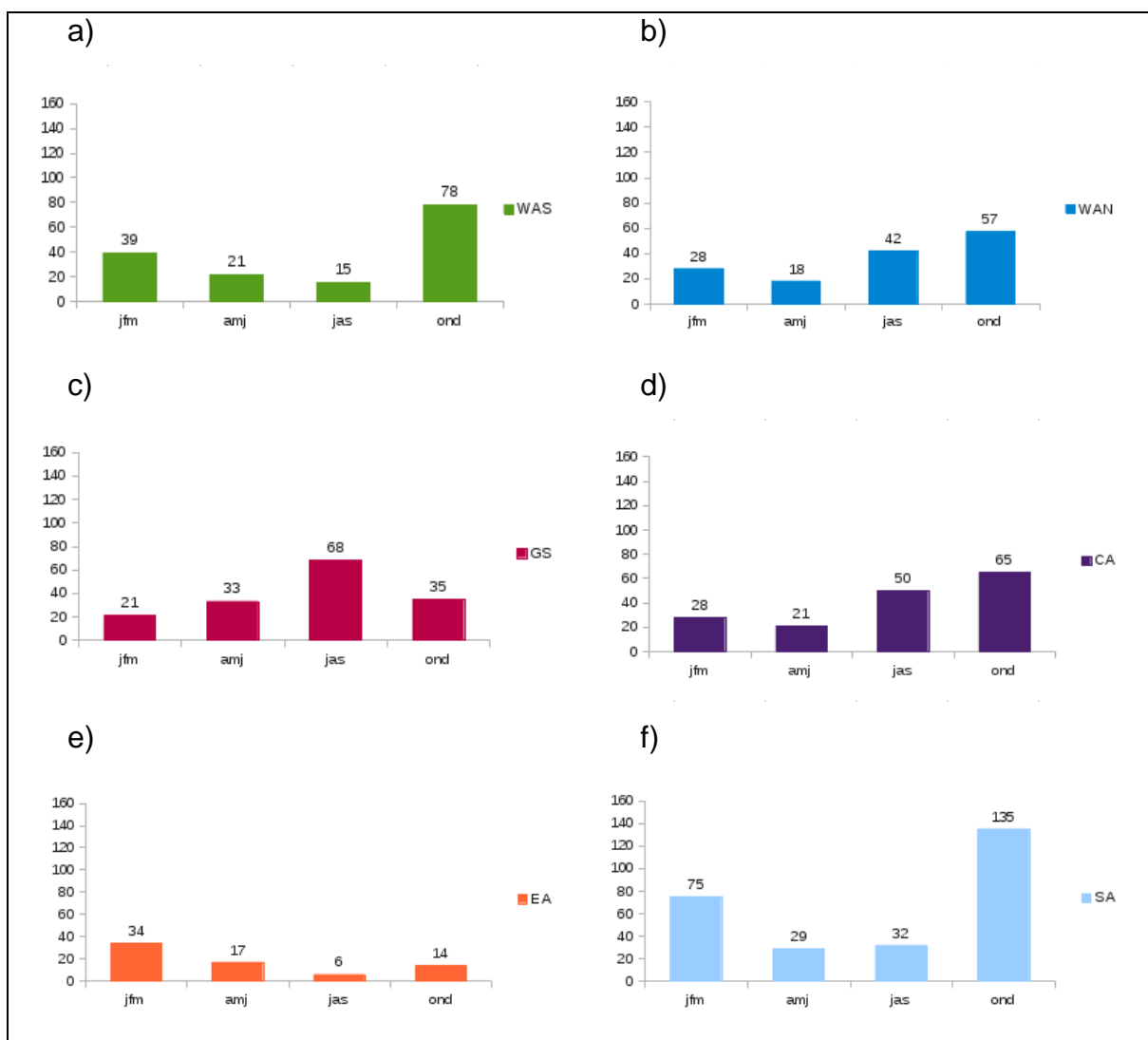
A Figura 12 mostra um gráfico de comparação entre os Conjuntos 4 e 5. É possível notar uma redução significativa no total de casos considerando toda a região entre 20° S - 10° N e 80° O - 40° O (Conjunto 4) e apenas a região delimitada como Floresta Amazônica (Conjunto 5), principalmente nos meses entre maio e agosto.



**Figura 12:** Gráfico de comparação entre o número total de casos severos contabilizados pelo Conjunto 4 (barras em verde), considerando toda a região entre 20° S - 10° N e 80° O - 40° O e o Conjunto 5 (barras em azul) onde os casos possuem as mesmas características do Conjunto 4, porém estão confinados na delimitação da Floresta Amazônica.

A Figura 13 mostra a distribuição de casos por região em trimestres: JFM, AMJ, JAS OND, para cada uma das seis sub-regiões. A região EA contabiliza o menor número de casos, 71 ao longo dos anos de 1998-2012. É também a única região em que os casos são mais frequentes no trimestre JFM (34). O menor número de casos ocorre no trimestre JAS (6). Já a região SA contabiliza o maior

número de casos, com um total de 271 para o período do estudo. O trimestre com maior ocorrência é OND (135), o menor AMJ (29). As sub-regiões CA e WAN seguem o mesmo padrão de SA: maior ocorrência em OND (65 e 57, respectivamente) e menor em AMJ (21 e 18, respectivamente). O total de casos no período para CA é 164 e para WAN 145.



**Figura 13:** Distribuição do número de casos por trimestre por sub-regiões, no período de 1998-2012, onde: a) sub-região WAS, b) sub-região WAN, c) sub-região GS, d) sub-região CA, e) sub-região EA, f) sub-região SA.



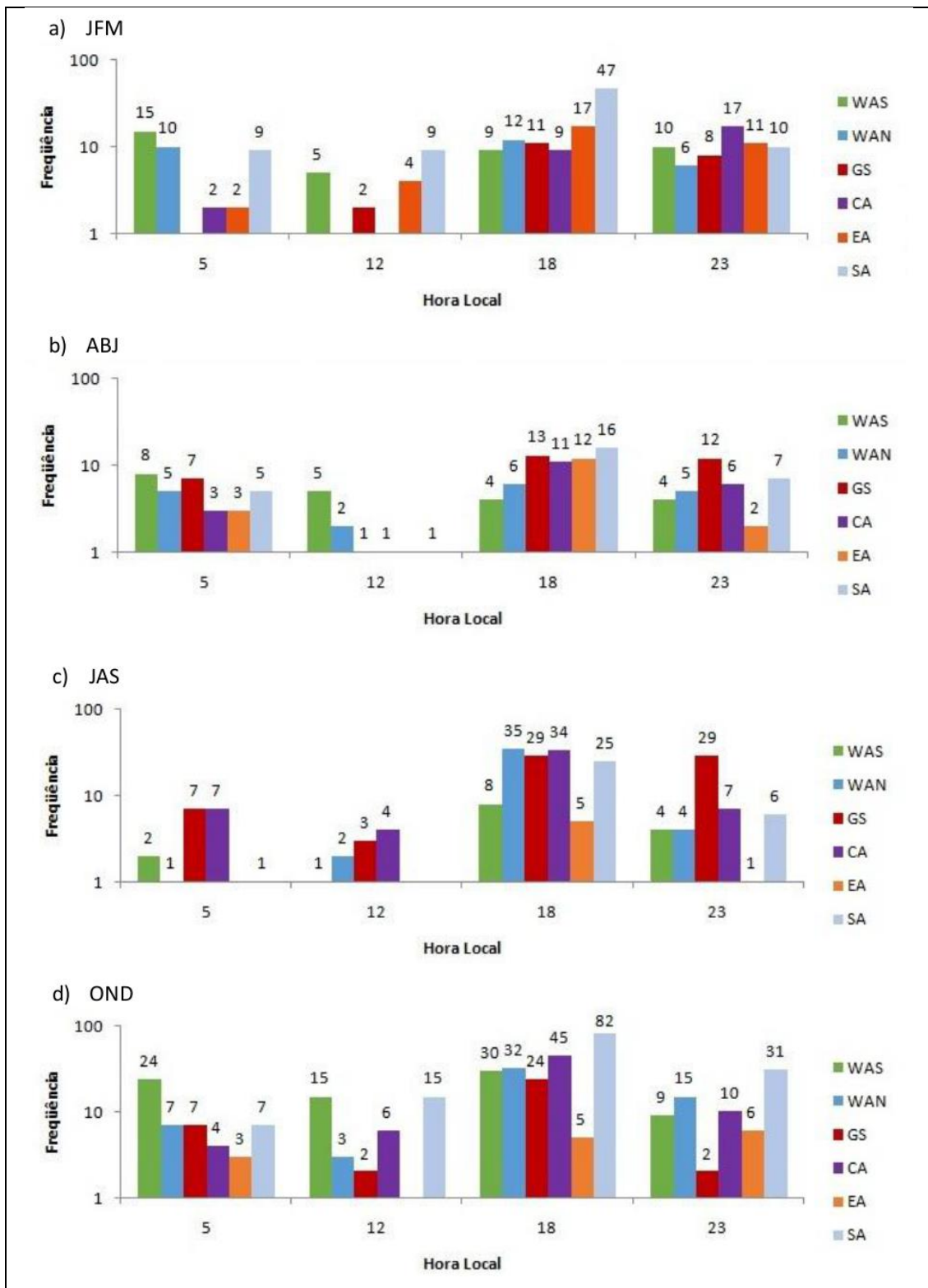
Ainda com respeito à Figura 13, o trimestre com maior número de casos na sub-região WAS também corresponde a OND (78), porém o menor é em JAS (15), totalizando 153 casos ao longo do ano no período de 1998-2012. A sub-região GS apresenta padrão de distribuição dos 157 casos do período diferente das outras 5, o máximo de ocorrência acontece no trimestre JAS (68) e o menor em JFM (21).

A fim de identificar a hora (local) de ocorrência destes casos, foram construídos histogramas horários, acumulando os casos em trimestres: JFM (Fig.14a), AMJ (Fig.14b), JAS (Fig.14c) e OND (Fig.14d), para cada uma das seis regiões. As barras em verde, azul, vermelho, roxo, laranja e azul claro representam, respectivamente, as sub-regiões WAS, WAN, GS, CA, EA e SA.

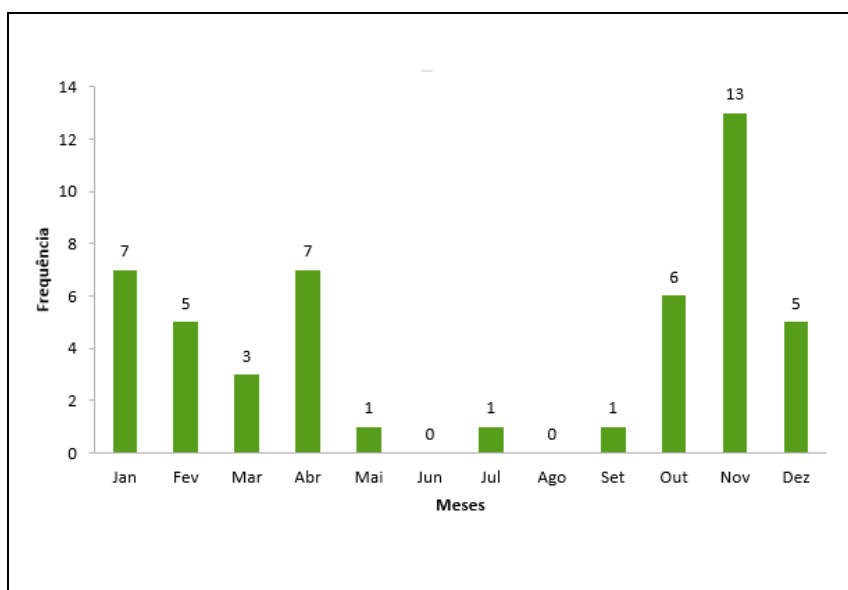
Analisando a hora local que os casos potencialmente severos ocorreram, na Figura 14, é possível notar que o horário preferencial de ocorrência em cada trimestre, de cada sub-região, é o intervalo das 13 às 18 horas local, onde se concentram a maior parte dos casos principalmente no trimestre OND. É possível observar, ainda, que alguns comportamentos se destacam como o caso das sub-regiões WAS e SA, na Figura 14.

A sub-região WAS (barras em verde) chama atenção quanto à ocorrência de casos de tempo potencialmente severo no período noturno (aqui considerado o intervalo das 0 às 5 horas local). A Figura 15 mostra a distribuição mensal dos casos noturnos na sub-região WAS, durante o período de 1998-2012. Ficam claros dois picos, o principal em novembro (13 casos), e um secundário em abril (7 casos).

Rickenbach (2004) examinou casos de convecção noturna nesta mesma região, sudoeste da Amazônia, e a conclusão geral são de que a convecção profunda gerada à tarde contribui para um máximo de nebulosidade e precipitação pós meia noite, e que a maior parte destes sistemas são causados pelas grandes LI que se propagam da costa nordeste do Brasil para oeste.



**Figura 14:** Distribuição horária (hora local) de frequência dos casos de tempo severo (Conjunto 5), por sub-região, acumulado para os trimestres a) JFM; b) AMJ; c) JAS e d) OND, para os anos de 1998-2012.

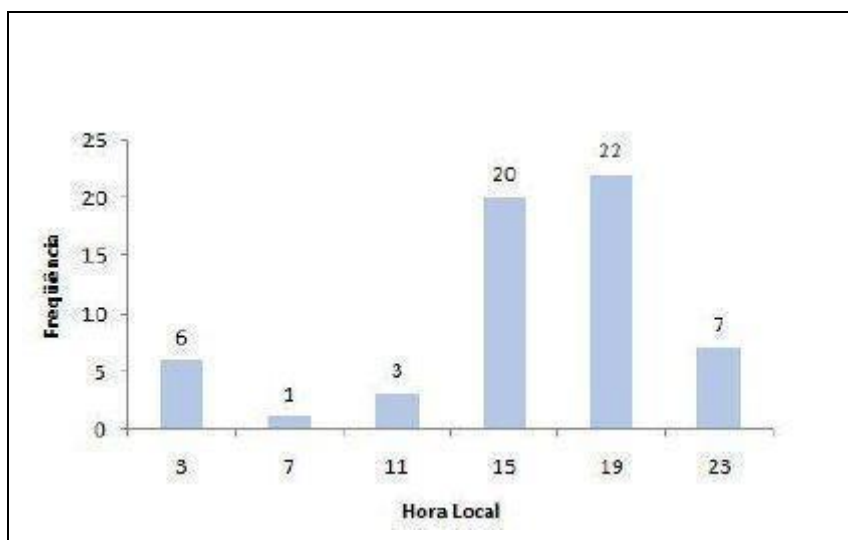


**Figura 15:** Histograma com distribuição mensal de casos de tempo severo com ocorrência noturna (entre 0 e 5 horas local) na região WAS, para o período de 1998-2012.

Entretanto, levando em consideração os trabalhos a respeito da frequência de LI acredita-se que os casos noturnos aqui encontrados para o mês de novembro, em especial, não correspondem à passagem de LI por se tratar de um mês com pouca ocorrência destes sistemas. Cohen, Silva Dias e Nobre (1989) e Cohen (1989), que analisaram a passagem de LI durante o período de 1979-1986 e constataram que as LI podem ser observadas durante todo o ano, mas com maior frequência entre os meses de abril e agosto. Já Santos Neto (2004) analisou o período de 1979-2002 e concluiu que a maior ocorrência de LI é entre maio e agosto e a menor em janeiro (maior frequência das LI ocorre no período em que a ZCIT está bem organizada perto da costa da América do Sul) e ainda que as LIC são mais frequentes em outubro, novembro e dezembro (8,4 casos em média), já as LIP são mais frequentes entre os meses de maio e agosto e menos frequentes em dezembro. De acordo com estes autores, novembro somente é preferencial para as LIC, porém elas caracterizam-se por propagar-se até 170 km adentro do continente, o que não corresponde à área com a ocorrência de casos noturnos do presente estudo. A averiguação das possíveis causas para estes casos noturnos deverá ser investigada em um trabalho futuro.

A região SA (Figura 14, barra azul-claro) chama atenção no trimestre OND, principalmente no mês de outubro, como sendo o mês e a região com maior número de casos (59). Um histograma horário para este mês é apresentado na Figura 16.

Neste mês, 83% dos casos da região ocorrem das 12 às 23 horas local.



**Figura 16:** Histograma para o mês de outubro da região SA, para o período de 1998-2012, mostrando a frequência e a distribuição horária (hora local) dos casos potencialmente severos, concentrados nos horários após às 12 horas local.

Betts e Silva Dias (2009) relacionaram as trovoadas fortes com o período de transição/estação chuvosa quando a energia potencial disponível para convecção (*Convective Available Potential Energy*, CAPE) é maior em quase todos os locais da Amazônia), então com uma CAPE grande a probabilidade de ocorrer uma tempestade aumentaria. Porém, é de grande importância também avaliar os valores da energia de inibição convectiva (*Convective Inhibition Energy*, CINE), pois é um parâmetro fundamental para o desenvolvimento das nuvens e, por conseguinte para a ocorrência da precipitação. Quando ela possui um valor grande, impede a subida da parcela de ar inibindo a convecção e a precipitação. (Gille e Mota, 2014).

Fu e Li (2004) discutem o papel do fluxo de calor latente como gatilho para a mudança da estação de transição/chuvosa na Amazônia, em setembro/outubro. Segundo os autores, o aumento do fluxo de calor latente tende a reduzir rapidamente a CINE e a aumentar a CAPE, consequentemente proporcionando condições favoráveis para o aumento das chuvas.

No caso do mês de outubro aqui referido, acredita-se que a barreira CINE com valores muito elevados (referente ao período seco/transição) esteja desintensificada, porém alta suficiente para a formação de tempestade (já que os resultados do presente estudo tratam de tempo severo, com convecção disparada logo após às 12 horas local).

## 4.2. Aspectos de grande escala analisados

### a) Metodologia de análise do ambiente de tempestades

Com a metodologia empregada para a análise dos dados do TRMM foi possível a identificação de sub-regiões e períodos do ano de maior interesse, como é mostrado nos resultados do item 4.1.

Após determinadas as regiões e épocas de interesse foram obtidos os dados do CFSR dos dias de ocorrência dos casos severos e, através do *software Grid Analysis and Display System (GrADS)*, parâmetros importantes na identificação de tempestades como cisalhamento do vento entre 500-850 hPa, divergência do vento e umidade relativa em 950 hPa e divergência do vento em 200 hPa foram calculados, tanto para cada caso individualmente quanto valores médios.

Além disto, gráficos em três dimensões foram elaborados arranjando estes parâmetros a fim de auxiliar na identificação de padrões.

### b) Resultados

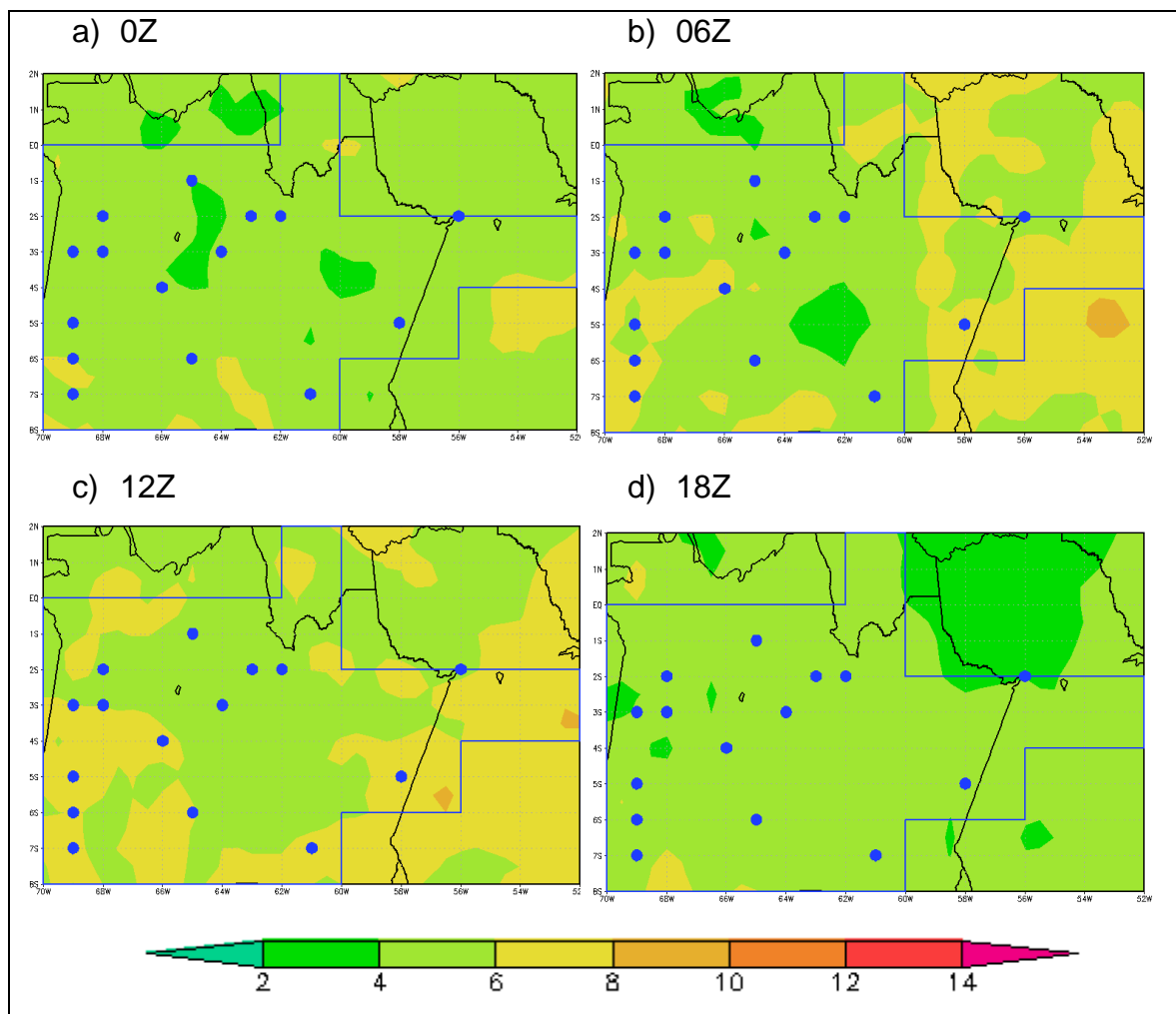
Com as análises anteriormente apresentadas, fica possível focar o estudo em algumas particularidades. O mês de outubro destaca-se para a sub-região SA como o mês e a região com maior número de casos, com a maioria iniciada a partir das 12 horas local. Para uma análise mais completa e a fins de comparação, serão analisados casos a partir das 12 horas local no mês de outubro tanto para a região SA quanto para a região CA, buscando identificar padrões, semelhanças e diferenças entre as duas regiões.

Como para região tropical não há um conjunto de parâmetros fundamentais estabelecidos, aqui serão averiguados o cisalhamento do vento entre os níveis de 500-850 hPa, divergência do vento em 200 hPa, divergência do vento e umidade relativa em 950 hPa. Como no presente caso está sendo usada a reanálise para caracterizar o ambiente e essa análise de instabilidade seria bastante delicada optou-se por focar campo baseados no vento. Estudos futuros utilizando radiossondagens poderão analisar essa questão.

A sub-região CA apresenta 19 casos para o mês de outubro, contabilizando os anos de 1998-2010 (disponível até 2010 no laboratório MASTER-IAG/USP), dos quais 15 têm início após 12 horas local. Já na região SA, dos 59 casos 38 ocorrem a partir das 12 horas local. Então, para estes casos é calculada a média de cada um destes parâmetros, para os quatro horários (00Z, 06Z, 12Z, 18Z). Os polígonos em azul correspondem às delimitações das sub-regiões, e os pontos em azul determinam a localização dos casos de tempo severo, nas Figuras de 17 a 22. Os limites da região CA estão entre 8S - 2N e 70W - 52W, enquanto da região SA entre 18S - 4S e 68W - 46W.

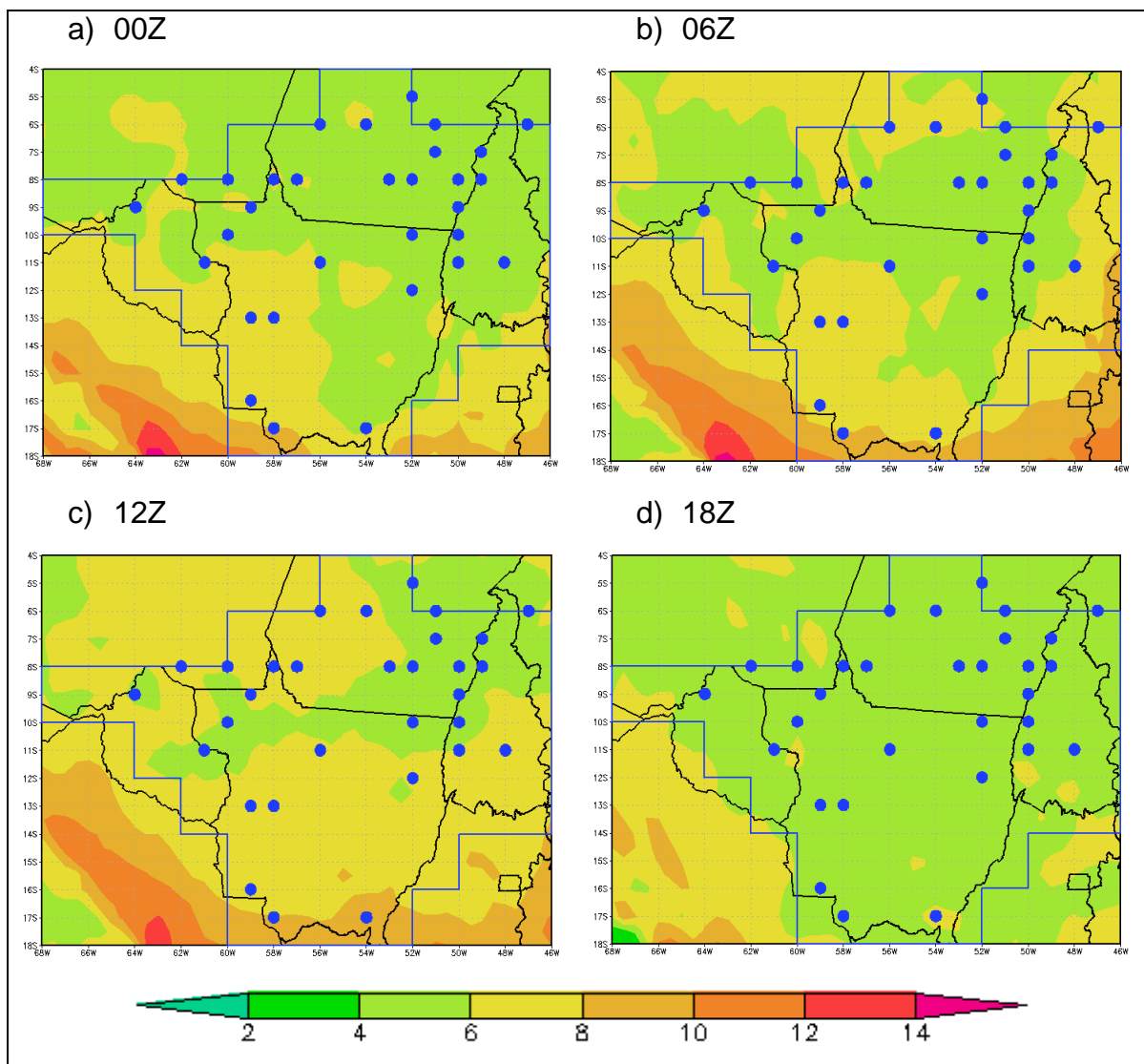
As Figuras 17 e 18 mostram o módulo da magnitude média do cisalhamento do vento entre 500-850 hPa para as sub-regiões CA e SA, respectivamente. Os valores de cisalhamento observados são ligeiramente mais altos para a região SA (Fig.18) quando comparada à CA (Fig.1). E de forma geral, o valor do cisalhamento é mais intenso para o horário das 12Z. É preciso ter em mente que os valores aqui mostrados são valores médios (valores pontuais são mostrados posteriormente), considerando as condições sinóticas de cada um dos dias em que houve registro de caso potencialmente severo, e, portanto, valores mais significativos provavelmente ficarão suavizados.

Analisando os valores médios do módulo do cisalhamento vertical do vento, entre os níveis de 500-850 hPa, para os dias em que ocorreram casos de tempo severo na região CA (Fig.17), observam-se valores entre 2 e 8 m/s ao longo dos quatro horários. No horário das 00Z (Fig.17a) praticamente toda a região apresenta valores de cisalhamento entre 4 a 6 m/s. Ao longo do tempo o cisalhamento se intensifica, quando às 12Z (Fig.17c) boa parte da região tem valores de até 8 m/s, o que torna o ambiente favorável a tornar uma tempestade severa, e diminui novamente às 18Z (Fig.17d).



**Figura 17:** Módulo da magnitude média do cisalhamento do vento (m/s) para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 para a região CA, entre os níveis de 500-850 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região CA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.

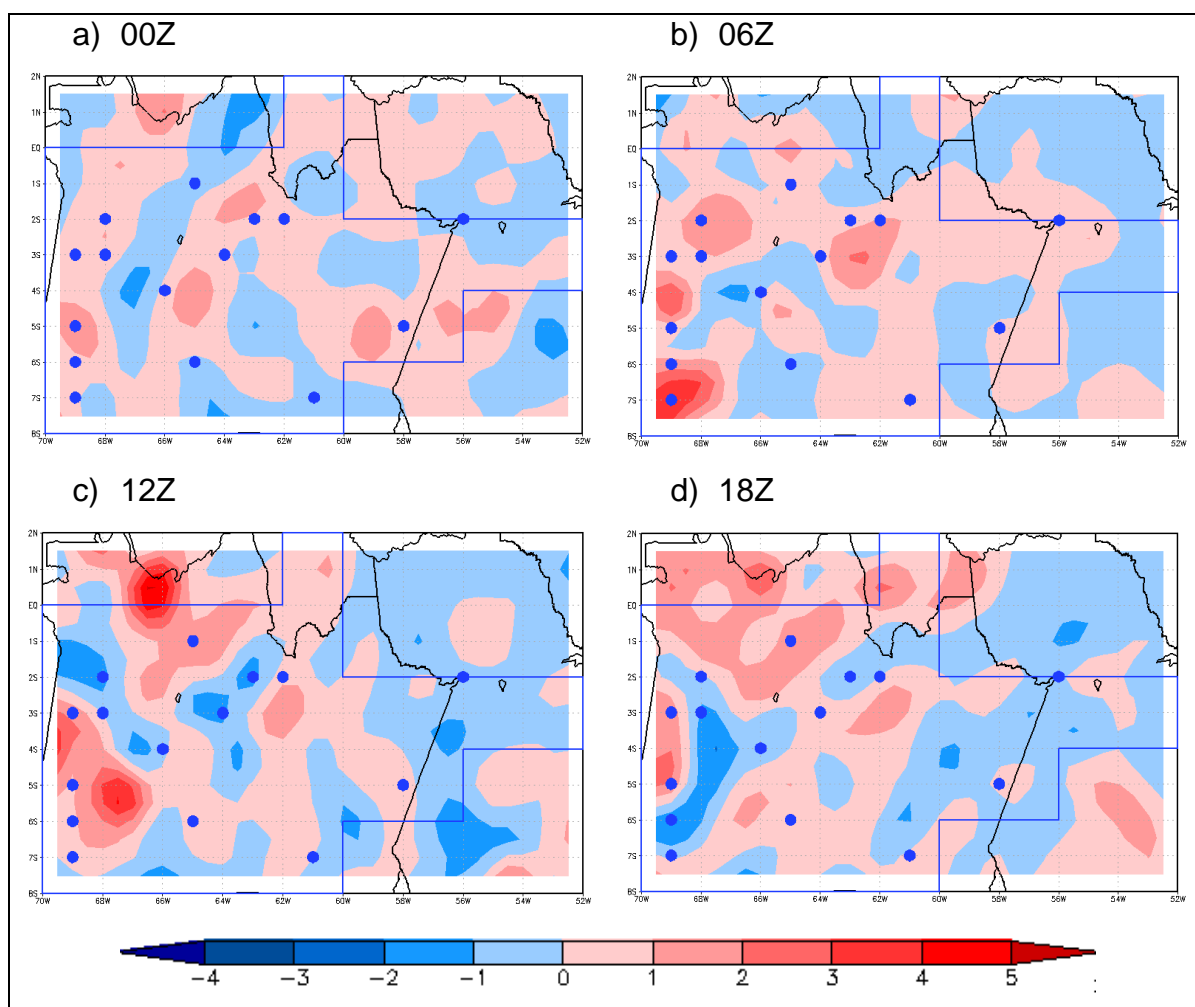
Valores mais intensos, de até 14 m/s, aparecem na região SA (Fig.18), porém estão fora dos limites do polígono que a demarca. Entretanto, pode-se notar que o cisalhamento aparece mais intenso em praticamente metade da região (6 a 8 m/s) durante às 00Z, 06Z e principalmente às 12Z (Fig.18a, b, d, respectivamente), perdendo intensidade às 18Z (4 a 6 m/s). De forma geral, esta região apresenta o mesmo máximo de cisalhamento vertical do vento (8 m/s) que a região CA, porém, para pelo menos três horários, tem maior área com predominância deste máximo, tornando o ambiente mais favorável ao desenvolvimento de tempestade severa, o que provavelmente ajuda a explicar o elevado número ali encontrado.



**Figura 18:** Módulo da magnitude média do cisalhamento do vento (m/s) para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 para a região SA, entre os níveis de 500-850 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região SA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.



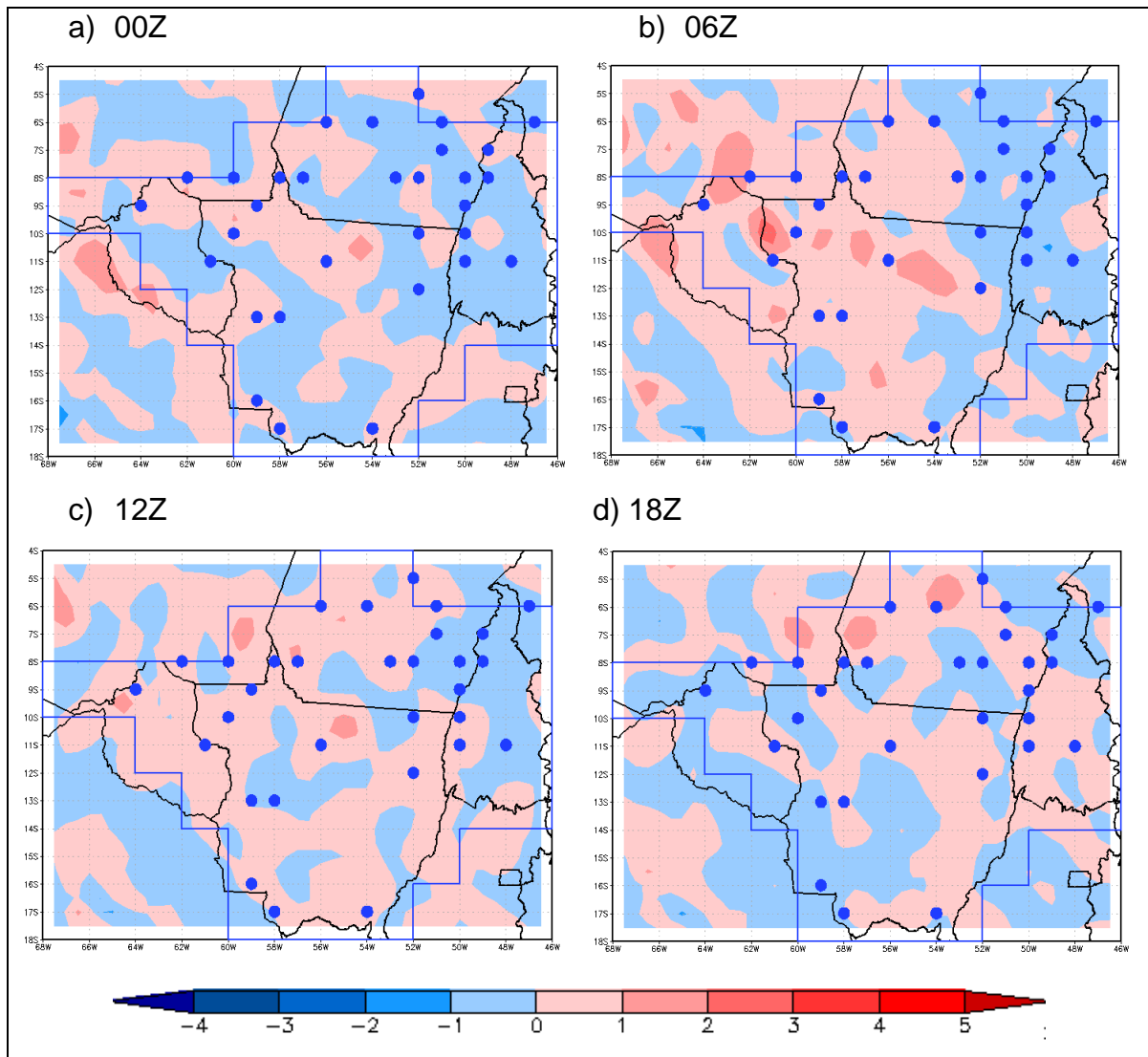
As Figuras 19 e 20 apresentam valores médios de divergência do vento em 200 hPa, calculados considerando os dias que ocorreram eventos de tempo severo as regiões CA e SA, respectivamente.



**Figura 19:** Divergência média do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 para a região CA, no nível de 200 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região CA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.

Na região CA (Fig.19) a divergência média do vento em 200 hPa, núcleos com maior intensidade (entre 4 e 5  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) de divergência positiva aparecem nos horários das 06Z (Fig.19b) e 12Z (Fig.19) em uma faixa norte-sul entre 60W - 70 W (região onde ocorre a maior parte dos casos). Nesta faixa os valores de divergência positiva começam baixos às 00Z (Fig.19a), intensificam-se às 6Z (Fig.19b), quando às 12Z (Fig.19c) sua metade sul permanece com divergência positiva enquanto a metade norte é negativa (convergência). Às 12z os valores são suavizados e a parte a metade oeste mostra convergência. De forma geral a região CA, em sua maioria,

apresenta valores amenos de divergência média, tanto positiva quanto negativa, com alguns núcleos com valores mais significativos de divergência positiva do vento.



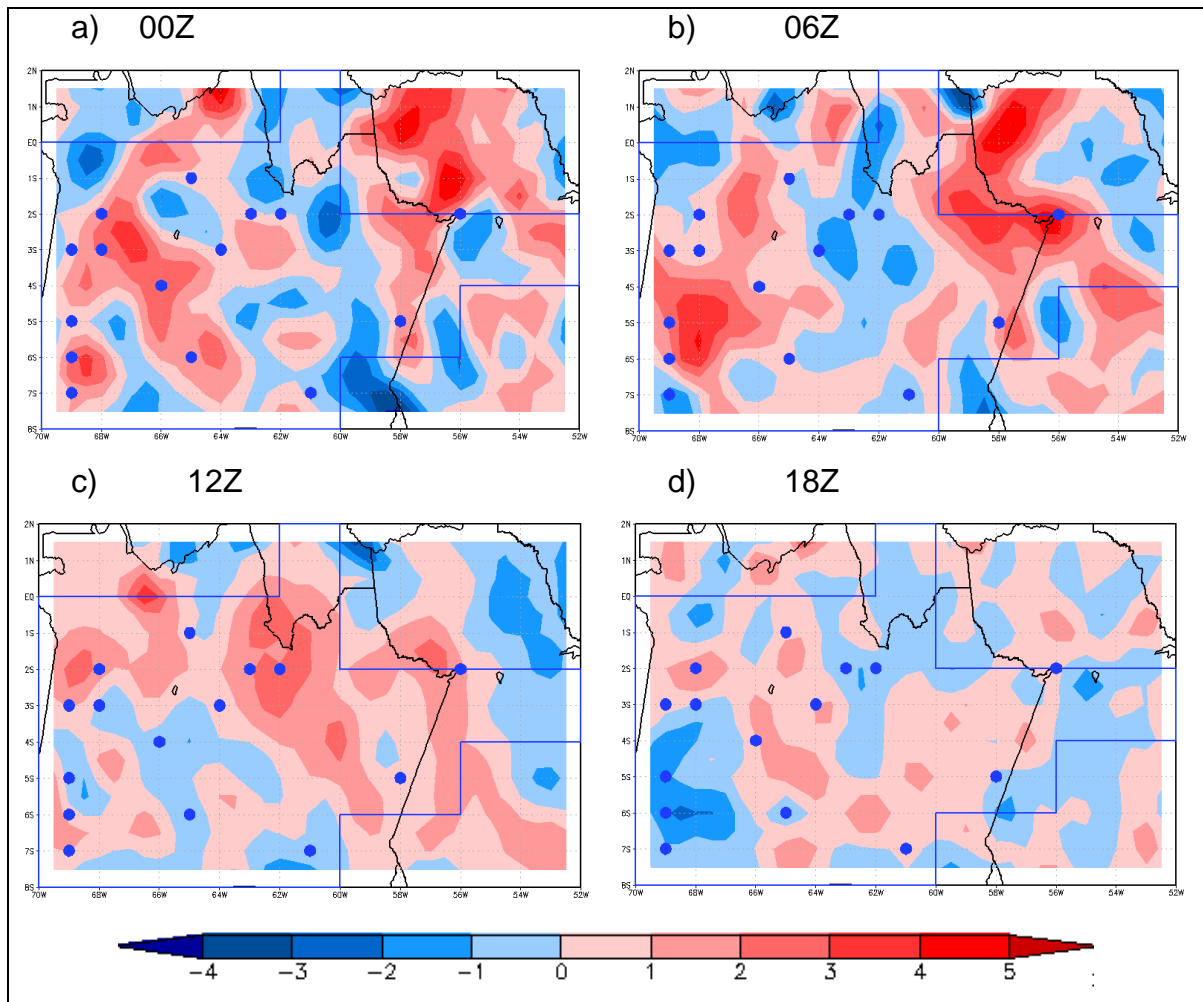
**Figura 20:** Divergência média do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 para a região SA, no nível de 200 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região SA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.

A região SA (Fig.20) apresenta divergência negativa na maior parte do seu território nos horários das 06, 12Z e 18Z (Fig.20b, Fig.20c e Fig.20d, respectivamente), e o contrário (divergência positiva) às 00Z (Fig.20a). Os núcleos com valores mais intensos (entre 3 e 4  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) aparecem às 06Z (Fig.20b) na porção oeste e central, porém não corresponde à região com maior número de casos (norte/nordeste). Nesta porção, aliás, valores de divergência negativa são predominantes. Apesar de que os valores apresentados nestas análises serem médios, portanto diluídos, são bastante amenos, e talvez não tenham papel

fundamental no favorecimento do ambiente severo.

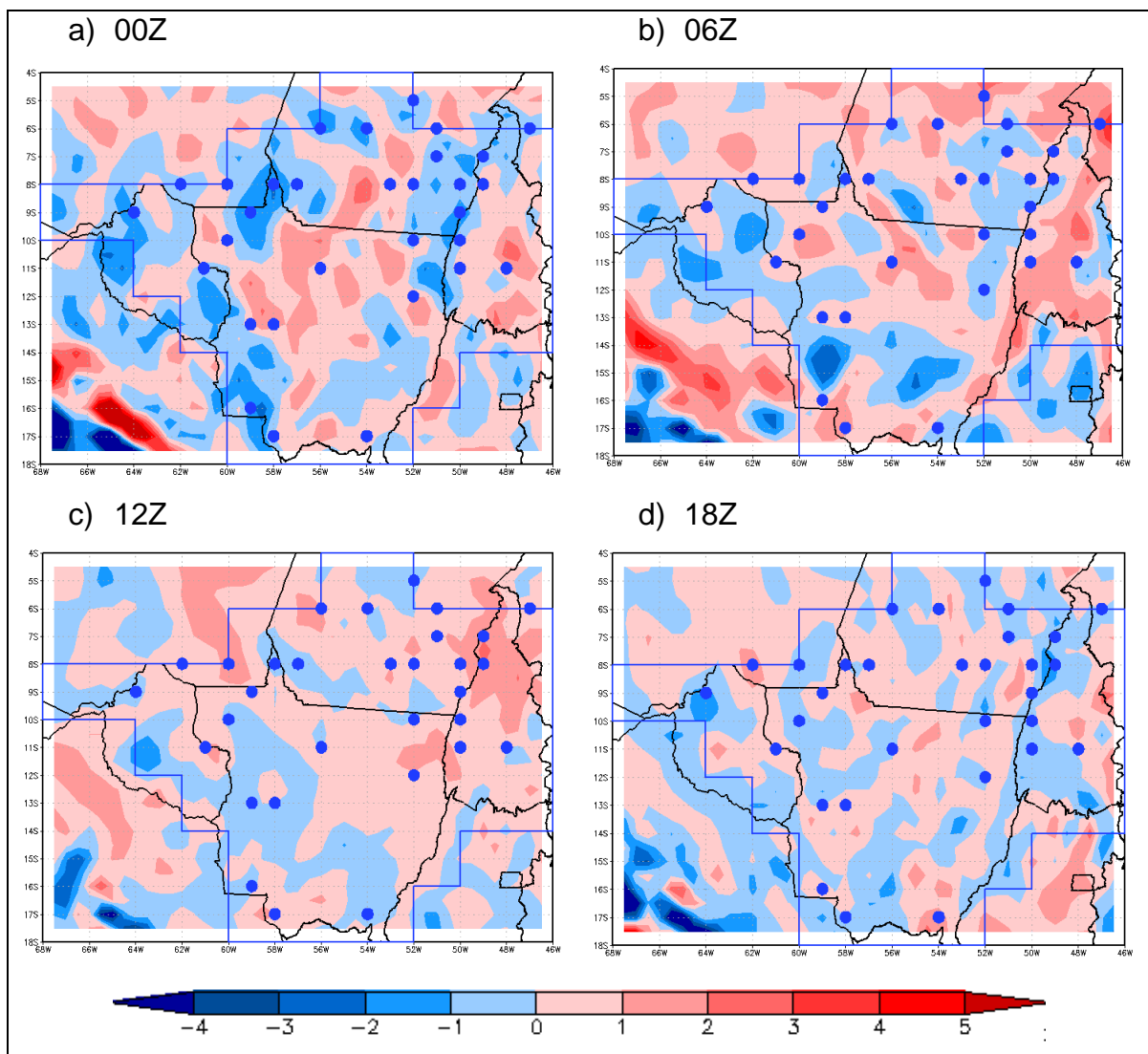
Se em altos níveis a divergência positiva favorece convecção, em baixos os níveis é o contrário, portanto analisaremos divergência negativa (convergência). As Figuras 21 e 22 mostram valores de divergência média do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) considerando as condições sinóticas dos dias em que houve ocorrência de casos severos para as regiões CA e SA, respectivamente.

Para a região CA (Fig.21) os valores médios mais intensos de convergência em 950 hPa chegam a  $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , que podem ser vistos nos horários das 00Z (Fig.21a) e 06Z (Fig.21b). Nos horários posteriores (Fig.21c e Fig.21d) a divergência ganha espaço e, apesar dos valores baixos, domina a região.



**Figura 21:** Divergência média do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para casos a partir de 12 hora local de outubro 1998-2010 para a região CA, no nível de 950 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região CA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.

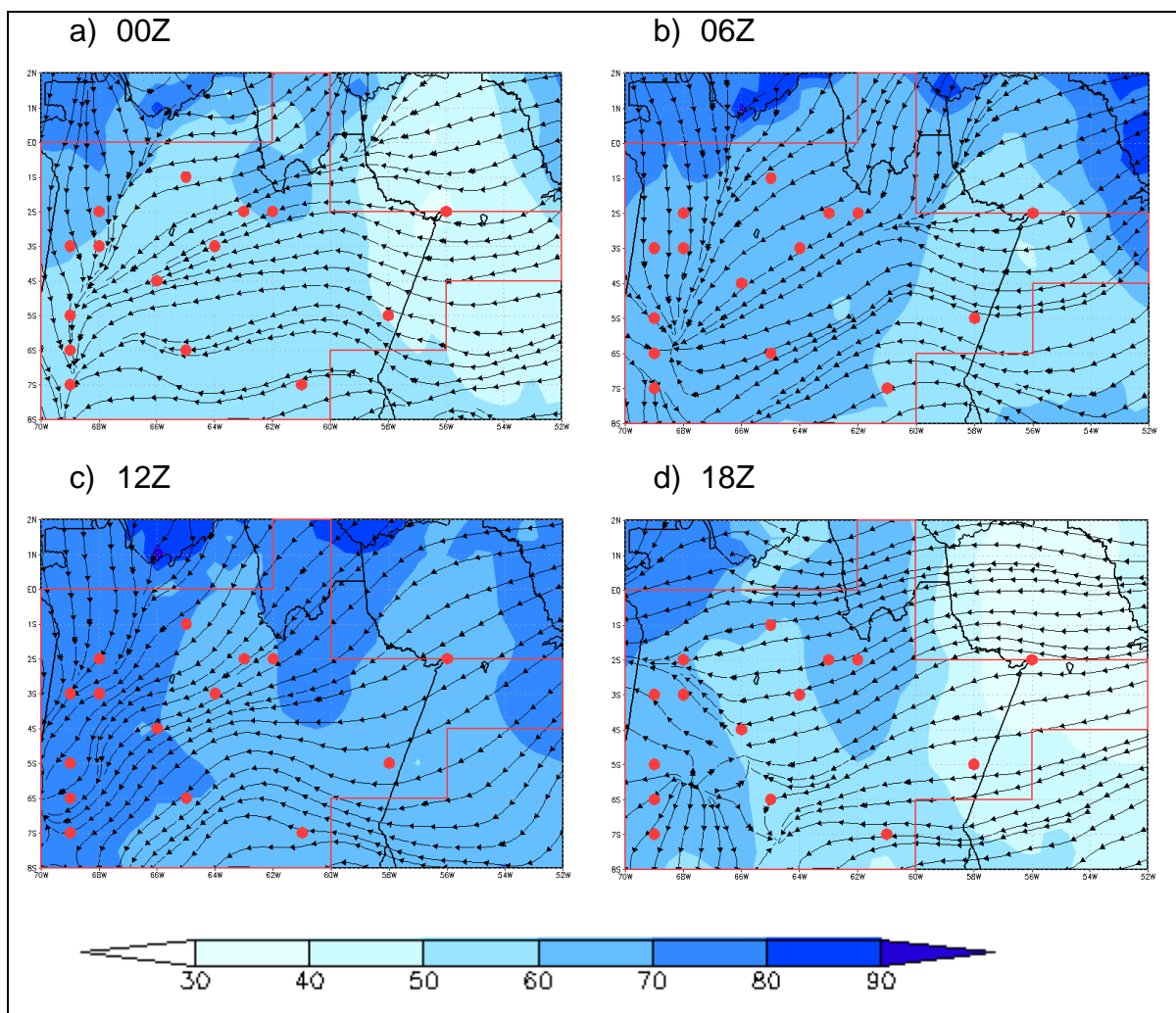
Já a região SA (Fig.22) tem grande parte do seu território com convergência de vento em baixos níveis, principalmente às 00Z (Fig.22a), onde valores de até  $3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  são encontrados, à nordeste, onde ocorre a maioria dos casos de tempo severo. Às 06Z (Fig.22b) a área com convergência diminui, porém, os valores máximos permanecem os mesmos. Durante os demais horários (Fig.22c e Fig.22d) os valores tanto para convergência quanto para divergência tornam-se mais amenos, entre  $1$  e  $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , sendo que as 12Z (Fig.22c) a região é dominada por divergência negativa.



**Figura 22:** Divergência média do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 para a região SA, no nível de 950 hPa. O polígono em azul delimita a sub-região SA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.

Com relação à umidade relativa, de imediato nota-se que a região CA (Fig.23) apresenta valores médios mais altos que a região SA (Fig.24). Em CA a umidade

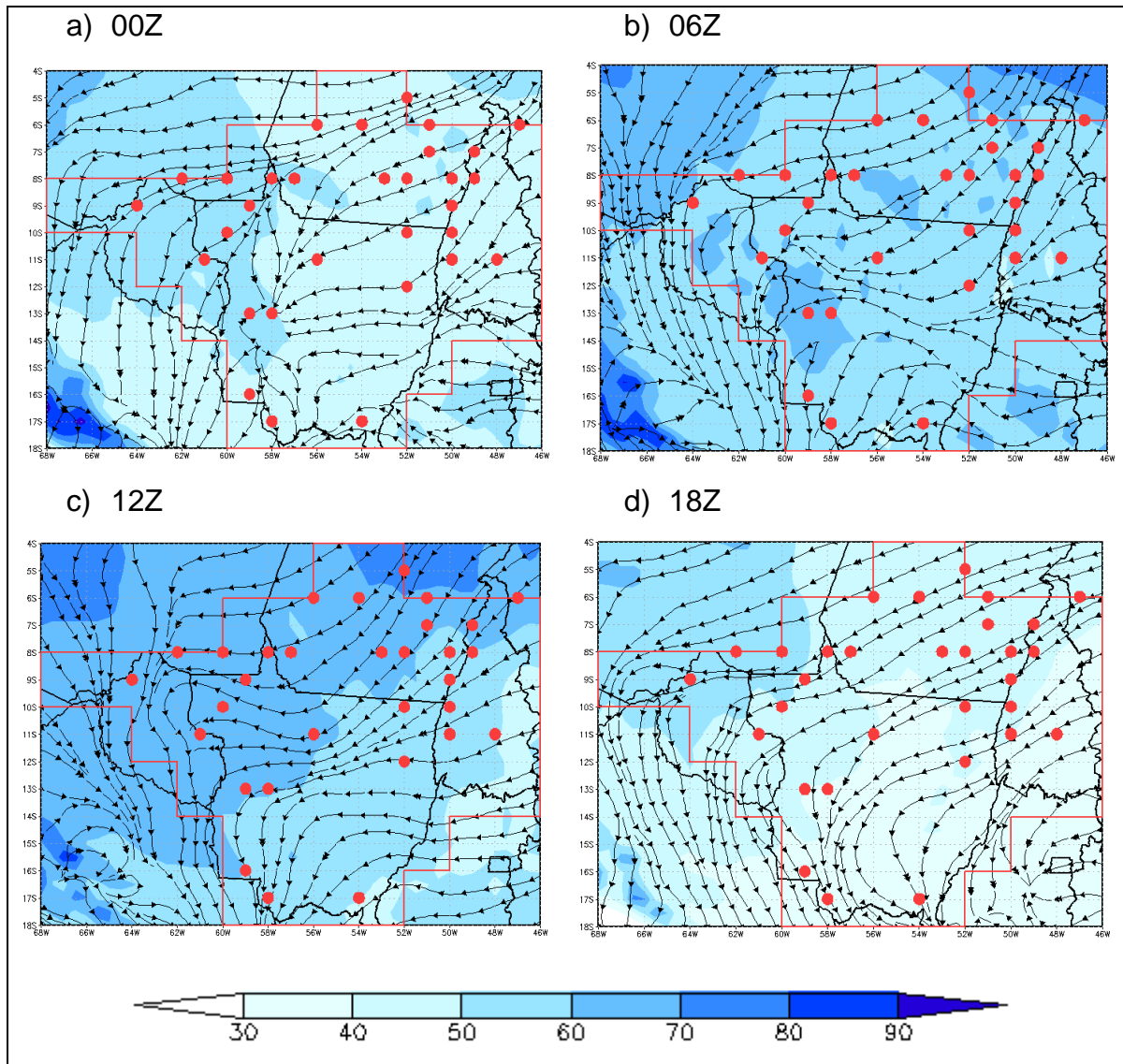
aumenta de leste para oeste (região com maior número de casos). No horário das 00Z (Fig.23a) a região menos úmida, à leste, os valores estão entre 40 e 50%, e na região central e oeste de 60 a 80%. No horário das 06Z (Fig.23b) valores entre 60 e 70% dominam a região e intensificam-se às 12Z (Fig.23c), quando valores entre 70 e 80% aparecem na parte oeste. Às 18Z (Fig.23d) são observados os valores mais baixos de umidade relativa à leste, em torno de 30 a 40%. Para este horário a umidade relativa média diminui em toda a região, porém, continua mais elevada à oeste.



**Figura 23:** Umidade relativa média (%) e campo médio das linhas de corrente para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 na a região CA, no nível de 950 hPa. O polígono em vermelho delimita a sub-região CA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.

A região SA (Fig.24) inclui o Estado do Mato Grosso, que em sua parte sul apresenta valores anuais de umidade relativa média entre 70 e 75%, de acordo com as normais climatológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de 1961-

1990, podendo chegar a valores médios anuais entre 55 a 77% para às 18Z. Climatologicamente, esta é uma região mais seca que a região CA (Fig.24), portanto os valores médios esperados e observados são mais baixos quando comparados à essa.



**Figura 24:** Umidade relativa média (%) e campo médio das linhas de corrente para casos a partir de 12 horas local de outubro 1998-2010 na a região SA, no nível de 950 hPa. O polígono em vermelho delimita a sub-região SA e os pontos representam a localização de cada um dos casos.

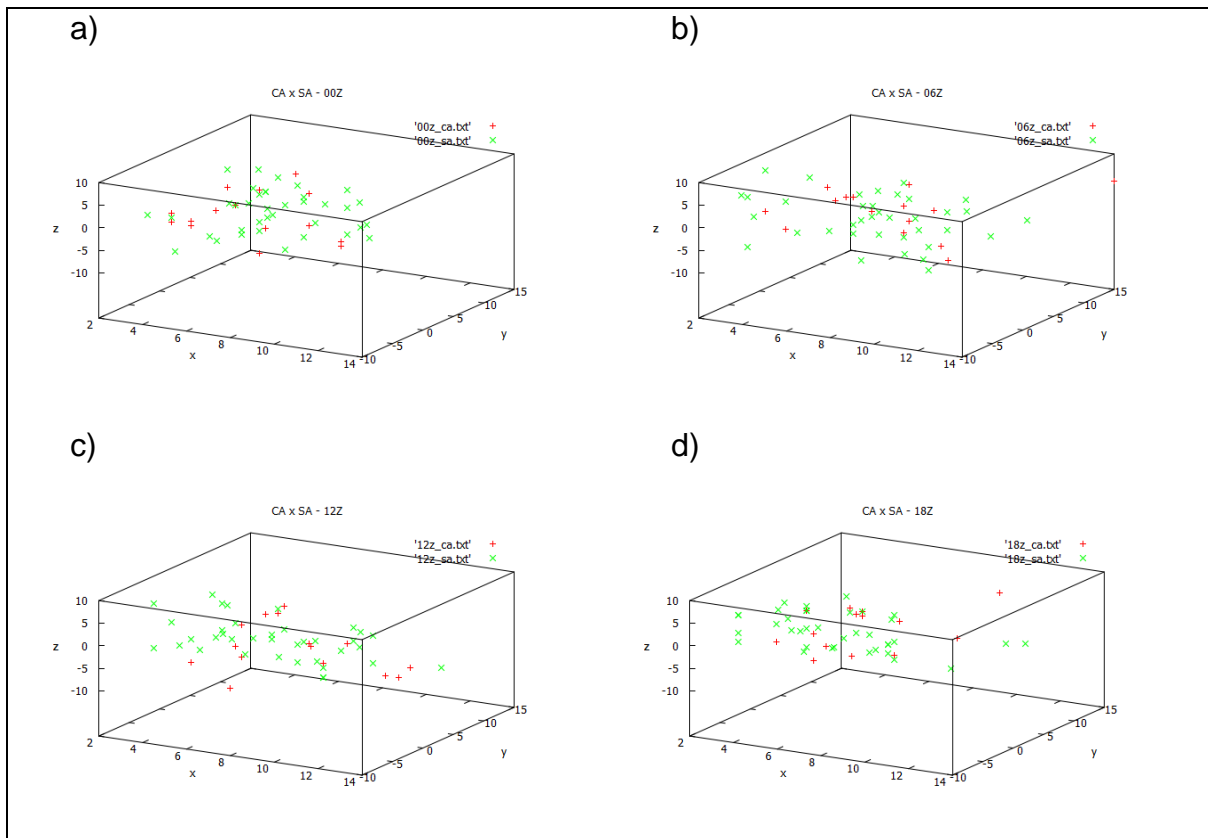
Os maiores valores médios, considerando os dias em que foram identificadas ocorrências de casos severos, foram observados às 06Z e 12Z (Fig.24b e Fig.24c, respectivamente), entre 60 e 70% na metade norte (onde há mais casos), sendo que às 12Z (Fig.24c) os valores chegam a 70 e 80%. O horário das 18Z (Fig.24d) foi o mais seco, onde quase toda a região apresenta valores abaixo de 50%.

O valor pontual do cisalhamento do vento entre 500-850 hPa, da divergência do vento em 200 hPa, e divergência do vento e umidade relativa em 950 hPa foi obtido para cada um dos casos das regiões CA e SA, e podem ser consultados nas tabelas do Apêndice 1. Estes valores foram arranjados em gráficos de três dimensões para melhor analisar as semelhanças, diferenças e os padrões das duas regiões.

A Figura 25 mostra um gráfico em 3D onde no eixo X estão os valores de cisalhamento do vento entre 500-850 hPa (m/s), no eixo Y valores de divergência do vento em 200 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) e no eixo Z valores de divergência do vento no nível de 950 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para às 00Z, 06Z, 12Z e 18Z (Fig.20 a, b, c, d, respectivamente), comparando as duas regiões.

Às 00Z (Fig.25a) os casos de CA (representados por símbolos vermelhos) estão divididos quanto ao cisalhamento, metade mostra valores por volta de 6 m/s e metade entre 8 e 12 m/s, enquanto que a maioria dos casos em SA (representados por símbolos verdes) está entre 6 e 10 m/s. Quanto às divergências, tanto os casos de CA quanto de SA concentram-se valores positivos de divergência do vento em torno de 2 e 4  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  em 200 hPa. Em 950 hPa a maioria dos casos de CA tem valores de divergência negativos entre -2 e -6  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , com um máximo de -10  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  em um deles. Já em SA, a maioria apresenta valores positivos de divergência, entre 4 e 6  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , enquanto os negativos estão entre -2 e -8  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Às 06Z (Fig.25b), grande parte dos casos de SA e metade de CA mostram valores mais elevados de cisalhamento do vento entre 500-850 hPa, a partir de 8 m/s, com um caso em CA em torno de 14 m/s. Valores de divergência em 950 apresentam comportamento semelhante em ambas as regiões, com maior concentração em torno de -2 e -4  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . A divergência em 200 hPa apresenta praticamente o mesmo padrão do horário anterior para CA, enquanto para SA um maior número de casos atinge valores mais intenso, de até 8  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Às 12Z (Fig.25c) os casos de CA concentram-se entre valores de cisalhamento entre 6 e 8 m/s, porém apresenta mais casos com valores maiores que 10 m/s do que o horário anterior, e para SA entre 4 e 8 m/s, também com um expressivo aumento de número de casos com valores acima de 10m/s. A divergência em 200 hPa fica entre -4 e 6  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  em CA e entre -3 e 8  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Em 950 hPa são encontrados valores entre -6 e -2  $\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  para a maioria dos casos em CA e entre -8 e -2 para a maioria dos

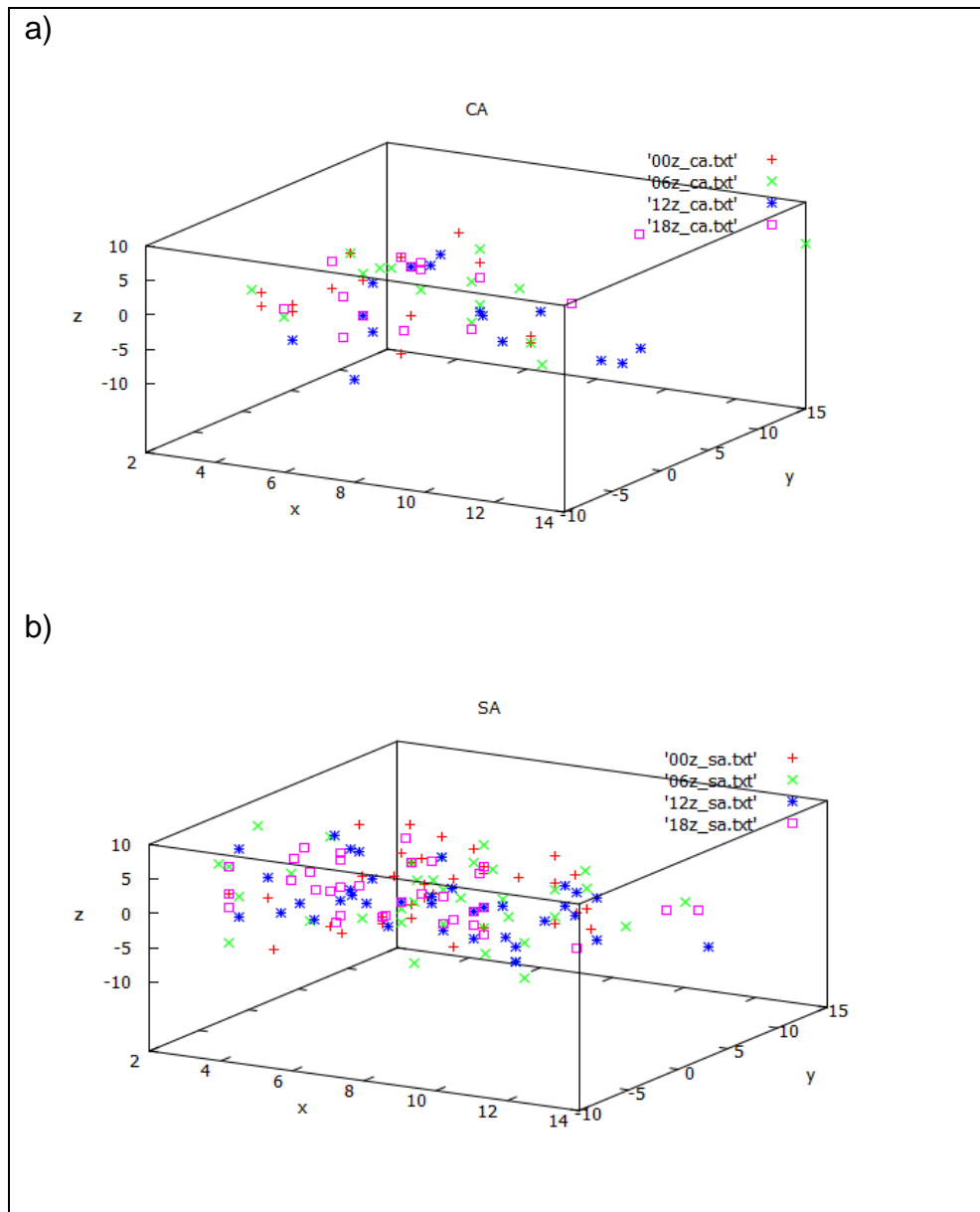
casos em SA. É notório o decréscimo dos valores de cisalhamento no horário seguinte (Fig.25d).



**Figura 25:** Gráfico em 3D mostrando comparação dos valores típicos de cisalhamento entre 500-850 hPa (x), divergência do vento em 200 hPa (y) e em 950 hPa (z), para os horários 00Z (a), 06Z (b), 12Z (c) e 18Z (d), para os casos de tempo severo da região CA (símbolo vermelho) e SA (símbolo verde).

A Figura 26 mostra os valores de cisalhamento do vento entre 500-850 hPa (m/s) no eixo X, divergência do vento em 200 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) no eixo Y e divergência do vento em 950 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) no eixo Z, para os quatro horários em cada região, onde valores para às 00Z são representados por símbolos vermelhos, 06Z símbolos verdes, 12Z símbolos azuis e 18Z símbolos em rosa. De forma geral, em CA (Fig.26a) o horário das 06Z (símbolos verdes) e 12Z (símbolos azuis) são os que apresentam maiores valores de cisalhamento vertical e divergência (positiva e negativa) em 200 e 950 hPa, enquanto que às 00Z (símbolos vermelhos) e 18Z (símbolos em rosa) os menores. O cisalhamento parece ser o parâmetro mais sensível ao longo do ciclo diurno. Na região SA (Fig.26b) não há um padrão que se destaque.

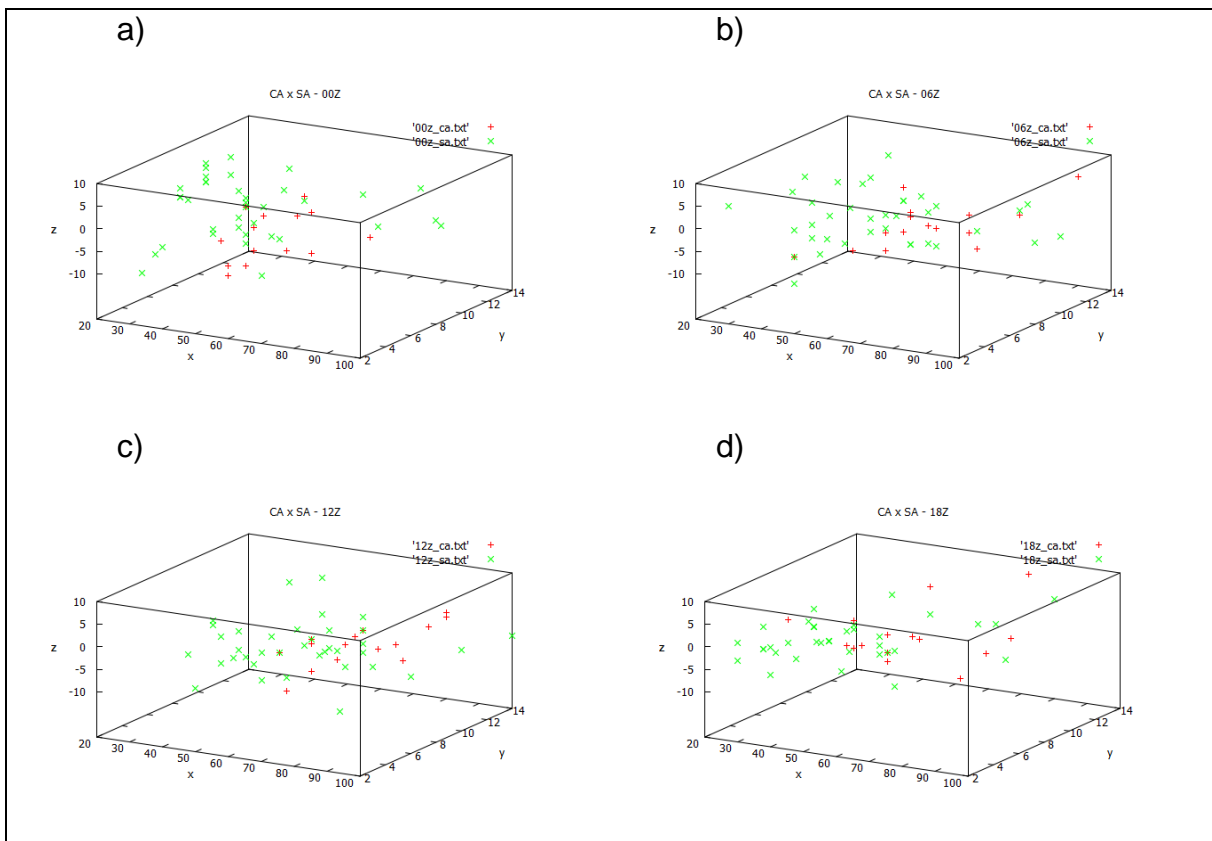




**Figura 26:** Gráfico em 3D mostrando os valores típicos de cisalhamento (m/s) entre 500-850 hPa (x), divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa (y) e em 950 hPa (z), para os horários 00Z (símbolo vermelho), 06Z (símbolo verde), 12Z (símbolo azul) e 18Z (símbolo rosa), para os casos de tempo severo da região CA (a) e SA (b).

A Figura 27 mostra um gráfico em 3D onde no eixo X estão os valores de umidade relativa (%), no eixo Y cisalhamento do vento entre 500-850 hPa (m/s) e no eixo Z valores de divergência do vento em 950 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) para às 00Z, 06Z, 12Z e 18Z (Fig.27a, b, c, d, respectivamente), comparando as duas regiões. Novamente, símbolos vermelhos representam a região CA e símbolos verdes a região SA.

Analisando o horário das 00Z (Fig.27a) nota-se maior umidade relativa nos casos em CA do que em SA, enquanto a maior concentração é em torno de 60% para CA em SA é de apenas 40%. A umidade relativa mais frequente no horário seguinte (Fig.27b) aumenta para 80%, enquanto a divergência do vento em 950 hPa torna-se mais negativa. Às 12Z (Fig.27c) tanto o cisalhamento do vento entre 500-850 hPa quanto à umidade relativa aumentam para SA, porém a umidade continua baixa para a maior parte dos casos. Às 18Z (Fig.27d) a umidade relativa volta a cair em SA. Para CA também diminui, mas mantém-se superior à SA em sua maioria. O cisalhamento vertical desintensifica-se e a divergência do vento em 950 hPa mantém-se entre  $-5$  e  $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  para a maior parte dos casos, enquanto para CA a divergência diminui.



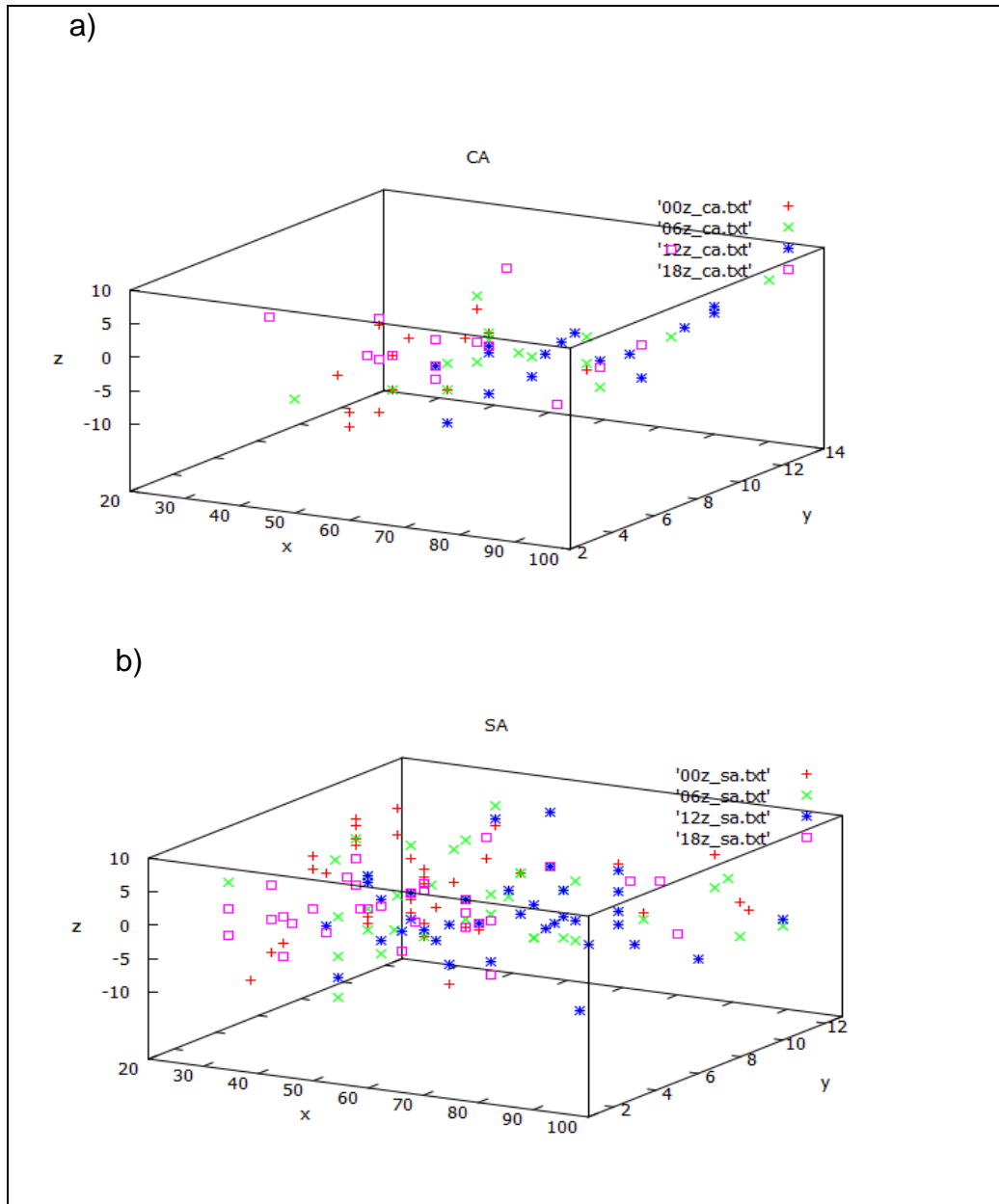
**Figura 27:** Gráfico em 3D mostrando comparação dos valores típicos de umidade relativa (%) em 950 hPa (x), cisalhamento (m/s) entre 500-850 hPa (y) e divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa (z), para os horários 00Z (a), 06Z (b), 12Z (c) e 18Z (d), para os casos de tempo severo da região CA (símbolo vermelho) e SA (símbolo verde).

A Figura 28 mostra os valores de umidade relativa (%) em 950 hPa em X, cisalhamento do vento entre 500-850 hPa (m/s) em Y e divergência do vento em 950 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em Z, para os quatro horários em cada região, onde valores para às 00Z são representados por símbolos vermelhos, 06Z símbolos verdes, 12Z símbolos azuis e 18Z símbolos em rosa.

A Figura 28 mostra os valores de umidade relativa (%) em 950 hPa em X, cisalhamento do vento entre 500-850 hPa (m/s) em Y e divergência do vento em 950 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em Z, para os quatro horários em cada região, onde valores para às 00Z são representados por símbolos vermelhos, 06Z símbolos verdes, 12Z símbolos azuis e 18Z símbolos em rosa.

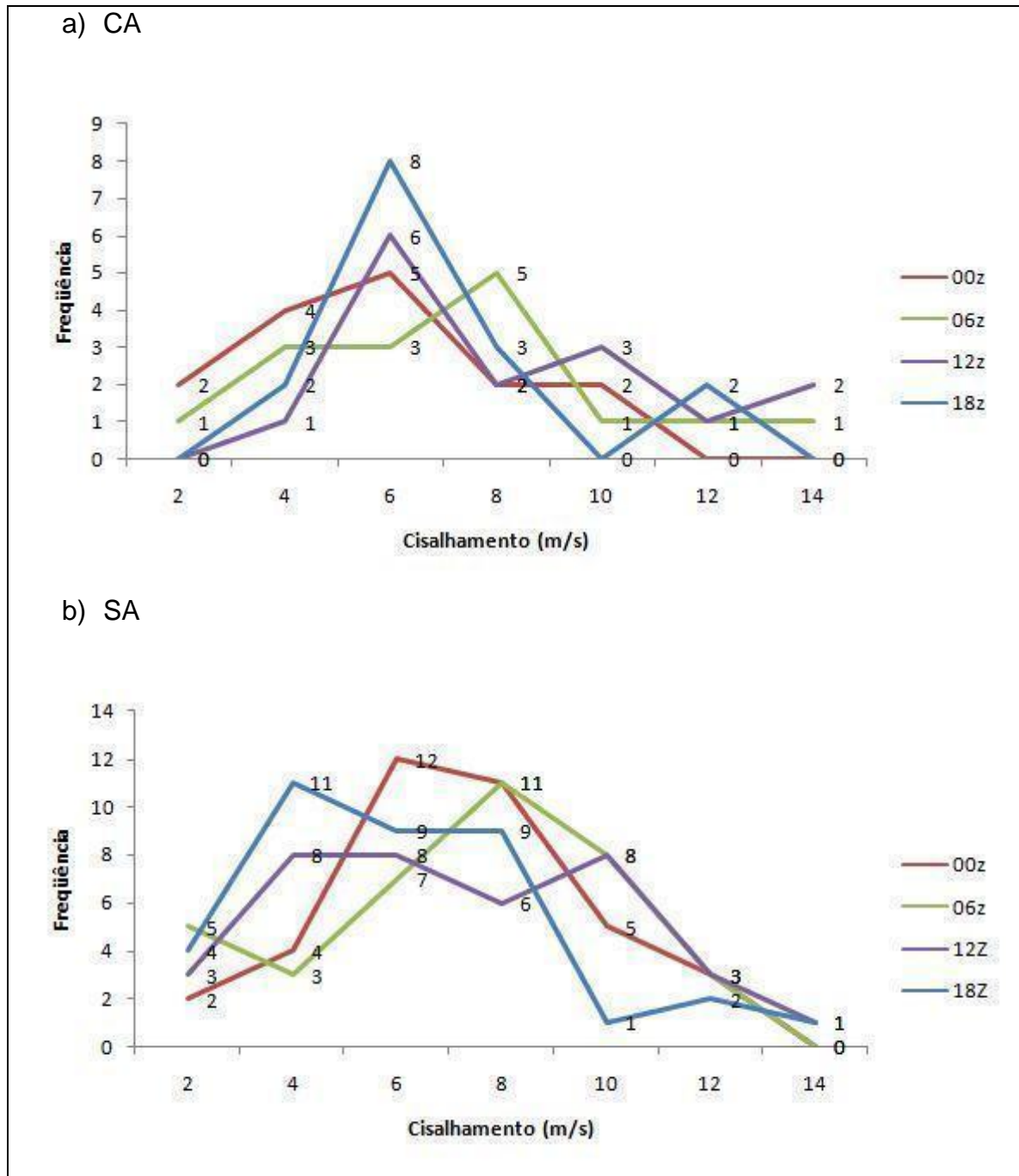
A análise da região CA (Fig.28a) mostra que a divergência do vento em 950 hPa é predominantemente negativa às 00Z (símbolos vermelhos) e às 06Z (símbolos verdes), sendo que às 18Z (símbolos em rosa) se destaca por apresentar divergência positiva vários casos, e umidade relativa mais baixa na maior parte deles, abaixo de 60%. O horário das 12Z (símbolos azuis) mostra maioria dos casos em ambiente com maior umidade relativa e um significativo número de casos com cisalhamento vertical do vento entre 500-850 hPa elevado, acima de 8 m/s. Às 00Z (símbolos vermelhos) a umidade também é baixa e a divergência do vento em 950 hPa tem valores moderados.

Na região SA (Fig.28b), assim como as análises anteriores mostraram, a umidade relativa em 950 hPa é predominantemente mais baixa que em CA, principalmente às 18Z (símbolos rosa), em que a maior parte dos casos mostra ambiente abaixo de 40%. O horário de 12Z (símbolos azuis) é o que apresenta casos com umidade relativa mais alta, entre 40-80%. Um número significativo de casos apresenta divergência do vento positiva em 950 hPa, principalmente às 18Z (símbolos rosa) e 06Z (símbolos verdes). Interessantemente, valores máximos de umidade relativa do ar em SA são maiores que em CA (chegando a 100%), assim como o cisalhamento vertical do vento entre 500-850 hPa é mais intenso.



**Figura 28:** Gráfico em 3D mostrando os valores típicos de umidade relativa (%) em 950 hPa (x), cisalhamento (m/s) entre 500-850 hPa (y) e divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa (z), para os horários 00Z (símbolo vermelho), 06Z (símbolo verde), 12Z (símbolo azul) e 18Z (símbolo rosa), para os casos de tempo severo da região CA (a) e SA (b) ocorridos a partir de 12 hora local em outubro (1998- 2010).

A Figura 29 mostra os histogramas com valores pontuais de cisalhamento do vento (m/s) entre os níveis de 500-850 hPa para os casos de tempo severo na região CA (Fig.29a) e SA (Fig.29b), para os quatro horários.

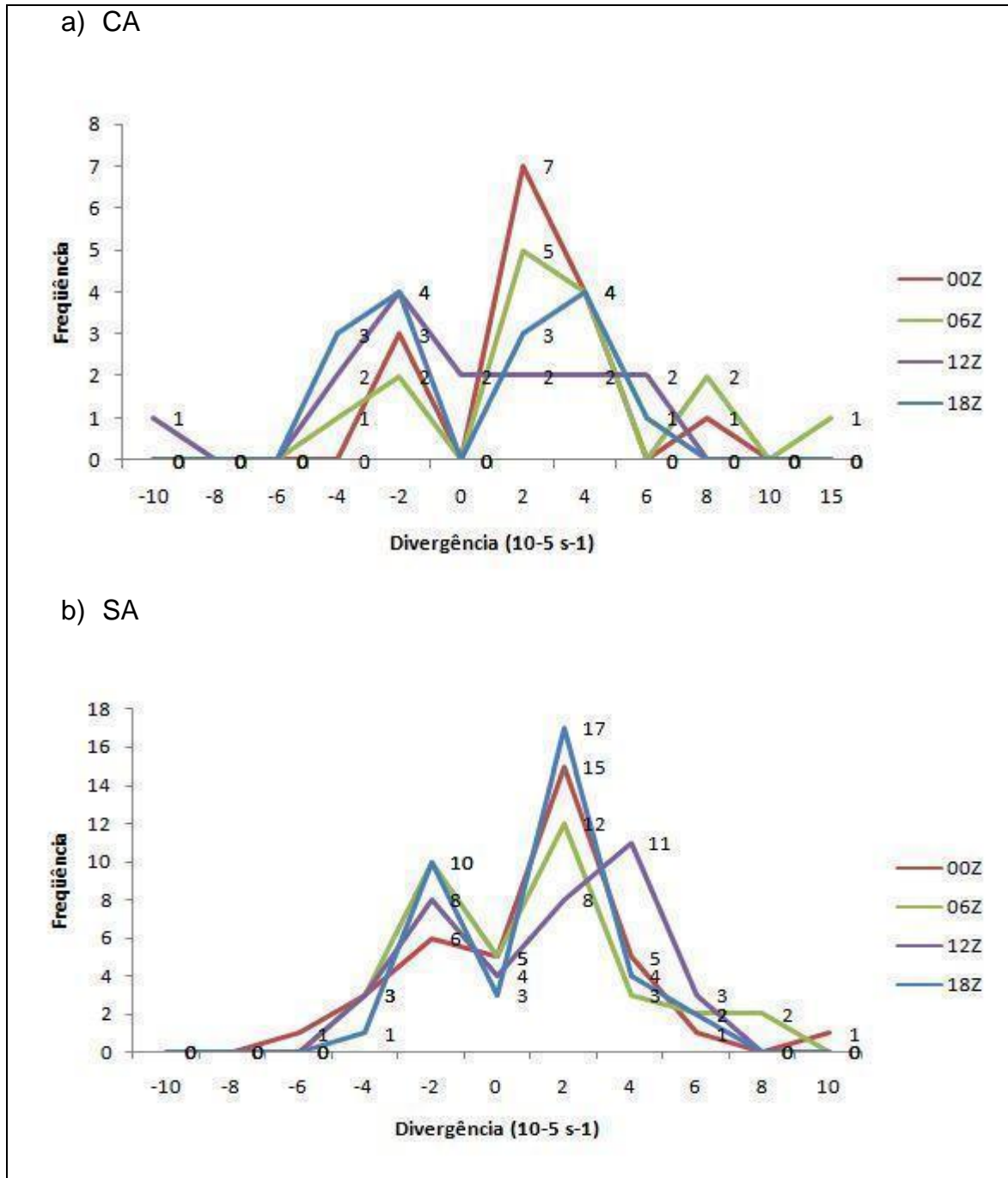


**Figura 29:** Histogramas mostrando distribuição de frequência de valores pontuais de cisalhamento do vento (m/s) entre 500-850 hPa para os quatro horários, para casos de tempo severo ocorridos em outubro a partir de 12 hora local, de 1998-2010, para a) região CA e b) região SA.

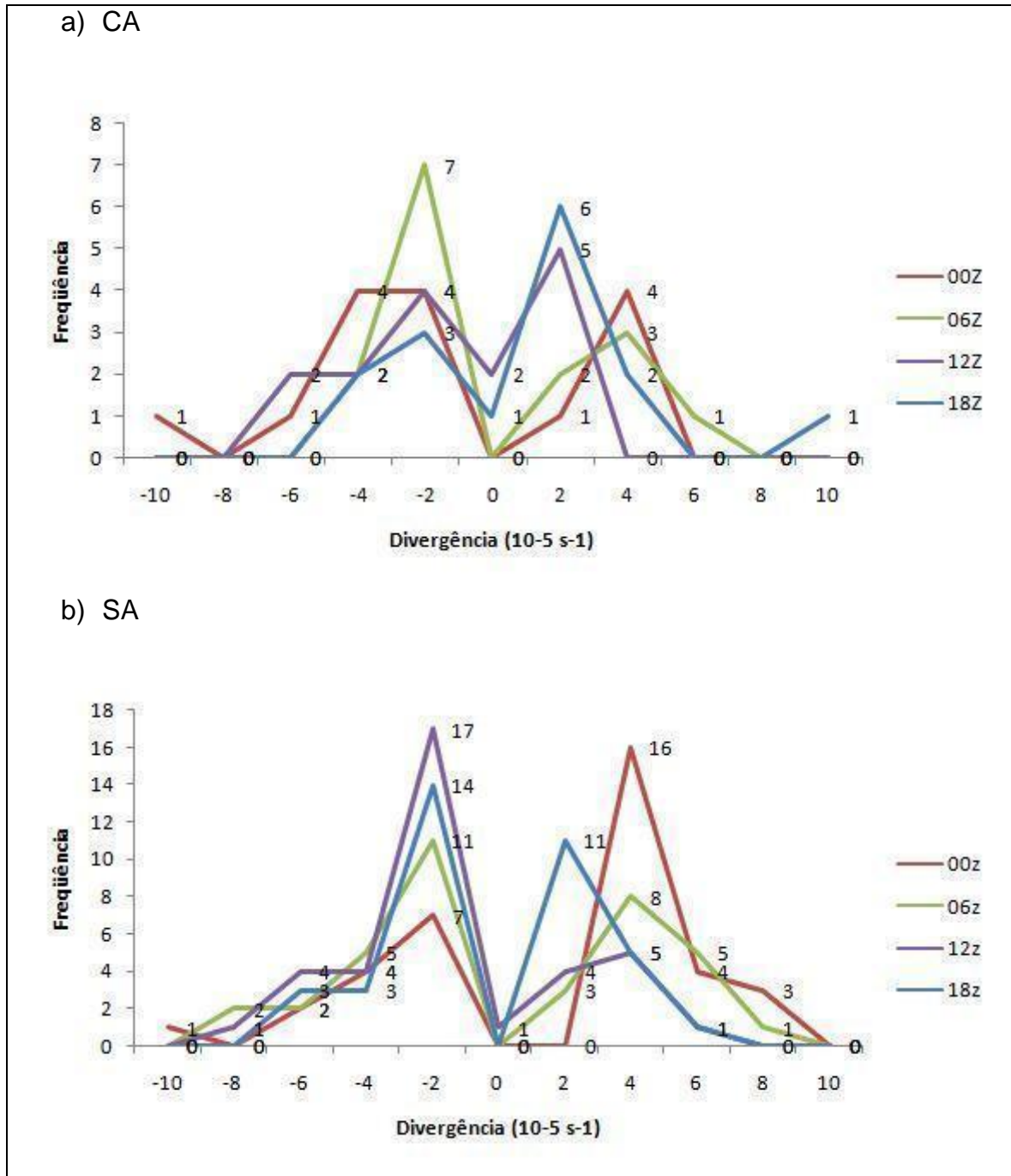
Fica evidente que o horário com valores de cisalhamento mais alto é 06Z (linha verde, Fig.29) em ambas as regiões, com a maioria dos casos com cisalhamento maior que 8 m/s. Valores intensos de cisalhamento também se destacam às 12Z (linha roxa, Fig.29).

A Figura 30 mostra os histogramas com valores pontuais de divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa para os casos de tempo severo na região CA (Fig.30a) e SA (Fig.30b), para os quatro horários. A divergência é positiva na maioria dos casos em praticamente todos os horários, para as duas regiões. Apesar disso, os horários 12Z (linha roxa) e 18Z (linha azul), para CA (Fig.30a) apresentam valores de divergência negativa para um número significativo de casos. Já para SA (Fig.30b) o horário das 06Z (linha verde) e das 18Z (linha azul) mostra significativo número de casos com divergência negativa.

Na Figura 31 são mostrados os histogramas com valores pontuais de divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa para os casos de tempo severo na região CA (Fig.31a) e SA (Fig.31b), para os quatro horários. Este critério mostra uma divisão bem clara entre divergência positiva e negativa, para ambas as regiões praticamente metade dos casos apresentam valores positivos e a outra metade valores negativos. Na região CA (Fig.31a) os casos com divergência negativa mostram, em sua maioria, valores por volta de  $-2$  a  $-6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , e os positivos entre  $2$  e  $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Em SA (Fig.31b) os casos com divergência negativa concentram-se entre  $-2$  e  $-4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , enquanto para divergência positiva estão entre  $2$  e  $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Aparentemente, convergência em baixos níveis é mais forte para a região SA quando comparada à CA.



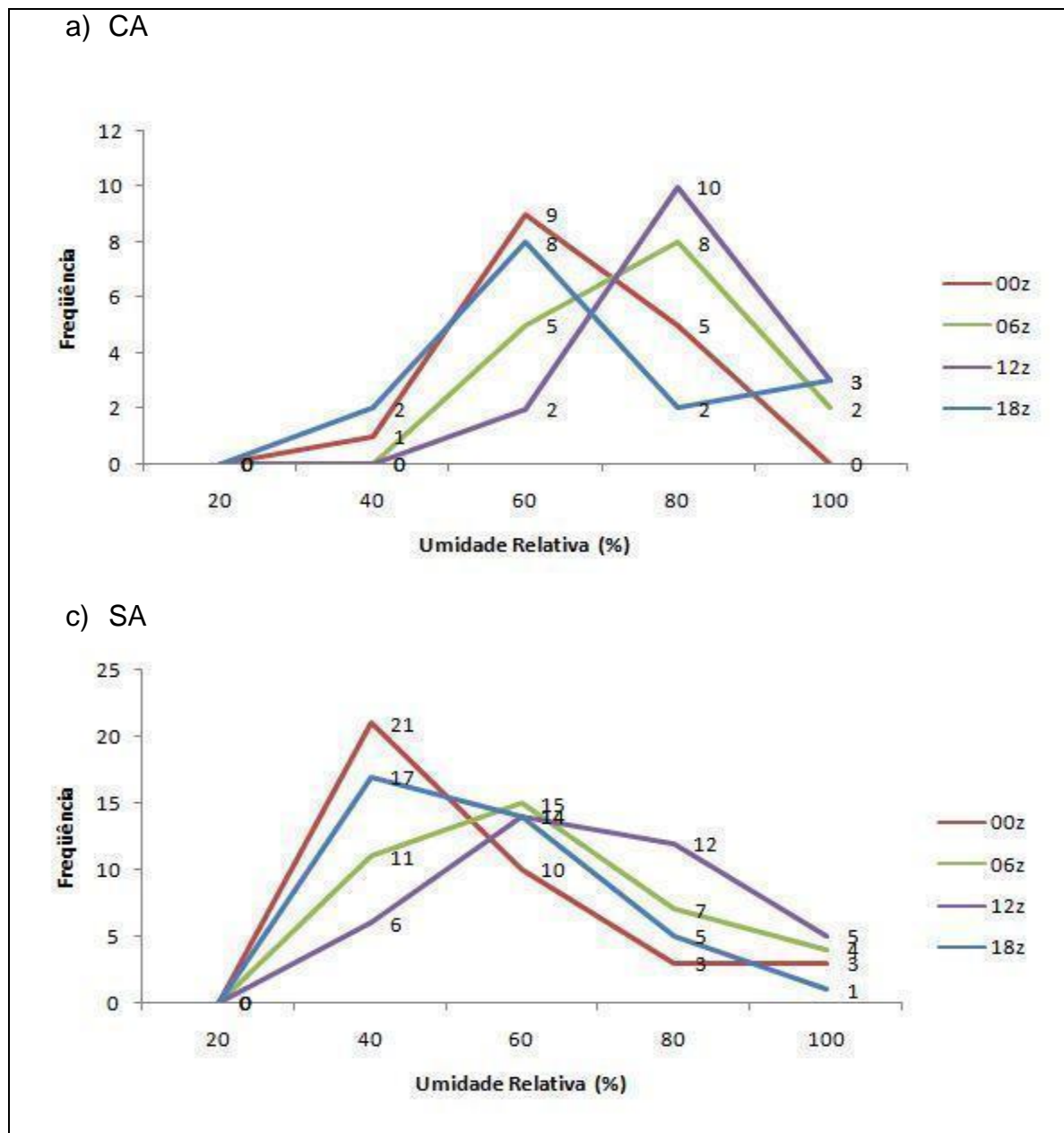
**Figura 30:** Histogramas mostrando distribuição de frequência de valores pontuais de divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa para os quatro horários, para casos de tempo severo ocorridos em outubro a partir de 12 hora local, de 1998-2010, para a) região CA e b) região SA.



**Figura 31:** Histogramas mostrando distribuição de frequência de valores pontuais de divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa para os quatro horários, para casos de tempo severo ocorridos em outubro a partir de 12 hora local, de 1998-2010, para a) região CA e b) região SA.



Como já discutido anteriormente, a umidade relativa do ar é mais baixa na região SA quando comparada à CA, o que também pode ser visto nos histogramas da Figura 32, que mostra os valores pontuais de umidade relativa (%) em 950 hPa para os casos de tempo severo na região CA (Fig.32a) e SA (Fig.32b), para os quatro horários.



**Figura 32:** Histograma mostrando distribuição de frequência de valores pontuais de umidade relativa (%) em 950 hPa para os quatro horários, para casos de tempo severo ocorridos em outubro a partir de 12 hora local, de 1998-2010, para a) região CA e b) região SA.

Enquanto na região CA (Fig.32a) os casos apresentam umidade relativa por volta de 80% para os horários 06Z (linha verde) e 12Z (linha roxa), e 60% para os outros horários, em SA (Fig.32b) a umidade relativa mais frequente é em torno de 40% para 00Z (linha vermelha) e 18Z (linha azul) e 60% para os demais horários, com exceção das 12Z (linha roxa) que mostra um número significativo de casos com umidade de 80%. Cabe ressaltar que mais casos em SA atingem umidades mais elevadas (entre 90 e 100%) quando comparados à SA.

### **4.3. Estudo de casos**

Foi selecionado um caso de cada região para um estudo mais detalhado. Buscou-se encontrar casos que combinassem valores elevados de cisalhamento vertical do vento entre 500-850 hPa, divergência do vento positiva em 200 hPa, divergência do vento negativa em 950 hPa e valores altos de umidade relativa do ar em 950 hPa. Os casos que melhor combinam estes valores são mostrados abaixo, e ocorreram em 20/10/2004 (região CA) e em 17/10/2009 (região SA).

#### **a) Região CA**

Informações a respeito do caso do dia 20/10/2004 podem ser encontradas nas tabelas 4 e 5. O volume de chuva de 15527,0 mm/h km<sup>2</sup> (Tabela 4) é baixo quando comparado a outros sistemas, como por exemplo, o caso de 8/10/2005 nessa mesma região que totalizou 62507,1 mm/h km<sup>2</sup> (Tabela A.1), porém valores relativamente altos de cisalhamento vertical do vento e de divergência em 200 hPa chamam atenção (Tabela 5).

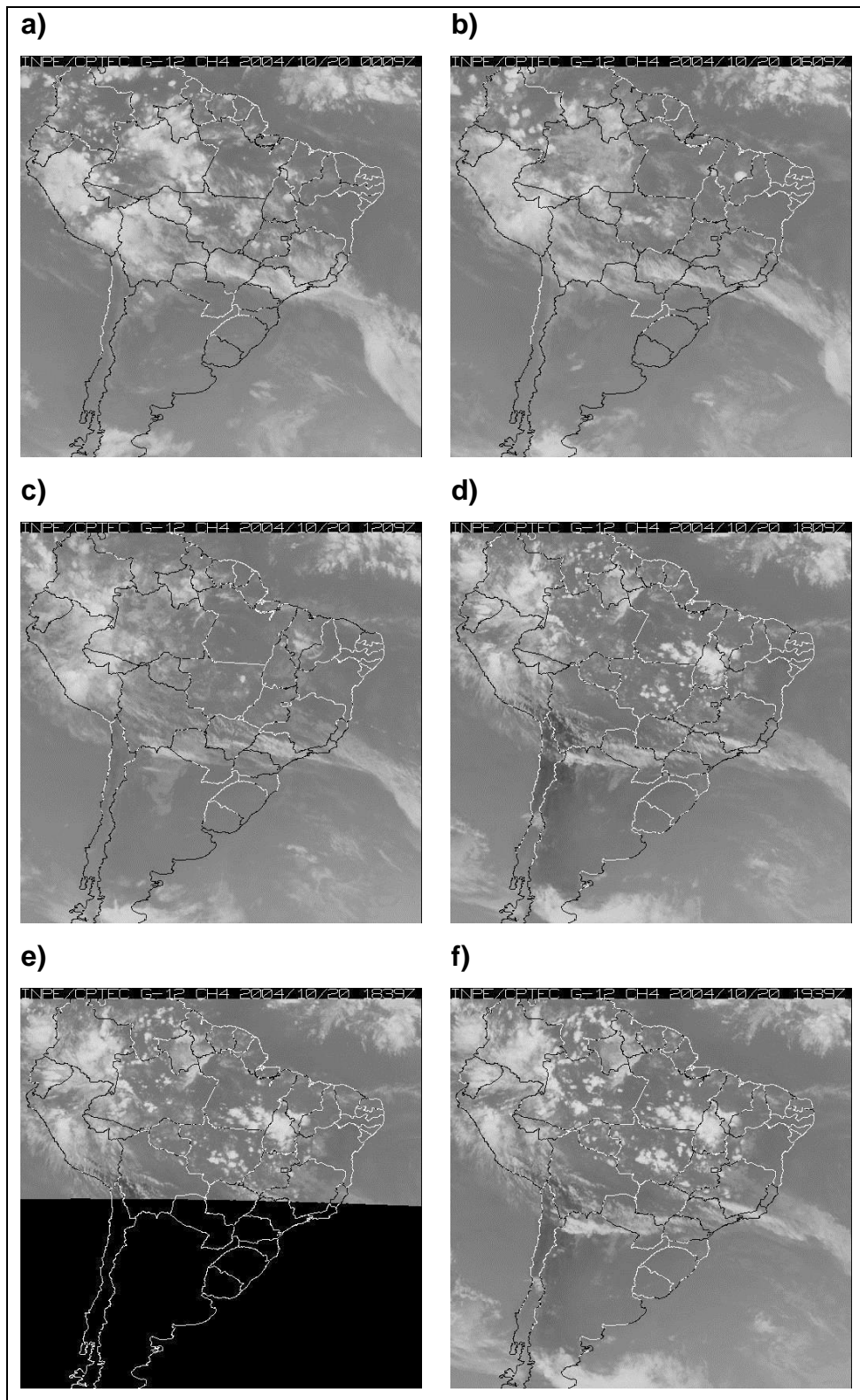
**Tabela 4:** Informações gerais para o caso em estudo na região CA.

<b>Data</b>	20/10/2004
<b>Hora (Z)</b>	18,82
<b>Lon</b>	-63,18
<b>Lat</b>	-2,19
<b>Volume de chuva [mm/h km<sup>2</sup>]</b>	15527,0
<b>Área total (PCT<sub>85GHz</sub>&lt; 250 K) [km<sup>2</sup>]</b>	4800
<b>Área do núcleo (PCT<sub>85GHz</sub>&lt;100 K) [km<sup>2</sup>]</b>	125
<b>Taxa de raios</b>	15,06

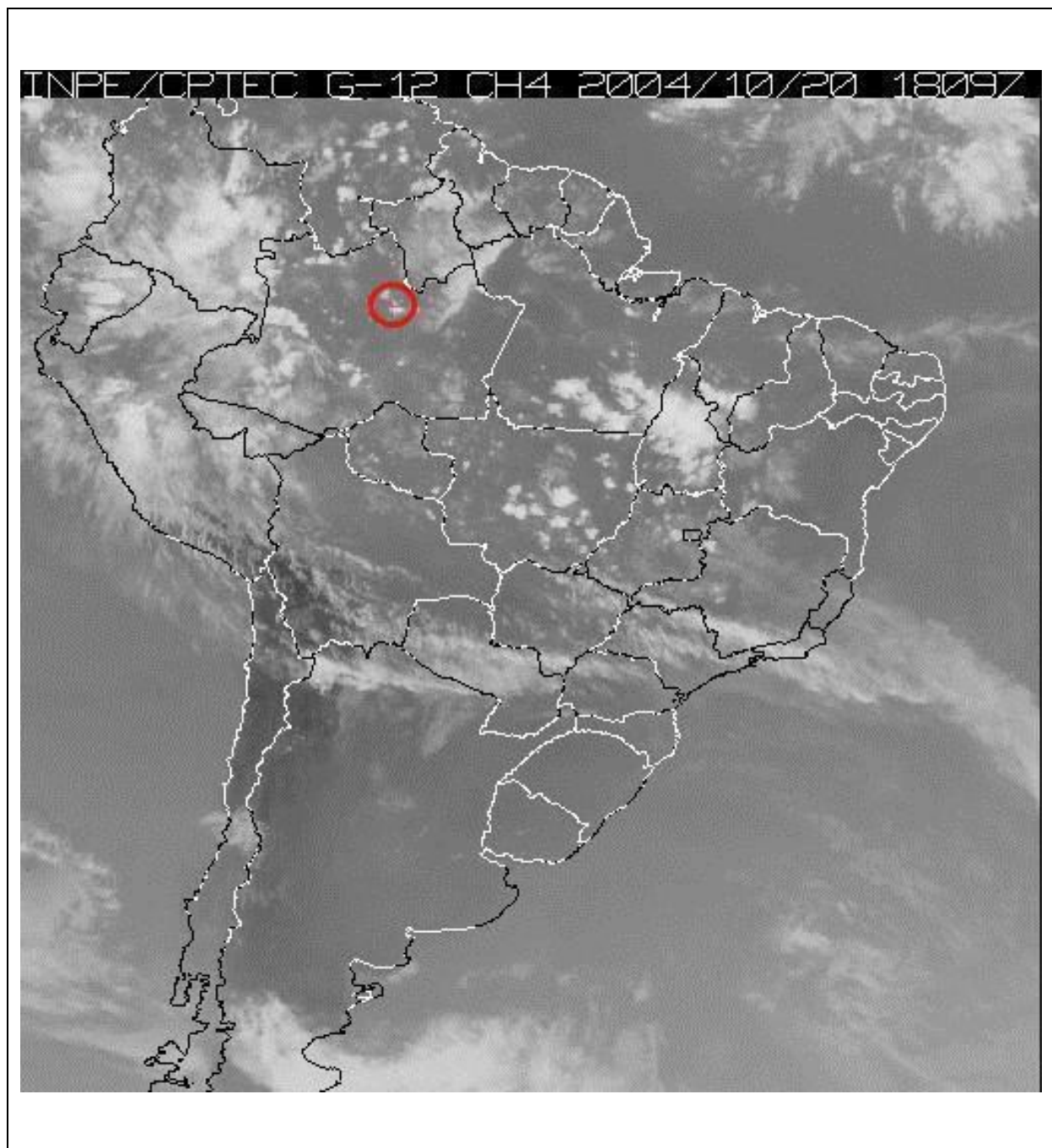
**Tabela 5:** Características do caso de tempo severo ocorrido em 20/10/2004, mostrando valores de cisalhamento do vento entre 500-850 hPa, divergência do vento em 200 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), divergência do vento em 950 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) e umidade relativa do ar (%) para os horários 00Z, 06Z, 12Z e 18Z.

<b>Parâmetro</b>	<b>00Z</b>	<b>06Z</b>	<b>12Z</b>	<b>18Z</b>
<b>Cisalhamento (m/s)</b>	8	14	8	6
<b>Divergência 200 hPa (<math>10^{-5} \text{ s}^{-1}</math>)</b>	3	15	-10	-4
<b>Divergência 950 hPa (<math>10^{-5} \text{ s}^{-1}</math>)</b>	-3	4	-6	2
<b>UR 950 (%)</b>	80	90	70	60

A Figura 33 mostra as imagens do satélite GOES-12, no canal 4 do infravermelho, para essa data. De acordo com o Boletim Climanálise de outubro/2004 (CPTEC/INPE) a nebulosidade que pode ser observada na faixa Norte-Sudeste ao longo do dia é uma frente fria em estágio de dissipação. A formação do sistema severo pode ser vista a partir de 1809Z (Fig.33d) a noroeste do Estado do Amazonas, e fica mais evidente nos horários seguintes. A Figura 33.d é mostrada ampliada na Figura 34, com destaque no local de ocorrência do caso.

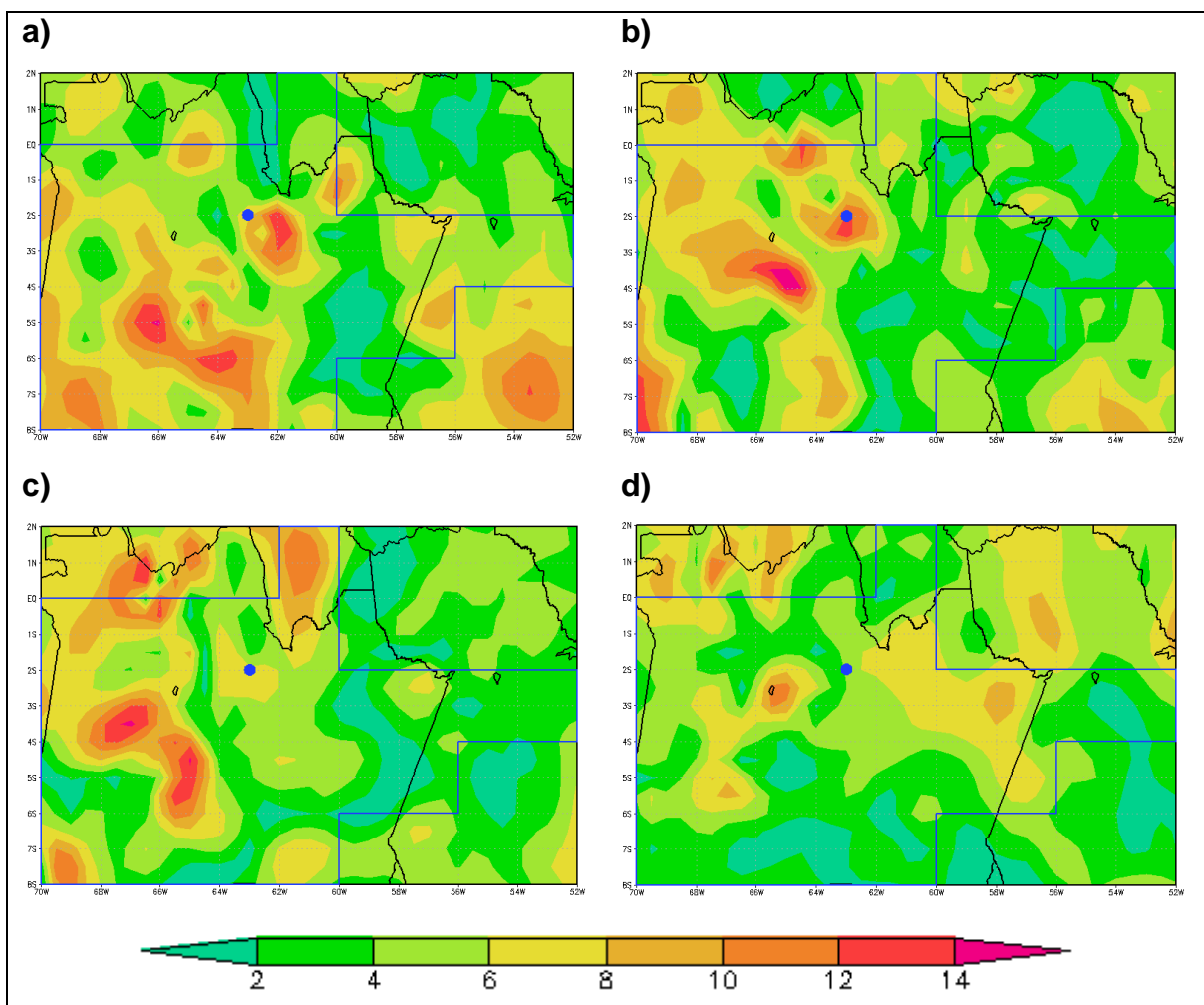


**Figura 33:** Imagens do satélite GOES-12, infravermelho canal 4, para o dia 20/10/2004, onde: a) 0009Z, b) 0609Z, c) 1209Z, d) 1809Z, e) 1839Z, f) 1939Z. Fonte: CPTEC/INPE.



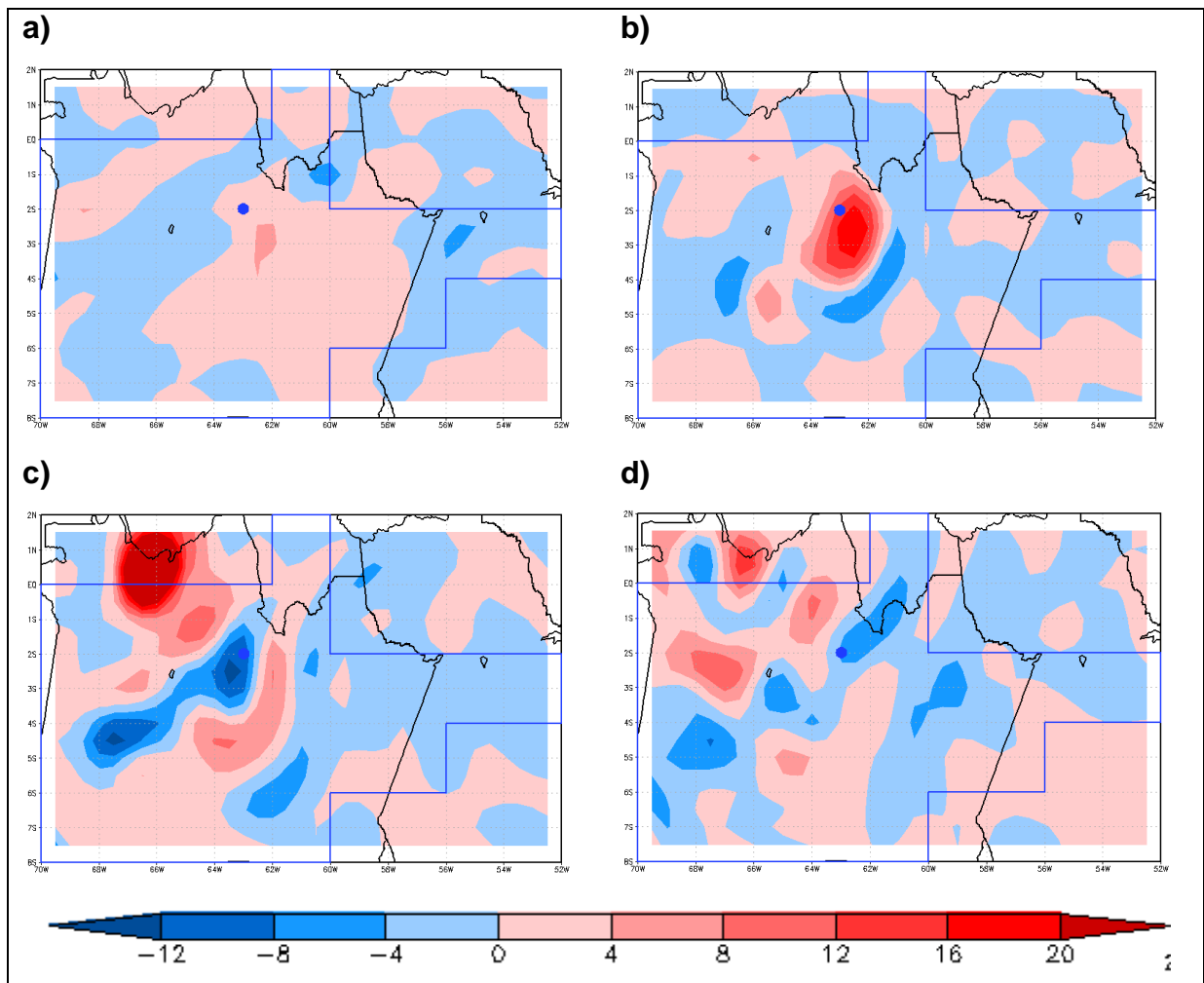
**Figura 34:** Imagem do satélite GOES-12, infravermelho canal 4, para o dia 20/10/2004 às 1809Z, onde o círculo vermelho mostra a formação do caso severo. Adaptado de CPTEC/INPE.

A Figura 35 mostra como o módulo do cisalhamento vertical do vento (m/s), entre 500-850 hPa, comporta-se na região CA em 20/10/2004, ao longo do dia. Durante às 00Z, 06Z e 12Z (Fig.35a, b, c, respectivamente) o território é praticamente todo dominado por valores de cisalhamento acima de 8 m/s, quando às 06Z (Fig.35b) um máximo de 14 m/s coincide com a localização do caso. Entretanto, às 18Z (Fig.35d), próximo ao horário de ocorrência do caso, o cisalhamento está enfraquecido (6 m/s).



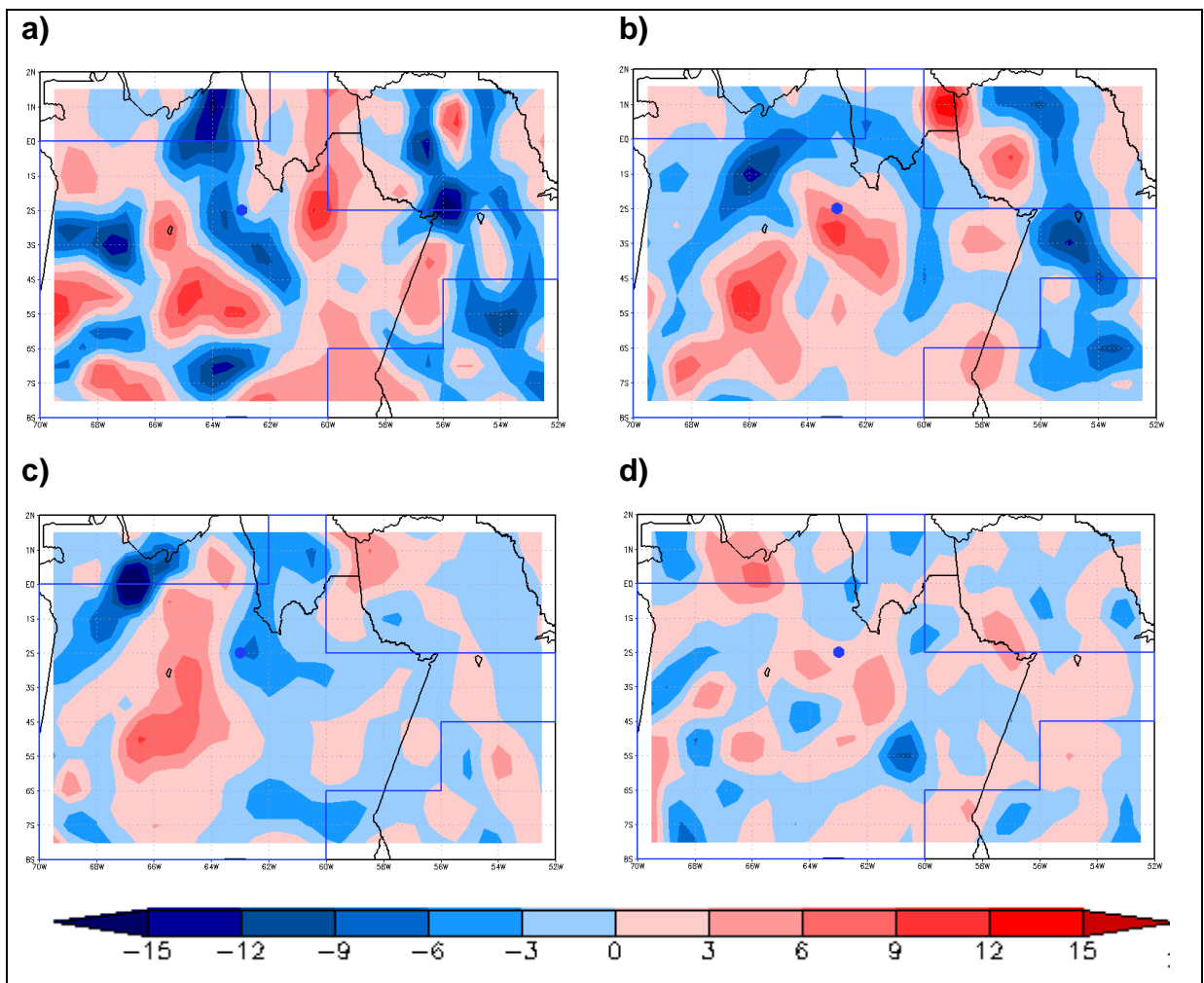
**Figura 35:** Módulo do cisalhamento do vento (m/s), para o dia 20/10/2004, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região CA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.

A Figura 36 mostra os valores de divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa, na região CA em 20/10/2004, ao longo do dia para dia as 00Z, 06Z, 12Z e 18Z (Fig.36a, b, c, d, respectivamente). Durante os dois primeiros horários a região é praticamente toda dominada por divergência positiva, sendo que, assim como para o cisalhamento entre 500-850 hPa mostrado anteriormente, às 06Z um núcleo bastante intenso está localizado sobre a mesma área do caso severo ( $14 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ). Às 12Z (Fig.36c), no entanto, um núcleo com divergência negativa é encontrado sobre a mesma área. Às 18Z (Fig.36d) a região divide-se entre valores positivos e negativos de divergência do vento, entre  $-8$  e  $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .



**Figura 36:** Divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa, para o dia 20/10/2005, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região CA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.

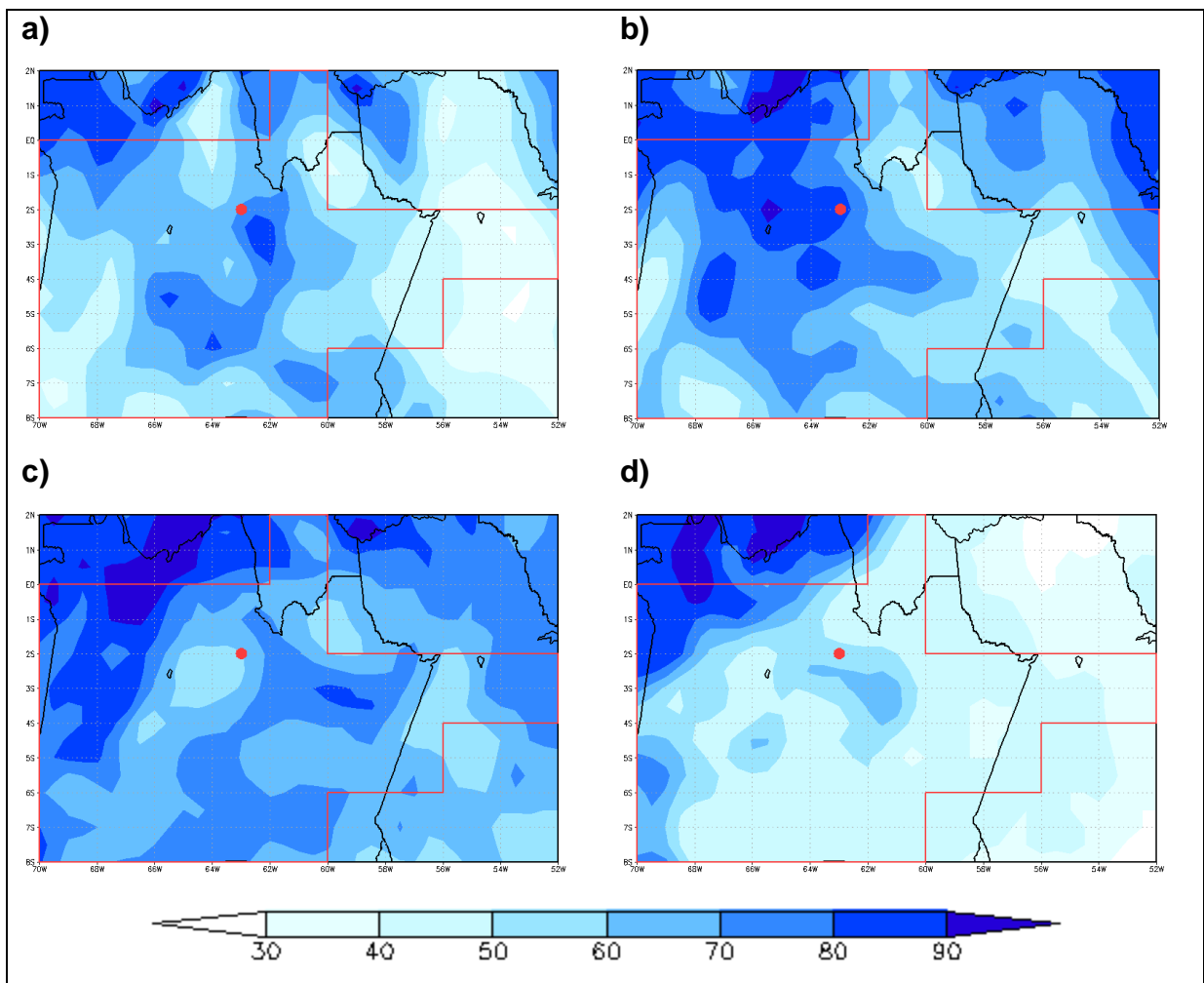
Quanto à divergência do vento em 950 hPa (Fig.37), na região CA aparenta dominar divergência negativa (convergência) em baixos níveis, apesar de que núcleos com valores significativos de divergência positiva do vento aparecem principalmente às 00Z e às 06Z (Fig.37a, b respectivamente), chegando próximo a  $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .



**Figura 37:** Divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa, para o dia 20/10/2005, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região CA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.



Analisando a Figura 38 é possível observar que os horários com maiores valores de umidade relativa do ar (%) são 06Z e 12Z (Fig.38b, c, respectivamente). Novamente o horário das 06Z destaca-se por mostrar um núcleo intenso de umidade relativa (90%) na área sobre a localização do caso, assim como visto para o cisalhamento e para a divergência do vento em 200 hPa.



**Figura 38:** Umidade relativa do ar (%) em 950 hPa, para o dia 20/10/2005, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono vermelho delimita a região CA, e o ponto vermelho indica onde o caso está localizado.

Este caso mostrou configuração interessante quanto ao cisalhamento vertical do vento, divergência em 200 hPa e umidade relativa do ar. Apesar do emprego de parâmetros comumente utilizados em latitudes médias para identificação de ambiente de tempestade severa, eles mostraram-se importantes aqui.

## b) Região SA

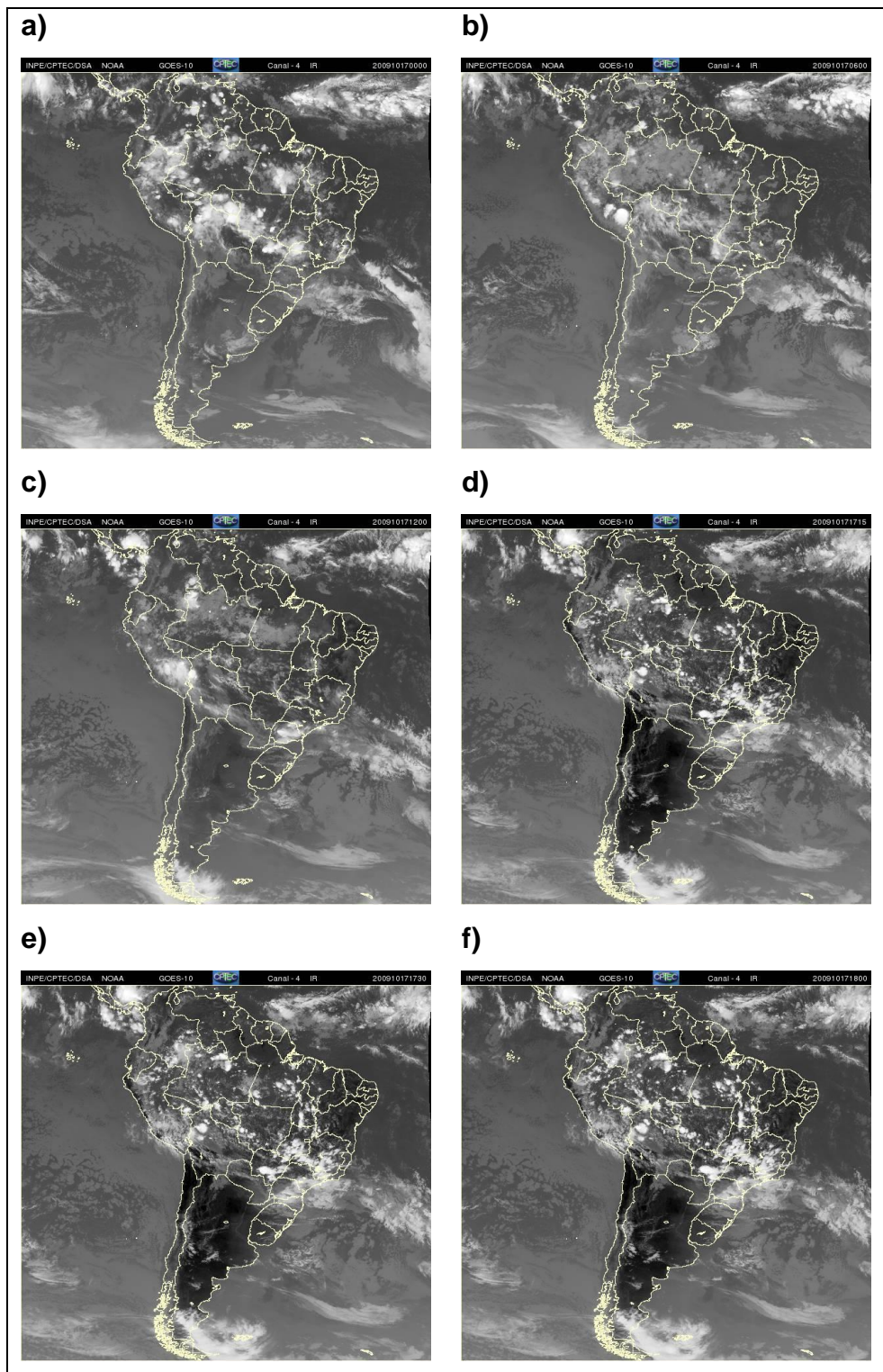
Informações a respeito do caso do dia 17/10/2009 podem ser encontradas nas Tabelas 6 e 7. O volume de chuva de 6550,67 mm/h km<sup>2</sup> (Tabela 6) é bastante baixo quando comparado a outros sistemas, como, por exemplo, o caso de 21/10/2008 nessa mesma região que totalizou 127566,0 mm/h km<sup>2</sup> (Tabela A.5), porém valores relativamente altos de cisalhamento vertical do vento, de divergência em 200 hPa e umidade relativa em 950 hPa chamam atenção (Tabela 7). A Figura 39 mostra as imagens do satélite GOES-10, no canal 4 do infravermelho, para essa data. De acordo com o Boletim Climanálise de outubro/2009 (CPTEC/INPE) a nebulosidade que pode ser observada na faixa Norte-Sudeste ao longo do dia é uma frente fria em estágio de dissipação. A formação do sistema severo pode ser vista a partir de 1715Z (Fig.39d) na fronteira sul do Estado de Rondônia com Mato Grosso. A Figura 39.d é mostrada ampliada na Figura 40, com o local de ocorrência destacado.

**Tabela 6:** Informações gerais para o caso em estudo na região SA.

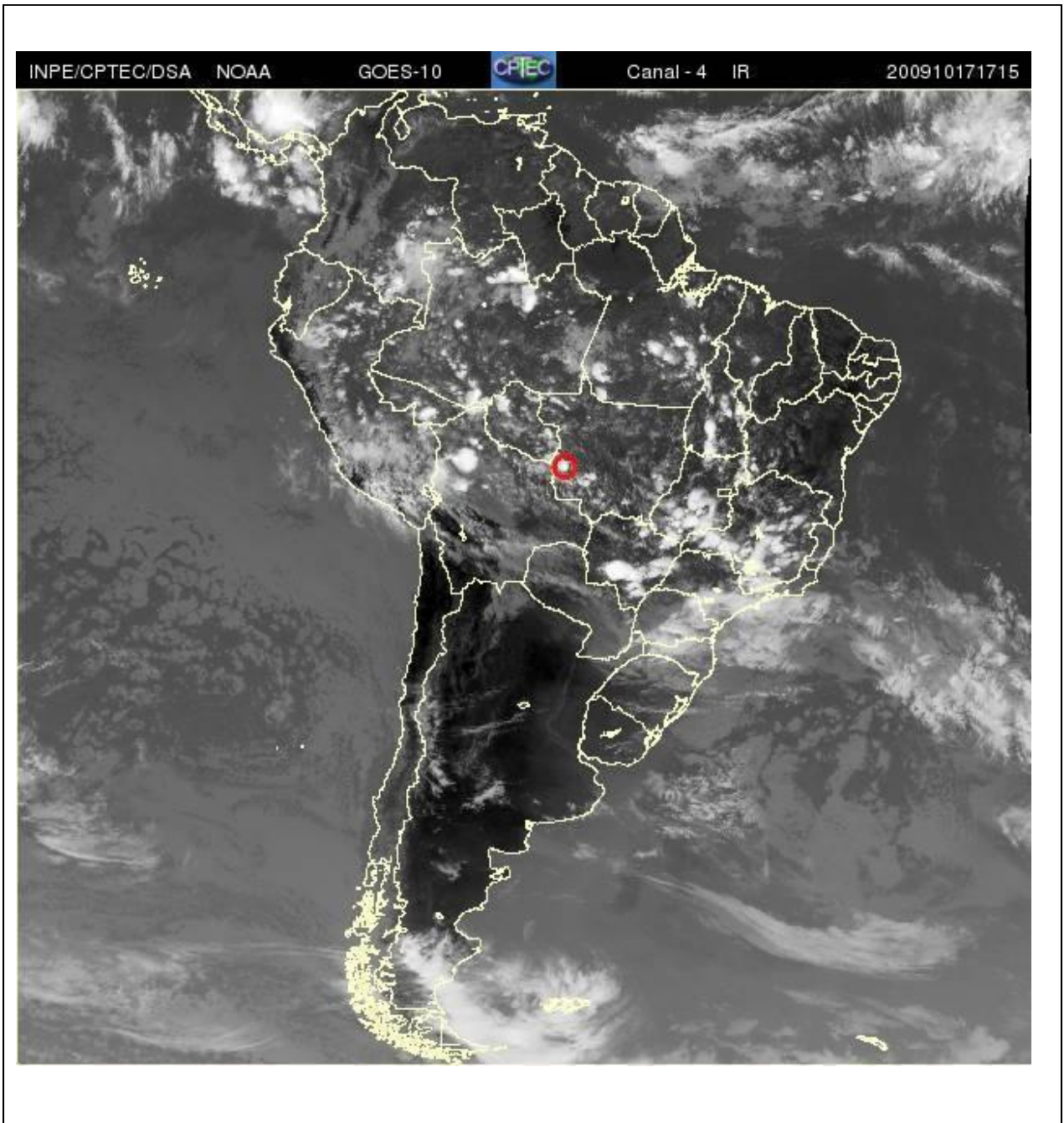
<b>Data</b>	17/10/2009
<b>Hora (Z)</b>	17,28
<b>Lon</b>	-59,59
<b>Lat</b>	-13,78
<b>Volume de chuva [mm/h km<sup>2</sup>]</b>	6550,67
<b>Área total (PCT<sub>85GHz</sub>&lt; 250 K) [km<sup>2</sup>]</b>	2025
<b>Área do núcleo (PCT<sub>85GHz</sub>&lt;100 K) [km<sup>2</sup>]</b>	150
<b>Taxa de raios</b>	13,18

**Tabela 7:** Características do caso de tempo severo ocorrido em 17/10/2009, mostrando valores de cisalhamento do vento entre 500-850 hPa, divergência do vento em 200 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), divergência do vento em 950 hPa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) e umidade relativa do ar (%) para os horários 00Z, 06Z, 12Z e 18Z.

<b>Caso 17/10/2009</b>	<b>00Z</b>	<b>06Z</b>	<b>12Z</b>	<b>18Z</b>
<b>Cisalhamento</b>	12	8	6	14
<b>Divergência 200 hPa</b>	2	4	4	2
<b>Divergência 950 hPa</b>	-2	-2	-2	2
<b>UR 950</b>	90	100	100	90

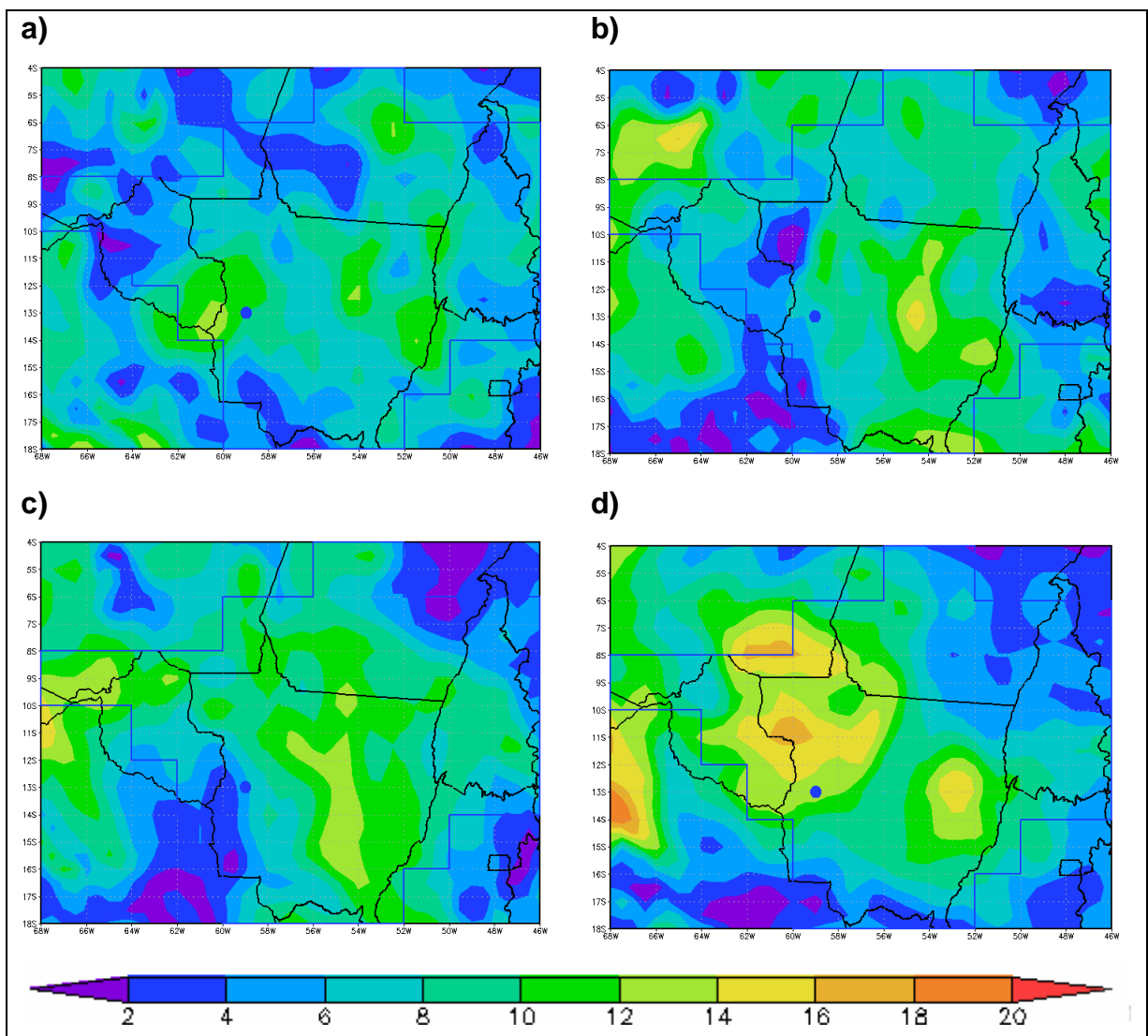


**Figura 39:** Imagens do satélite GOES-10, infravermelho canal 4, para o dia 17/10/2009, onde: a) 0000Z, b) 0600Z, c) 1200Z, d) 1715Z, e) 1730Z, f) 1800Z. Fonte: CPTEC/INPE.



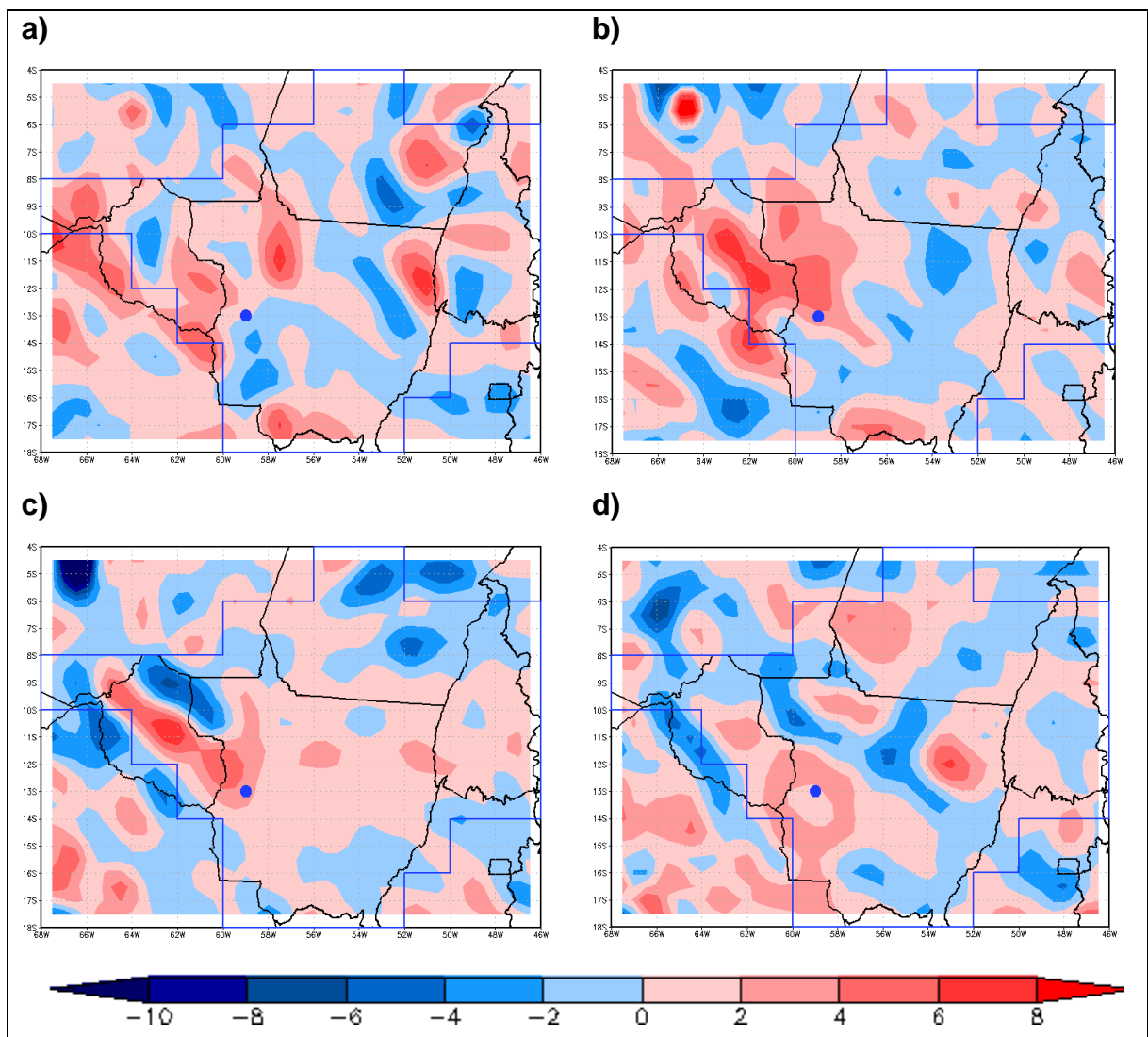
**Figura 40:** Imagem do satélite GOES-10, infravermelho canal 4, para o dia 17/10/2009, no horário de 1715Z, onde o círculo vermelho mostra a formação do caso severo. Adaptado de CPTEC/INPE.

A Figura 41 mostra como o módulo do cisalhamento vertical do vento (m/s), entre 500-850 hPa, comporta-se na região SA em 17/10/2009, ao longo do dia. O valor do cisalhamento aumenta em todo o território ao longo dos 4 horários, onde às 18Z (Fig.41d) metade da região apresenta valores maiores que 10 m/s. Às 00Z (Fig.41a) valores mais baixos de cisalhamento dominam a região, porém sobre a área onde se localiza o caso severo o valor é de 12 m/s. Já às 06Z, aparecem núcleos com os mais baixos valores, em torno de 2 m/s. No horário das 18Z (Fig.41d) a área sobre a localização do caso tem o mais alto valor para todos os horários, em torno de 14 m/s.



**Figura 41:** Módulo do cisalhamento do vento (m/s), para o dia 17/10/2009, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região SA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.

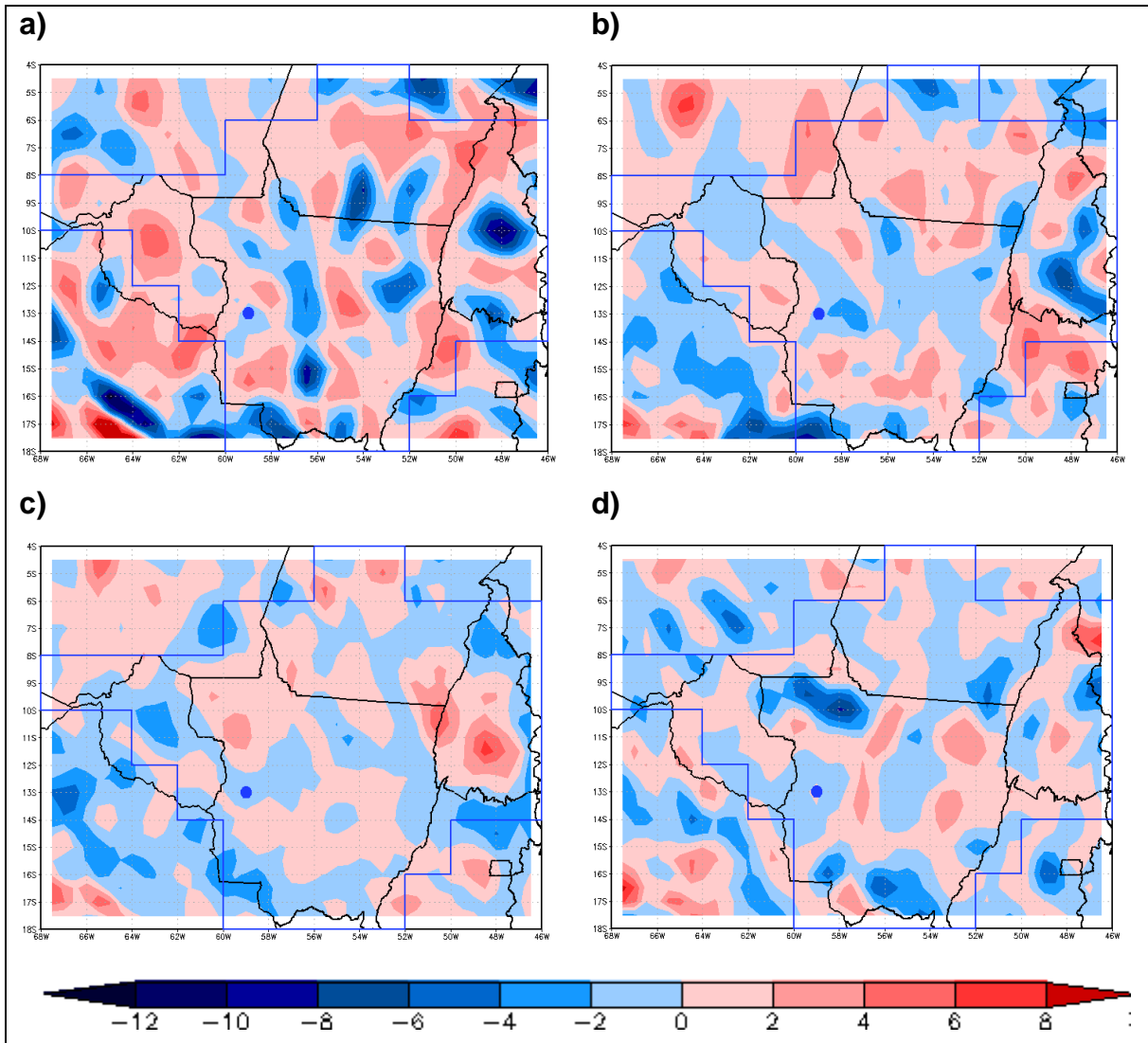
A Figura 42 mostra os valores de divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa, na região SA em 17/10/2009, ao longo do dia para dia as 00Z, 06Z, 12Z e 18Z (Fig.42a, b, c, d, respectivamente). Durante os horários das 00Z e 12Z (Fig.42a, c, respectivamente) a região é dominada por valores positivos de divergência do vento, com núcleos de até  $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , o que favorece convecção. Às 06Z apesar da região apresentar, em sua maioria, divergência negativa, há uma ampla região próxima à localização do caso com intensa divergência positiva.



**Figura 42:** Divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 200 hPa, para o dia 17/10/2009, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região SA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.

Como vemos na Figura 43, que mostra a divergência do vento em 950 hPa, na região SA para o dia 17/10/2009, ao contrário do estudo de caso da região CA,

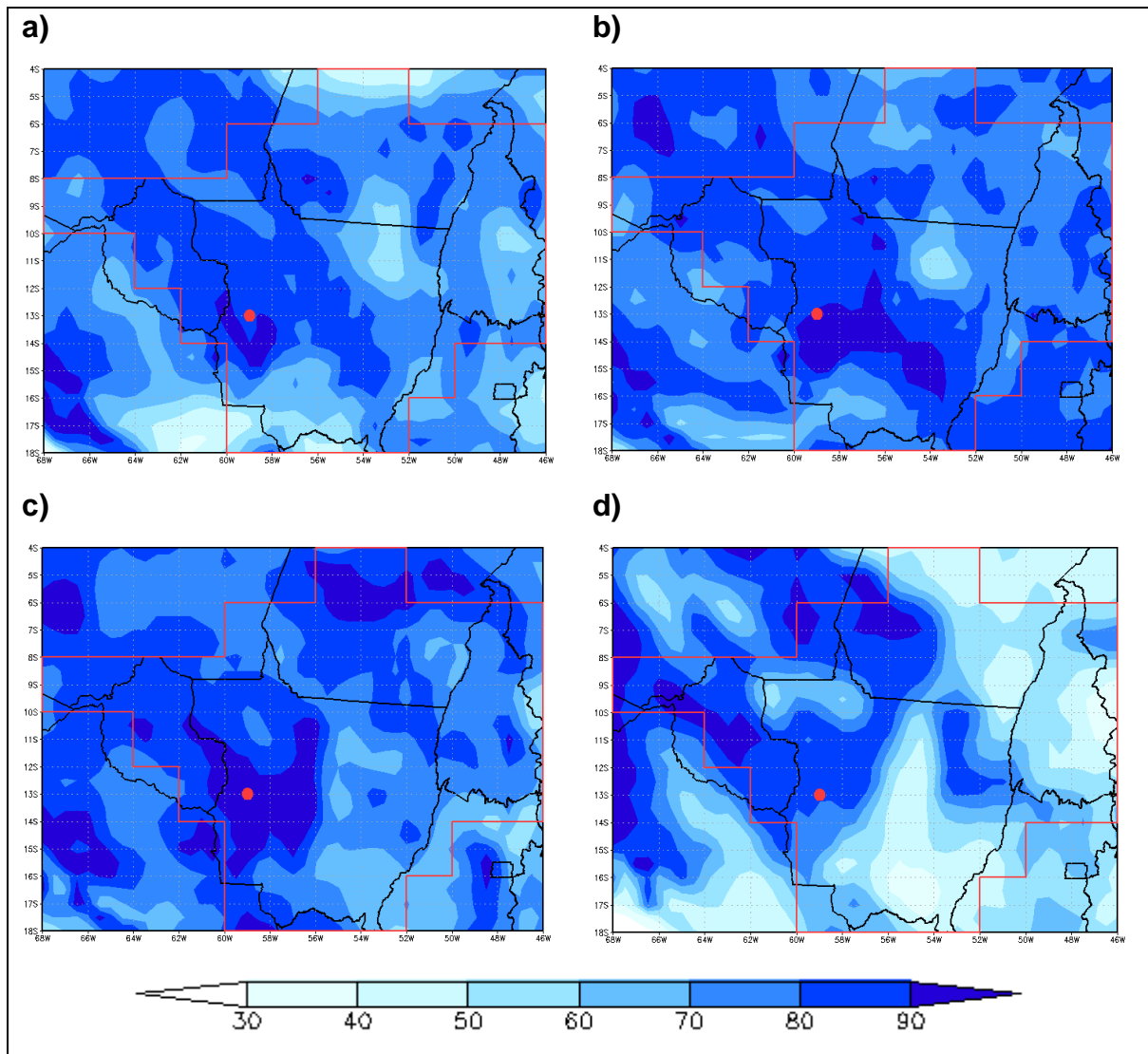
esta é dominada por valores positivos de divergência. Porém, nos horários 00Z, 06Z e 12Z (Fig.43a, b, c, respectivamente) a área em torno da localização do caso em questão apresenta valores negativos para divergência, apesar de amenos. Convergência parece dominar às 18Z (Fig.43d) com valores de até  $-8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , porém a área do caso localiza-se sobre divergência positiva.



**Figura 43:** Divergência do vento ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) em 950 hPa, para o dia 17/10/2009, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono azul delimita a região SA, e o ponto azul indica onde o caso está localizado.

Apesar de que na média os casos na região SA mostram umidade relativa inferior à CA, este estudo de caso mostra valores muito mais significativos nesta região, como é possível notar na Figura 44. A região é praticamente toda coberta por valores acima de 80%, com exceção das 18Z (Fig.44d). A área em torno da

localização do caso severo mostra bastante umidade nos quatro horários, entre 90 e 100%.



**Figura 44:** Umidade relativa do ar (%) em 950 hPa, para o dia 17/10/2009, onde: a) 00Z, b) 06Z, c) 12Z, d) 18Z. O polígono vermelho delimita a região SA, e o ponto vermelho indica onde o caso está localizado.

Este caso, assim como o caso em CA, também mostrou configuração interessante quanto ao cisalhamento vertical do vento, divergência em 200 hPa e umidade relativa do ar, dando melhor embasamento ao emprego dos parâmetros normalmente utilizados em latitudes médias.



## 5. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

Diversos estudos anteriores constataram presença de eventos severos na região da floresta Amazônica, porém, nenhum deles apresentou uma climatologia específica para a região. Saber como se comporta o ciclo anual e diário dos eventos severos é fundamental para o setor operacional dos centros de previsão, planejamento governamental e órgãos como Defesa Civil. Primeiramente, diante da vasta base de dados PF utilizada para encontrar casos de tempo potencialmente severo, foi necessário desenvolver um critério de seleção. O critério aqui estabelecido (sistemas com 80 *pixels* ou mais com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 250\text{ K}$ ; sistemas com 1 *pixel* ou mais com  $PCT_{85\text{ GHz}} < 100\text{ K}$ ; sistemas com volume de chuva convectiva maior do que 1000 mm/h km<sup>2</sup>; sistemas com pelo menos um registro de raio) mostrou-se bastante satisfatório, já que a análise das taxas de raios indicou grande número de casos classificados como extremos.

Através deste critério identificou-se, ao longo do período de 1998-2012, um total de 1560 casos. O ciclo anual mostra menor ocorrência nos meses de Maio e Junho, e maior ocorrência entre Setembro e Novembro. O mês de Outubro foi o mês com maior número de casos (230) e Fevereiro o menor (74), dentro dos limites 20°S - 10°N e 80°W - 40°W. Considerando-se as estações do ano, a primavera destaca-se como sendo a estação com maior número de casos severos (581), e o inverno o segundo maior número (350). A estação com menor ocorrência é o verão (282 casos), seguida pelo outono (348 casos). Além disto, as análises a respeito da área dos sistemas ( $PCT_{85\text{ GHz}} < 250\text{ K}$ ), área do núcleo mais frio ( $PCT_{85\text{ GHz}} < 100\text{ K}$ ) e taxa de raios (raio/min) mostraram que a maioria dos sistemas severos têm área total de até 10000 km<sup>2</sup>, área do núcleo mais frio de até 200 km<sup>2</sup> e taxa de raio de 30 raios/min, para todos os meses. As taxas de raios aumentam nos meses em que a ocorrência é maior.

Condições de ambiente de severo tais como formação de granizo, registro de tornados e frentes de rajadas estão comumente associadas com um aumento acentuado nas taxas de raios total das tempestades elétrica. As taxas de raios aqui encontradas aumentam nos meses em que o número de casos aumenta (Setembro, Outubro e Novembro), chegando até 210 raios/min em Outubro. Além disto, é possível encontrar sistemas com até 276 raios/min. Estes valores são bastantes

significativos quando comparados a taxas de raios encontradas por outros autores e consideradas representativas de eventos extremos (a partir de 47,2 raios/min).

Devido à vasta extensão territorial da Amazônia, utilizou-se, ainda, uma subdivisão que a separa em seis partes: WAS (*Southern part of Western Amazonia*), WAN (*Northern part of Western Amazonia*), GS (*Guyana Shield*), CA (*Central Amazonia*), EA (*Eastern Amazonia*) e SA (*Southern Amazonia*). A ocorrência dos casos severos dentro da delimitação de cada uma das sub-regiões foi contabilizada, sendo que as sub-regiões WAS, WAN, CA e SA possuem o mesmo comportamento quando analisa-se a distribuição do número de casos por trimestres (JFM, AMJ, JAS, OND) onde o trimestre com maior ocorrência corresponde a OND. Já as sub-regiões GS e EA tem comportamentos distintos: maior ocorrência em JAS e JFM, respectivamente. A sub-região EA contabiliza menor número de casos (71, com maior frequência no trimestre JAS) e SA o maior número (271, com maior frequência no trimestre de OND). O horário (hora local) em que estes casos são mais frequentes, em todos os trimestres, é entre 13 e 18 horas, principalmente para OND. A região WAS destaca-se por grande número de ocorrência de casos potencialmente severos no período noturno (49 casos entre 0 a 5 horas local) e a região SA destaca-se em Outubro pelo elevado número de casos severos disparados a partir de 12 horas local.

Casos ocorridos em Outubro, a partir de 12 horas local, foram escolhidos para serem investigados através de composições com dados da reanálise, comparando as regiões sul (SA) e central (CA) da Amazônia. Através do cálculo e análise de parâmetros de ambiente severo (cisalhamento vertical do vento entre 500-850 hPa, divergência do vento em 200 hPa, divergência do vento em 950 hPa e umidade relativa do ar em 950 hPa) destaca-se que para a sub-região SA, que tem o maior número de casos, o cisalhamento vertical médio do vento e a convergência média do vento em baixos níveis são mais significativos, e portanto, importantes, do que para a sub-região CA. Já para a sub-região CA a divergência em altos níveis e a umidade relativa são mais importantes do que para SA.

Para melhor explorar o comportamento das duas regiões, escolheu-se um caso ocorrido em cada região. As análises sinóticas para os dias de ocorrência destes casos permitem reiterar a importância dos parâmetros de cisalhamento vertical do vento entre 500-850 hPa, divergência do vento em 200 hPa, divergência

do vento em 950 hPa e umidade relativa do ar em 950 hPa na identificação de tempo severo na Amazônia. O caso do dia 20/10/2004, ocorrido na sub-região CA, mostrou um ambiente sinótico com valores altos de cisalhamento vertical do vento (até 14 m/s), intensa divergência do vento em altos níveis nos horários que antecedem a formação ( $15 \text{ s}^{-1}$ ) e umidade relativa alta (90%). Já o caso da sub-região SA, registrado em 17/10/2009 formou-se em ambiente com forte cisalhamento vertical, alta umidade relativa e convergência do vento em baixos níveis. De forma geral, os quatro parâmetros indicativos de ambiente severo foram significativos para os estudos de casos de ambas sub-regiões.

Algumas questões importantes a respeito do tempo severo na Amazônia ainda ficaram em aberto no presente estudo, sugere-se fortemente que trabalhos futuros deem continuação na pesquisa no sentido de: 1) comparar valores dos parâmetros de cisalhamento do vento entre 500-850 hPa, divergência do vento em 200 e 950 hPa e umidade relativa do ar em 950 hPa para sistemas não severos (que ficaram de fora na seleção do critério) com os valores encontrados para os casos considerados severos; 2) investigar a questão da instabilidade no ambiente das tempestades severas aqui encontradas, através de radiossondagens próximas aos eventos, analisando valores de CAPE e CINE; 3) determinar velocidade de rajada de vento em superfície para casos específicos, por exemplo, quando uma tempestade passa por cima de uma estação meteorológica com registro automático de alta resolução, para verificar se as tempestades selecionadas pelo critério aqui desenvolvido, de fato, possuem rajadas de ventos intensas em superfície; 4) analisar, através de estudos de casos, padrão sinótico de sistemas com altas taxas de raios e 5) investigar qual tipo de configuração sinótica e ambiente está associado aos os casos noturnos da região WAS, pois apesar encaixarem-se no critério de tempo severo estabelecido no presente estudo, possuem um horário de ocorrência bastante diferenciado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, D. K.; SOUZA, E. P.; COSTA, A. A. C.: Convecção úmida na Amazônia: implicações para modelagem numérica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Vol. 24, n.2. JUNHO/2009, 168-178, 2009.

ALCÂNTARA, C. R., SILVA DIAS, M. A. F.; SOUZA, E. P.; COHEN, J. C.P.: Verification of the role of the low level jets in Amazon squall lines. *Atmospheric Research*, 100, 36-4, 2011.

ANSELMO, E.: Morfologia das tempestades elétricas na América do Sul. Tese de doutorado em Meteorologia, Universidade de São Paulo. 2015.

BETTS, A. K.; SILVA DIAS, M. A. F.: Progress in Understanding Land – Surface – Atmosphere coupling from LBA Research. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, v. 2, 20pp, 2009.

CAREY, L. D.; RUTLEDGE, S. A. Electrical and multiparameter radar observations of a severe hailstorm. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*, Wiley Online Library, v. 103, n. D12, p. 13979–14000, 1998.

CARLSON, T. N.; LUDLAM, F. H.: Conditions for the occurrence of severe local storms. *Tellus* 20, 203-26, 1968.

COHEN, J. C. P.; 1996: Mecanismo de propagação e estrutura das linhas de instabilidade da Amazônia. Tese de doutorado em meteorologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 173.

COHEN, J.C.P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A.: Aspectos

climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. *Boletim Climanálise*, 4 (11), 34-40, 1989.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A.: Environmental Conditions Associated With Amazonian Squall Lines: A Case Study. *Monthly Weather Review*, v.123, 3163-3174, 1995.

CONFORTE, J, C., 1997: Um estudo de complexos convectivos de mesoescala sobre a America do Sul. Tese de Doutorado, INPE, 131 pp.

CPTEC/INPE, Boletim Climanálise de outubro/2004, número 10, volume 19, disponível em [http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1004/sistemas\\_frontais.html](http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1004/sistemas_frontais.html).

CPTEC/INPE, Boletim Climanálise de outubro/2009, número 10, volume 24, disponível em <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1009.shtml>.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.: Uma Revisão geral do clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, 28(2): 101-126, 1998.

Fu, R.; Li, W.: The influence of the land surface on the transition from dry to wet season in Amazonia. *Theoretical and Applied Climatology*, Volume 78, Issue 1-3, pp 97-110, doi: 10.1007/s00704-004-0046-7, 2004.

GARSTANG, M.; WHITE, S.; SHUGART, H. H.; HALVERSON, J.: Convective cloud downdrafts as the cause of large blowdowns in the Amazon rainforest. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 67, 199-212, 1998.

GILLE, F. S. S.; MOTA, M. A. S.: Influências das condições termodinâmicas nos eventos de precipitação na cidade de Belém e Região Metropolitana. *Revista*

*Brasileira de Meteorologia* (Impresso), v. 29, p. 73-82, 2014.

INMET, Normais climatológicas 1961-1990, <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> acessado em 13/02/2015

JAMES, R. P.; MARKOWSKI, P. M.: A numerical investigation of the effects of dry air aloft on quase-linear convective systems. *Monthly Weather Review*, v. 138, n. 1, p 140-161, 2010

JOHNS, R. H.; DOSWELL, C. A.: III Severe Local Storm Forecasting. *Weather and Forecasting*, 7, 588-612, 1992.

KOUSKY, V. E.: Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 108, 488-498, 1980.

LIMA, A. A., MACHADO, L. A. T., LAURENT, H.: Análise da cobertura de nuvens e suas relações com a divergência do vento em altos níveis durante o WETAMC/LBA. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, 2000, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBMET, 2000. 1 CD-ROM.

LIU, C.; ZIPSER, E. J.; CECIL, D. J.; NESBITT, S. W.; SHERWOOD, S.: A Cloud and Precipitation Feature Database from Nine Years of TRMM Observations. *Journal Applied Meteorology and Climatology*, 47, 2712–2728. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2008JAMC1890.1>, 2008

LIU, C.: Description of products in University of Utah Database, disponível em <<http://www.atmos.illinois.edu/~snesbitt/webdocs/pf6.1.pdf>>, 2007

MACGORMAN, D. R.; BURGESS, D. W.; MAZUR, V.; RUST, W. D.; TAYLOR,

W. L.; JOHNSON, B. C. Lightning rates relative to tornadic storm evolution on 22 may 1981. *Journal of the atmospheric sciences*, v. 46, n. 2, p. 221–251, 1989.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.: Clima da Região Amazônica. In: Eds I. Cavalcanti, N. Ferreira, M.A. Silva Dias, M. A. Justi. (Org). *Tempo e Clima no Brasil*. 1ed São Paulo: Oficina de Textos, v.1, p.181-194, 2009.

MILLS, G. A.; CONQUHOUN J. R.: Objective Prediction of Severe Thunderstorm Environments: Preliminary Results Linking a Decision Tree with an Operational Regional NWP Model. *Weatherand Forecasting*, 13, 1078–1092, 1998.

MOLION, L.C.B.: Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2(1): 107 - 117 1987;

MOLION, L. C. B.: Amazonia rainfall and its variability. In: Hydrology and water management in the humid tropics". Bonell, M., Hufschmidt, M.M., Gladwell, J.S. (eds.). *International Hydrology Series*, Cambridge University Press, Cambridge, ReinoUnido, p. 99 - 111, 1993.

MOLLER, A. R.: Severe local storms forecasting. In: Severe Convective Storms, C. A. Doswell III (Ed.), *American Meteorological Society Monographs* v. 28, n. 50, p. 433-480, 2001.

MOHR, K. I.; ZIPSER, E. J.: Mesoscale convective systems defined by their 85-GHz ice scattering signature: Size and intensity comparison over tropical oceans and continents. *Monthly Weather Review*, 124, 2417–2437, 1996.

NASCIMENTO, E. L.: Previsão de Tempestades Severas utilizando-se Parâmetros Convectivos e Modelos de Mesoescala: Uma Estratégia Operacional Adotável no Brasil?. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2004.

NASDA – National Space Development Agency of Japan, Earth Observation Center: TRMM. *Data Users Handbook*, 2001.

NELSON, B. W.; KAPOS V.; ADAMS J. B.; OLIVEIRA W. J.; BRAUN O. P. G.; AMARAL, I. L.: Forest disturbance by large blowdowns in the Brazilian Amazon. *Ecology* 75:853–858, 1994.

NESBITT, S. W.; ZIPSER, E. J.; CECIL, D. J.: A Census of Precipitation Features Using TRMM: Radar, Ice Scattering, and Lightning Observations. *Journal of Climate*, 13, 4087–4106.s, 2000

NOBRE, C.: The Amazon and climate. Proceedings of Climate Conference for latin America and the Caribbean, World Meteorological Organization, Geneva, 1983.

NOBRE, C. A., OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A.: Características do Clima Amazônico: Aspectos Principais. *Amazonia and Global Change Geophysical Monograph Series*, 186, 10.1029/2008GM000720, 2009.

POTVIN, C. K.; ELMORE, L. K.; WEISS, S. J.: Assessing the Impacts of Proximity Sounding Criteria on the Climatology of Significant Tornado Environments. *Wea. Forecasting*, **25**, 921–930, 2010.

QUADRO, M. F. L.; BERBERY, E. H.; SILVA DIAS, M. A. F.; HERDIES, D. L.; GONÇALVES, L. G. G.: The atmospheric water cycle over South America as seen in the new generation of global reanalyses. AIP Conference Proceedings, 732:732-735.

RAUPP, C. F M ; DIAS, P. L. S.: Effects of nonlinear processes on the inter-hemispheric energy propagation forced by tropical heat sources. *Revista Brasileira de Meteorologia* (Impresso), v. 19, n.2, p. 177-188, 2004.



RICKENBACH, T. M.: Nocturnal cloud systems and the diurnal variation of clouds and rainfall in Southwestern Amazonia. *Monthly Weather Review*, v. 132, n. 5, p. 1201-1219, 2004.

SAHA, S. et. al: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*. Revised: March 25, 2010.

SANTOS NETO, L. A. Análise Observacional das Linhas de Instabilidade Formadas na Costa Norte-Nordeste da América do Sul. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Meteorologia da Universidade Federal do Pará, 41 pp, fevereiro de 2004.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; Zipser, E. J.: Mesoscale convective systems over Southeastern South America and their relationship with the South American Low Level Jet. *Monthly Weather Review*. 135, 1290-1309, 2007.

SERRA, A.; RASTIBONA, L.: As massas de ar da América do Sul. Ministério da Agricultura, Serviço de Meteorologia. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 32p, 1942.

SILVA DIAS, M. A. F.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T.: Complexos convectivos de mesoescala na América do sul. In: I. Cavalcanti; N.J. Ferreira, M.A.F. Silva Dias; M.G.A. Justo da Silva. (Org). *Tempo e Clima no Brasil*. 1ed São Paulo: Oficina de Textos, v.1, p.181-194, 2009.

SILVA DIAS, M. A. F.: Índices de instabilidade para previsão de chuva e tempestades severas. Notas de aula, <http://www.master.iag.usp.br>. Departamento de Ciências Atmosféricas/IAG-USP, março, 2000.

SPENCER, R. W.: A satellite passive 37-GHz scattering-based method for measuring oceanic rain rates. *Journal Applied of Meteorology*, 25, 754-766, doi:

10.1175/1520-0450 (1986)025<0754: ASPGSSB>2.0. CO;2, 1986.

STEEGE ET. AL., H. et. al.: Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora *Science* 342, 1243092 (2013). DOI: 10.1126/science.1243092, 2013.

TORRES, J.C.; NICOLINI, M.: A composite of Mesoscale Convective Systems over souther South America and its relationship to low-level jet events. Conference on South American low-level jet, CD-ROM, Santa Cruz de la Serra, 2002.

THOMPSON, R. L. Explanation of SPC severe weather parameters. Storm Prediction Center, EUA, 2002. (Disponível em: <http://www.spc.noaa.gov/sfctest/help/sfcoa.html>).

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M.: Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, 92: 9591-9613, 1987.

VIVEKENANDAN, J.; TURK, J.; BRINGI, V. N. Ice water path estimation and characterization using passive microwave radiometry. *Journal of Applied Meteorology*, 30, 1407–1421, 1991.

WILLIAMS, E. R. The tripole structure of thunderstorms. *Journal of Geophysical Research*, n. 94, p. 13.151–13.167, sep. 1989.

ZIPSER, E. J.; LIU, C.; CECIL D. J., NESBITT, S. W.; YORTY, D. P. Where are the most intense thunderstorms on Earth?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Volume 87, Issue 8 (August 2006) pp. 1057-1071, 2006.

## APÊNDICE A – Valores pontuais dos parâmetros para casos de tempo severo

**Tabela A.1-** Valores pontuais dos parâmetros para casos ocorridos no mês de outubro, de 1998-2010, a partir de 12 hora local, na região CA, às 00Z; onde: hora = hora GMT, lat = latitude, lon = longitude, Volume = volume de chuva do sistema (mm/h km<sup>2</sup>), cis=cisalhamento vertical do vento entre os níveis de 500-850 hPa (m/s), Div 1 = divergência do vento em 200 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>), Div 2 = divergência do vento em 950 hPa(10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>) e Ur950 = umidade relativa do ar em 950 hPa (%).

Região CA – Mês de outubro – 00Z										
Caso	Dia	Ano	Hora	Lon	Lat	Volume	Cis	Div 1	Div 2	Ur950
1	12	1998	17,9497	-65,7832	-1,15127	35252,2	4	2	-2	70
2	20	2003	23,8739	-69,7399	-5,86275	43512,4	2	2	-6	60
3	18	2004	20,6619	-69,2511	-7,95895	130848	8	3	4	60
4	19	2004	19,7306	-69,5525	-3,5806	7887,66	10	1	-5	40
5	20	2004	18,8231	-63,1883	-2,19792	15527	8	3	-3	80
6	8	2005	19,6844	-68,727	-3,3667	62507,1	10	1	-4	50
7	10	2005	17,89	-56,0294	-2,97129	17490,8	6	-2	3	50
8	28	2005	22,5139	-69,3011	-6,28615	19658,1	4	-2	-3	60
9	29	2005	21,5964	-64,8811	-3,586	20577,9	6	8	4	70
10	29	2005	21,6194	-61,7345	-7,84085	15722,4	4	-2	-2	50
11	22	2006	19,5083	-62,8994	-2,78528	12350,4	6	2	-10	50
12	25	2006	18,3469	-68,5545	-2,94827	17140,8	4	4	2	60
13	24	2008	20,9436	-65,3614	-6,10484	13184,8	6	3	-5	70
14	15	2009	19,1481	-58,4006	-5,87333	34352,8	6	2	4	70
15	31	2010	18,6928	-66,2438	-4,5137	264096	2	2	-4	60

**Tabela A.2-** Valores pontuais dos parâmetros para casos ocorridos no mês de outubro, de 1998-2010, a partir de 12 hora local, na região CA, às 06Z; onde: hora = hora GMT, lat = latitude, lon = longitude, Volume = volume de chuva do sistema (mm/h km<sup>2</sup>), cis=cisalhamento vertical do vento entre os níveis de 500-850 hPa (m/s), Div 1 = divergência do vento em 200 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>), Div 2 = divergência do vento em 950 hPa(10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>) e Ur950 = umidade relativa do ar em 950 hPa (%).

Região CA – Mês de outubro – 06Z										
Caso	Dia	Ano	Hora	Lon	Lat	Volume	Cis	Div 1	Div 2	Ur950
1	12	1998	17,9497	-65,7832	-1,15127	35252,2	4	4	2	70
2	20	2003	23,8739	-69,7399	-5,86275	43512,4	6	4	-2	90
3	18	2004	20,6619	-69,2511	-7,95895	130848	8	3	6	60
4	19	2004	19,7306	-69,5525	-3,5806	7887,66	10	1	-5	60
5	20	2004	18,8231	-63,1883	-2,19792	15527	14	15	4	90
6	8	2005	19,6844	-68,727	-3,3667	62507,1	6	1	3	70
7	10	2005	17,89	-56,0294	-2,97129	17490,8	2	1	-3	50
8	28	2005	22,5139	-69,3011	-6,28615	19658,1	4	-3	-3	60
9	29	2005	21,5964	-64,8811	-3,586	20577,9	6	-2	4	70
10	29	2005	21,6194	-61,7345	-7,84085	15722,4	8	2	-4	60
11	22	2006	19,5083	-62,8994	-2,78528	12350,4	4	7	-2	70
12	25	2006	18,3469	-68,5545	-2,94827	17140,8	8	3	-2	70
13	24	2008	20,9436	-65,3614	-6,10484	13184,8	8	2	2	80
14	15	2009	19,1481	-58,4006	-5,87333	34352,8	8	7	-2	80
15	31	2010	18,6928	-66,2438	-4,5137	264096	12	-5	-3	80

**Tabela A.3-** Valores pontuais dos parâmetros para casos ocorridos no mês de outubro, de 1998-2010, a partir de 12 hora local, na região CA, às 12Z; onde: hora = hora GMT, lat = latitude, lon = longitude, Volume = volume de chuva do sistema (mm/h km<sup>2</sup>), cis=cisalhamento vertical do vento entre os níveis de 500-850 hPa (m/s), Div 1 = divergência do vento em 200 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>), Div 2 = divergência do vento em 950 hPa(10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>) e Ur950 = umidade relativa do ar em 950 hPa (%).

Região CA – Mês de outubro – 12Z										
Caso	Dia	Ano	Hora	Lon	Lat	Volume	Cis	Div 1	Div 2	Ur950
1	12	1998	17,9497	-65,7832	-1,15127	35252,2	6	5	1	70
2	20	2003	23,8739	-69,7399	-5,86275	43512,4	6	6	2	90
3	18	2004	20,6619	-69,2511	-7,95895	130848	12	1	-6	60
4	19	2004	19,7306	-69,5525	-3,5806	7887,66	6	-1	-5	70
5	20	2004	18,8231	-63,1883	-2,19792	15527	8	-10	-6	70
6	8	2005	19,6844	-68,727	-3,3667	62507,1	6	-1	2	70
7	10	2005	17,89	-56,0294	-2,97129	17490,8	6	-2	-2	60
8	28	2005	22,5139	-69,3011	-6,28615	19658,1	10	-4	2	90
9	29	2005	21,5964	-64,8811	-3,586	20577,9	10	2	-1	70
10	29	2005	21,6194	-61,7345	-7,84085	15722,4	14	-2	-1	80
11	22	2006	19,5083	-62,8994	-2,78528	12350,4	4	-2	-7	70
12	25	2006	18,3469	-68,5545	-2,94827	17140,8	10	-2	-3	80
13	24	2008	20,9436	-65,3614	-6,10484	13184,8	6	3	2	80
14	15	2009	19,1481	-58,4006	-5,87333	34352,8	14	-4	-2	80
15	31	2010	18,6928	-66,2438	-4,5137	264096	8	3	-3	90

**Tabela A.4-** Valores pontuais dos parâmetros para casos ocorridos no mês de outubro, de 1998-2010, a partir de 12 hora local, na região CA, às 18Z; onde: hora = hora GMT, lat = latitude, lon = longitude, Volume = volume de chuva do sistema (mm/h km<sup>2</sup>), cis=cisalhamento vertical do vento entre os níveis de 500-850 hPa (m/s), Div 1 = divergência do vento em 200 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>), Div 2 = divergência do vento em 950 hPa(10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>) e Ur950 = umidade relativa do ar em 950 hPa (%).

Região CA – Mês de outubro – 18Z										
Caso	Dia	Ano	Hora	Lon	Lat	Volume	Cis	Div 1	Div 2	Ur950
1	12	1998	17,9497	-65,7832	-1,15127	35252,2	8	-5	-1	60
2	20	2003	23,8739	-69,7399	-5,86275	43512,4	6	3	2	70
3	18	2004	20,6619	-69,2511	-7,95895	130848	12	-2	4	50
4	19	2004	19,7306	-69,5525	-3,5806	7887,66	8	2	-5	40
5	20	2004	18,8231	-63,1883	-2,19792	15527	6	-4	2	60
6	8	2005	19,6844	-68,727	-3,3667	62507,1	0	2	4	50
7	10	2005	17,89	-56,0294	-2,97129	17490,8	6	4	2	30
8	28	2005	22,5139	-69,3011	-6,28615	19658,1	12	5	10	80
9	29	2005	21,5964	-64,8811	-3,586	20577,9	6	-4	-4	60
10	29	2005	21,6194	-61,7345	-7,84085	15722,4	6	-2	-2	50
11	22	2006	19,5083	-62,8994	-2,78528	12350,4	4	2	2	60
12	25	2006	18,3469	-68,5545	-2,94827	17140,8	6	-2	-2	60
13	24	2008	20,9436	-65,3614	-6,10484	13184,8	8	3	2	90
14	15	2009	19,1481	-58,4006	-5,87333	34352,8	6	4	1	90
15	31	2010	18,6928	-66,2438	-4,5137	264096	4	-3	-2	90

**Tabela A.5-** Valores pontuais dos parâmetros para casos ocorridos no mês de outubro, de 1998-2010, a partir de 12 hora local, na região SA, às 00Z; onde: hora = hora GMT, lat = latitude, lon = longitude, Volume = volume de chuva do sistema (mm/h km<sup>2</sup>), cis=cisalhamento vertical do vento entre os níveis de 500-850 hPa (m/s), Div 1 = divergência do vento em 200 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>), Div 2 = divergência do vento em 950 hPa(10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>) e Ur950 = umidade relativa do ar em 950 hPa (%).

Região SA – Mês de outubro – 00Z										
Caso	Dia	Ano	Hora	Lon	Lat	Volume	Cis	Div 1	Div 2	Ur950
1	7	1998	20,8481	-52,6842	-12,0818	42258,9	4	1	-7	30
2	15	1998	17,5992	-58,53	-17,5266	47299,8	8	-4	5	30
3	21	1998	23,2872	-58,7944	-13,7235	15273,2	6	-1	-4	40
4	11	1999	21,1161	-56,876	-6,33549	17102,9	10	2	7	30
5	15	1999	19,4947	-59,7975	-9,71464	61286,4	8	1	7	30
6	18	1999	17,4994	-53,2355	-8,57115	89639,4	12	-2	3	40
7	21	1999	17,0861	-59,2415	-16,373	87963,8	6	5	5	30
8	28	1999	23,1511	-64,8147	-9,7283	58582,3	8	-3	3	40
9	31	1999	21,1458	-61,3765	-11,9335	26880	6	-5	-3	40
10	20	2000	18,9389	-58,1021	-8,3906	33530,1	8	2	4	30
11	21	2001	22,1531	-60,091	-10,681	21583,2	10	2	-3	40
12	23	2001	20,3333	-49,9338	-8,94904	50140,3	2	-2	-2	40
13	24	2001	19,415	-47,0636	-6,81537	11263,7	6	2	-3	60
14	31	2001	16,1864	-49,1503	-8,63892	14334,5	9	2	3	50
15	2	2003	20,9586	-52,6864	-5,59389	21784,7	2	2	-5	70
16	20	2003	22,2989	-52,8333	-10,4976	38685,3	6	2	3	50
17	26	2003	19,9731	-62,346	-8,84259	27110,3	8	2	3	60
18	17	2004	20,0289	-51,816	-6,36842	30620,6	6	1	5	40
19	17	2004	20,0383	-50,1621	-8,53986	58754,5	6	-1	-3	40
20	24	2004	16,8064	-50,3216	-10,155	14051,7	6	-3	3	50
21	24	2004	16,815	-48,5859	-11,4601	27787,9	8	-7	8	40
22	4	2005	20,1872	-51,4252	-7,01804	21479,4	8	-1	-6	50
23	7	2005	19,0092	-57,779	-8,18182	19798,5	8	-1	4	30
24	23	2005	23,9581	-51,6595	-6,88536	68620,2	8	2	-5	40
25	30	2005	20,7392	-50,5422	-10,9067	63675,1	6	-3	4	50
26	24	2006	17,6744	-56,8373	-6,8486	31994,3	4	4	6	40
27	9	2007	21,4397	-54,1955	-6,3698	22690,2	8	4	-3	40
28	27	2007	22,7356	-56,7387	-11,1145	14216,5	10	4	3	30
29	29	2007	20,8719	-54,0966	-17,284	24420	6	3	3	30
30	31	2007	20,6361	-58,3304	-13,6337	7985,34	6	2	-5	50
31	21	2008	22,1667	-50,9654	-11,4911	127566	10	2	3	70
32	13	2009	19,3894	-50,1685	-8,58837	11493,7	6	3	3	90
33	13	2009	19,3933	-49,439	-7,89385	21784,7	12	-3	3	90
34	17	2009	17,2803	-59,597	-13,7858	6550,67	11	2	-2	90
35	3	2010	21,7381	-60,9451	-8,00394	10559,6	8	-4	3	100
36	8	2010	18,7581	-52,2441	-8,44199	32710,6	3	-1	-10	30
37	31	2010	17,1131	-50,5205	-9,80395	25830,3	4	9	3	60

**Tabela A.6-** Valores pontuais dos parâmetros para casos ocorridos no mês de outubro, de 1998-2010, a partir de 12 hora local, na região SA, às 06Z; onde: hora = hora GMT, lat = latitude, lon = longitude, Volume = volume de chuva do sistema (mm/h km<sup>2</sup>), cis=cisalhamento vertical do vento entre os níveis de 500-850 hPa (m/s), Div 1 = divergência do vento em 200 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>), Div 2 = divergência do vento em 950 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>) e Ur950 = umidade relativa do ar em 950 hPa (%).

Região SA – Mês de outubro – 06Z										
Caso	Dia	Ano	Hora	Lon	Lat	Volume	Cis	Div 1	Div 2	Ur950
1	7	1998	20,8481	-52,6842	-12,0818	42258,9	8	-3	5	30
2	15	1998	17,5992	-58,53	-17,5266	47299,8	7	-1	3	30
3	21	1998	23,2872	-58,7944	-13,7235	15273,2	2	-2	2	60
4	11	1999	21,1161	-56,876	-6,33549	17102,9	10	-2	-6	30
5	15	1999	19,4947	-59,7975	-9,71464	61286,4	2	1	6	30
6	18	1999	17,4994	-53,2355	-8,57115	89639,4	4	1	6	70
7	21	1999	17,0861	-59,2415	-16,373	87963,8	8	1	5	40
8	28	1999	23,1511	-64,8147	-9,7283	58582,3	12	-2	6	40
9	31	1999	21,1458	-61,3765	-11,9335	26880	2	-2	-9	50
10	20	2000	18,9389	-58,1021	-8,3906	33530,1	9	1	-2	40
11	21	2001	22,1531	-60,091	-10,681	21583,2	12	2	-2	50
12	23	2001	20,3333	-49,9338	-8,94904	50140,3	2	-3	3	50
13	24	2001	19,415	-47,0636	-6,81537	11263,7	10	-1	-9	60
14	31	2001	16,1864	-49,1503	-8,63892	14334,5	10	2	-2	60
15	2	2003	20,9586	-52,6864	-5,59389	21784,7	4	-3	3	70
16	20	2003	22,2989	-52,8333	-10,4976	38685,3	10	-1	-4	50
17	26	2003	19,9731	-62,346	-8,84259	27110,3	2	-1	-3	50
18	17	2004	20,0289	-51,816	-6,36842	30620,6	8	2	-5	50
19	17	2004	20,0383	-50,1621	-8,53986	58754,5	4	-1	-5	50
20	24	2004	16,8064	-50,3216	-10,155	14051,7	8	-2	-2	50
21	24	2004	16,815	-48,5859	-11,4601	27787,9	10	2	3	40
22	4	2005	20,1872	-51,4252	-7,01804	21479,4	6	1	-3	70
23	7	2005	19,0092	-57,779	-8,18182	19798,5	6	2	3	40
24	23	2005	23,9581	-51,6595	-6,88536	68620,2	8	3	3	60
25	30	2005	20,7392	-50,5422	-10,9067	63675,1	6	7	-5	50
26	24	2006	17,6744	-56,8373	-6,8486	31994,3	8	2	7	50
27	9	2007	21,4397	-54,1955	-6,3698	22690,2	8	-2	3	60
28	27	2007	22,7356	-56,7387	-11,1145	14216,5	12	8	-2	80
29	29	2007	20,8719	-54,0966	-17,284	24420	6	-3	-2	40
30	31	2007	20,6361	-58,3304	-13,6337	7985,34	6	4	-3	70
31	21	2008	22,1667	-50,9654	-11,4911	127566	8	-5	3	70
32	13	2009	19,3894	-50,1685	-8,58837	11493,7	12	3	3	90
33	13	2009	19,3933	-49,439	-7,89385	21784,7	15	-3	-3	100
34	17	2009	17,2803	-59,597	-13,7858	6550,67	8	4	-2	100
35	3	2010	21,7381	-60,9451	-8,00394	10559,6	8	-5	-6	70
36	8	2010	18,7581	-52,2441	-8,44199	32710,6	6	1	-5	40
37	31	2010	17,1131	-50,5205	-9,80395	25830,3	6	5	2	90



**Tabela A.7-** Valores pontuais dos parâmetros para casos ocorridos no mês de outubro, de 1998-2010, a partir de 12 hora local, na região SA, às 12Z; onde: hora = hora GMT, lat = latitude, lon = longitude, Volume = volume de chuva do sistema (mm/h km<sup>2</sup>), cis=cisalhamento vertical do vento entre os níveis de 500-850 hPa (m/s), Div 1 = divergência do vento em 200 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>), Div 2 = divergência do vento em 950 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>) e Ur950 = umidade relativa do ar em 950 hPa (%).

Região SA – Mês de outubro – 12Z										
Caso	Dia	Ano	Hora	Lon	Lat	Volume	Cis	Div 1	Div 2	Ur950
1	7	1998	20,8481	-52,6842	-12,0818	42258,9	4	-4	-2	40
2	15	1998	17,5992	-58,53	-17,5266	47299,8	10	4	-3	50
3	21	1998	23,2872	-58,7944	-13,7235	15273,2	4	-2	-2	60
4	11	1999	21,1161	-56,876	-6,33549	17102,9	8	1	-6	40
5	15	1999	19,4947	-59,7975	-9,71464	61286,4	6	5	2	40
6	18	1999	17,4994	-53,2355	-8,57115	89639,4	7	-4	-2	70
7	21	1999	17,0861	-59,2415	-16,373	87963,8	6	-2	3	40
8	28	1999	23,1511	-64,8147	-9,7283	58582,3	12	-3	6	50
9	31	1999	21,1458	-61,3765	-11,9335	26880	2	-1	4	70
10	20	2000	18,9389	-58,1021	-8,3906	33530,1	12	-1	4	40
11	21	2001	22,1531	-60,091	-10,681	21583,2	10	1	-2	60
12	23	2001	20,3333	-49,9338	-8,94904	50140,3	6	4	-4	50
13	24	2001	19,415	-47,0636	-6,81537	11263,7	8	4	-3	70
14	31	2001	16,1864	-49,1503	-8,63892	14334,5	10	-2	-4	70
15	2	2003	20,9586	-52,6864	-5,59389	21784,7	6	4	-3	80
16	20	2003	22,2989	-52,8333	-10,4976	38685,3	6	1	-2	60
17	26	2003	19,9731	-62,346	-8,84259	27110,3	4	2	-4	70
18	17	2004	20,0289	-51,816	-6,36842	30620,6	10	-2	-6	70
19	17	2004	20,0383	-50,1621	-8,53986	58754,5	8	1	-2	50
20	24	2004	16,8064	-50,3216	-10,155	14051,7	12	-1	-2	50
21	24	2004	16,815	-48,5859	-11,4601	27787,9	10	-2	-4	50
22	4	2005	20,1872	-51,4252	-7,01804	21479,4	2	2	-2	70
23	7	2005	19,0092	-57,779	-8,18182	19798,5	5	1	-3	50
24	23	2005	23,9581	-51,6595	-6,88536	68620,2	8	-2	-3	60
25	30	2005	20,7392	-50,5422	-10,9067	63675,1	4	3	3	50
26	24	2006	17,6744	-56,8373	-6,8486	31994,3	4	3	-3	50
27	9	2007	21,4397	-54,1955	-6,3698	22690,2	4	4	2	80
28	27	2007	22,7356	-56,7387	-11,1145	14216,5	10	3	-1	70
29	29	2007	20,8719	-54,0966	-17,284	24420	8	2	-2	40
30	31	2007	20,6361	-58,3304	-13,6337	7985,34	6	-4	2	70
31	21	2008	22,1667	-50,9654	-11,4911	127566	10	3	2	70
32	13	2009	19,3894	-50,1685	-8,58837	11493,7	10	-3	-2	100
33	13	2009	19,3933	-49,439	-7,89385	21784,7	14	3	-2	100
34	17	2009	17,2803	-59,597	-13,7858	6550,67	8	4	-2	100
35	3	2010	21,7381	-60,9451	-8,00394	10559,6	3	3	-8	90
36	8	2010	18,7581	-52,2441	-8,44199	32710,6	2	-1	-6	50
37	31	2010	17,1131	-50,5205	-9,80395	25830,3	3	5	3	100

**Tabela A.8-** Valores pontuais dos parâmetros para casos ocorridos no mês de outubro, de 1998-2010, a partir de 12 hora local, na região SA, às 18Z; onde: hora = hora GMT, lat = latitude, lon = longitude, Volume = volume de chuva do sistema (mm/h km<sup>2</sup>), cis=cisalhamento vertical do vento entre os níveis de 500-850 hPa (m/s), Div 1 = divergência do vento em 200 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>), Div 2 = divergência do vento em 950 hPa (10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>) e Ur950 = umidade relativa do ar em 950 hPa (%).

Região SA – Mês de outubro – 18Z										
Caso	Dia	Ano	Hora	Lon	Lat	Volume	Cis	Div 1	Div 2	Ur950
1	7	1998	20,8481	-52,6842	-12,0818	42258,9	8	-1	-2	30
2	15	1998	17,5992	-58,53	-17,5266	47299,8	8	1	-2	30
3	21	1998	23,2872	-58,7944	-13,7235	15273,2	5	-2	-4	30
4	11	1999	21,1161	-56,876	-6,33549	17102,9	8	2	-2	30
5	15	1999	19,4947	-59,7975	-9,71464	61286,4	4	2	3	30
6	18	1999	17,4994	-53,2355	-8,57115	89639,4	6	-1	-3	30
7	21	1999	17,0861	-59,2415	-16,373	87963,8	4	1	-2	30
8	28	1999	23,1511	-64,8147	-9,7283	58582,3	9	-2	6	50
9	31	1999	21,1458	-61,3765	-11,9335	26880	2	-2	-2	30
10	20	2000	18,9389	-58,1021	-8,3906	33530,1	6	1	-2	40
11	21	2001	22,1531	-60,091	-10,681	21583,2	8	-2	-2	50
12	23	2001	20,3333	-49,9338	-8,94904	50140,3	3	2	3	50
13	24	2001	19,415	-47,0636	-6,81537	11263,7	5	5	4	40
14	31	2001	16,1864	-49,1503	-8,63892	14334,5	6	4	2	50
15	2	2003	20,9586	-52,6864	-5,59389	21784,7	6	2	3	50
16	20	2003	22,2989	-52,8333	-10,4976	38685,3	4	-1	2	90
17	26	2003	19,9731	-62,346	-8,84259	27110,3	2	-2	2	30
18	17	2004	20,0289	-51,816	-6,36842	30620,6	8	1	-4	50
19	17	2004	20,0383	-50,1621	-8,53986	58754,5	8	1	-5	50
20	24	2004	16,8064	-50,3216	-10,155	14051,7	8	2	-6	30
21	24	2004	16,815	-48,5859	-11,4601	27787,9	4	4	-3	40
22	4	2005	20,1872	-51,4252	-7,01804	21479,4	4	2	2	50
23	7	2005	19,0092	-57,779	-8,18182	19798,5	3	1	2	60
24	23	2005	23,9581	-51,6595	-6,88536	68620,2	2	-2	2	40
25	30	2005	20,7392	-50,5422	-10,9067	63675,1	4	-3	2	70
26	24	2006	17,6744	-56,8373	-6,8486	31994,3	5	3	-6	50
27	9	2007	21,4397	-54,1955	-6,3698	22690,2	4	2	2	50
28	27	2007	22,7356	-56,7387	-11,1145	14216,5	4	2	-2	30
29	29	2007	20,8719	-54,0966	-17,284	24420	2	-2	-4	40
30	31	2007	20,6361	-58,3304	-13,6337	7985,34	5	-4	2	100
31	21	2008	22,1667	-50,9654	-11,4911	127566	8	2	4	80
32	13	2009	19,3894	-50,1685	-8,58837	11493,7	12	4	-2	90
33	13	2009	19,3933	-49,439	-7,89385	21784,7	12	-3	-2	80
34	17	2009	17,2803	-59,597	-13,7858	6550,67	14	2	2	90
35	3	2010	21,7381	-60,9451	-8,00394	10559,6	4	2	-6	70
36	8	2010	18,7581	-52,2441	-8,44199	32710,6	8	-2	2	30
37	31	2010	17,1131	-50,5205	-9,80395	25830,3	6	3	-2	60

