



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**GIORDANI RAFAEL CONCEIÇÃO SODRÉ**

**ESTUDO DA CONVECÇÃO DE MESOESCALA EM DIFERENTES SUPERFÍCIES  
NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM-PA**

**2013**

**GIORDANI RAFAEL CONCEIÇÃO SODRÉ**

**ESTUDO DA CONVECÇÃO DE MESOESCALA EM DIFERENTES SUPERFÍCIES  
NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi; Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Física do Clima.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Isabel Vitorino

**BELÉM-PA**

**2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

S679e Sodre, Giordani Rafael Conceição

Estudo da convecção de mesoescala em diferentes superfícies na Amazônia Oriental / Giordani Rafael Conceição Sodré; Orientadora: Maria Isabel Vitorino - 2013.

74 f.; il

Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2013.

1. Precipitação (Meteorologia) - Amazônia. 2. Características de superfície. 3. Sistema convectivo de mesoescala circular. I. Vitorino, Maria Isabel, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22° ed.: 551.5772811

---


GIORDANI RAFAEL CONCEIÇÃO SODRÉ

ESTUDO DA CONVECÇÃO DE MESOESCALA EM DIFERENTES  
SUPERFÍCIES NA AMAZÔNIA ORIENTAL


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará; Museu Paraense Emílio Goeldi; Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Data da aprovação 30/04 / 2013  
Conceito: Bom

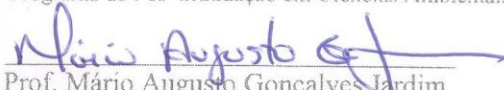
Banca Examinadora:



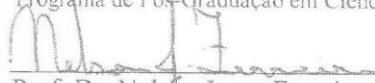
Prof.<sup>a</sup> Maria Isabel Vitorino - Orientadora  
Doutora em Meteorologia  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



Prof.<sup>a</sup> Julia Clarinda Paiva Cohen  
Doutora em Meteorologia  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



Prof. Mário Augusto Gonçalves Jardim  
Doutor em Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



Prof. Dr. Nelson Jesus Ferreira  
Doutor em Meteorologia  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

"Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar."  
(Anatole France)

## **AGRADECIMENTOS**

A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Isabel Vitorino pelo apoio científico, orientação e conselhos, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores que fizeram parte da minha banca de defesa, Dr.<sup>a</sup> Júlia Clarinda Paiva Cohen, Dr. Mario Augusto Gonçalves Jardim e ao Dr. Nelson Jesuz Ferreira, pelas correções e conselhos.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) pela oportunidade de cursar o mestrado e pelos conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pesquisa, que fundamental ao longo do curso.

## RESUMO

Este estudo se propõe realizar uma análise observacional dos sistemas convectivos de mesoescala circular (SCMC) em tempo-espaço na Amazônia Oriental, visando identificar como as diferentes superfícies interferem na gênese dos sistemas e o impacto da ocorrência do mesmo sobre o ambiente urbano. Para alcançar este objetivo, a Amazônia oriental foi dividida em quatro regiões distintas: região A (nordeste), região B (sudeste), região C (sudoeste), região D (noroeste), onde, com o uso de imagens de satélite, do aplicativo FORTRACC e os dados da técnica CMORPH, foram selecionados os eventos e calculado a excentricidade, tamanho, tempo de vida, horário preferencial de surgimento dos SCMC's e o volume pluviométrico precipitado. Os resultados mostraram que as regiões A e D concentraram 66% da ocorrência de SCMC's, os quais possuem maior frequência no período chuvoso. O horário preferencial, de formação dos sistemas, sofre variação de acordo com as características da superfície local. Na região litorânea (região A), os sistemas tendem a se formar no meio da tarde, com pico máximo no início da noite. Nas regiões mais distantes do litoral e de topografia elevada, como a região D, os SCMC's tendem a se formar no final tarde com pico máximo no início da madrugada. Contudo, o fator comum encontrado em todas as regiões foi à preferência pelas zonas de transição entre vegetação e áreas desmatadas para a ocorrência dos sistemas, principalmente ao longo da região do Arco do Desmatamento. O volume pluviométrico intenso e os fortes ventos provocados pelo SCMC em interação com os problemas físicos da superfície urbanizada geram um série de prejuízos socioambientais, dentre os quais, os mais frequentes são: destelhamentos de casas, alagamentos de ruas e residências e problemas no trânsito.

**Palavras-chave:** Sistema Convectivo de Mesoescala Circular. Características de Superfície. Precipitação. Amazônia Oriental.

## Abstract

This study proposes to conduct an observational analysis of circular mesoscale convective systems (SCMC) in space-time in the eastern Amazon, to identify how different surfaces affect the genesis of the systems and the impact of its occurrence on the urban environment. To accomplish this, the eastern Amazon was divided into four distinct regions: region A (northeast), region B (southeast), region C (southwest), D region (northwest), where, with the use of satellite images, the FORTRACC application and data technical CMORPH were selected events and calculated eccentricity, size, lifetime, preferred time of emergence of SCMC's rainfall volume and precipitated. The results showed that regions A and D concentrated 66% of the occurrence of SCMC's, which are more often during the rainy season. The preferred time of forming system suffers vary according to the characteristics of the local surface. In the coastal region (region A), the systems tend to form in the middle of the afternoon, with peak in the early evening. In the more remote regions of the coastline and topography high, as the region D, the SCMC's tend to form in the late afternoon with peak at dawn. However, the common factor found in all regions was the preference for transition zones between vegetation and cleared areas for the occurrence of the systems, especially along the region of the Arc of Deforestation. The volume heavy rainfall and strong winds caused by SCMC in interaction with the physical problems of urbanized surface yield a series of environmental damage, among which the most common are: destelhamentos homes, flooding streets and homes and traffic problems.

**Keywords:** Circular Mesoscale Convective System. Surface Characteristics. Precipitation. Eastern Amazon.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo conceitual de uma célula convectiva. a) Estagio de formação das nuvens cumulus; b) Estagio de maturação e intensificação do sistema; c) Estagio final ou de dissipação do sistemas.....	17
Figura 2 - Trajetória de SCMC's entre 1981e 1983 no continente americano. Na escala ao lado, observa-se os símbolos que representam a localização preferencial dos SCMC's em uma variação temporal mensal.....	20
Figura 3 - Composição dos SCMC's detectados nos trabalhos de Velasco e Fritsh (1987) (na cor vermelha), Conforte (1997) (cor cinza), Torres e Nicolini (2002) (amarelo) e Salio, Nicolini e Zipser (2007) (roxo).....	21
Figura 4 - Fotografia aérea do impacto sobre o ambiente urbano provocado por um forte evento de precipitação em 2011 no estado do Rio de Janeiro.....	29
Figura 5 - Fotografia aérea do Vale do Itajaí em Santa Catarina, após forte chuva em 2008..	30
Figura 6 - Imagem do satélite GOES no canal do infravermelho (a) e fotografia aérea para o evento de precipitação ocorrido em Alagoas e Pernambuco em 17/06/2010.....	31
Figura 7 - a) Localização da área de estudo. b) Microrregiões geográficas do estado do Pará. ....	32
Figura 8 - Representação municipal do estado do Pará (a), sua topografia e hidrografia (b), e cobertura vegetal (c) na Amazônia oriental. ....	34
Figura 9 - Fluxograma da sequência da seleção e análise dos SCMC's.....	37
Figura 10 - Exemplos de SCMC's observados na região equatorial, sobre o estado do Pará..	39
Figura 11 - Divisão da área de estudo em regiões. Região A (nordeste paraense); Região B (sudeste paraense); Região C (Sudoeste paraense) e Região D (Noroeste paraense).....	40
Figura 12 - Variação anual da área dos SCMC's para o período de janeiro de 2008 a dezembro de 2011. As cores representam a classificação proposta na Tabela 2. Onde a classificação foi expressa em cores (classificação 1 em azul, 2 em vermelho, 3 em verde e 4 em roxo). ....	43
Figura 13 - Tempo de Vida dos 143 SCMC's observados entre janeiro de 2008 a maio de 2012.....	43
Figura 14 - a) Anomalia de TSM do OPA; b) TSM do OPA durante um evento de La Niña fraco; c) TSM do OPA durante a ocorrência de um evento de El Niño forte; d) TSM do OPA durante a ocorrência de um La Niña forte e a TSM do OAT durante a ocorrência do Dipolo positivo.....	44

- Figura 15 – Variação interanual da intensidade da circulação média horizontal no nível de 925hPa sobre a região amazônica (a); (b); (c); (d). Variação interanual da intensidade da circulação média vertical sobre a região amazônica (e); (f); (g); (h)..... 45
- Figura 16 – As imagens a); b); c) e d) mostram a distribuição espacial do total anual dos SCMC's no período de janeiro de 2008 a Dezembro de 2011, conforme tabela 2 de classificação..... 47
- Figura 17 - a) Horário preferencial de surgimento de SCMC's no estado do Pará; b) Horário preferencial de surgimento da região nordeste da Amazônia oriental (A); c) Horário preferencial de surgimento da região noroeste da Amazônia oriental (D)..... 49
- Figura 18 - Variação sazonal (Período chuvoso e menos chuvoso) da frequência do SCMC's ocorridos durante os anos de 2008 a 2011. .... 50
- Figura 19 - Variação do relevo e hidrografia das regiões de estudo, onde A (nordeste), B (sudeste), C (sudoeste) e D (noroeste) da região da Amazônia oriental. .... 51
- Figura 20 - Variação do quantitativo de SCMC's entre o Período Chuvoso e Período Menos Chuvoso as regiões nordeste (A), noroeste (D), sudeste (B) e sudoeste (C) da Amazônia oriental..... 52
- Figura 21 - a) Variação da Umidade Relativa na cidade de Belém (Norte do estado do Pará); b) Variação da Umidade Relativa na cidade de Conceição do Araguaia durante (Sul do estado do Pará). .... 52
- Figura 22 - Variação do número de SCMC's por região, onde: A (região nordeste), B (região sudeste), C (região sudoeste) e D (região noroeste) da Amazônia oriental. .... 53
- Figura 23 - a) Composição dos SCMC's observados de janeiro de 2008 a maio de 2012, seguindo a classificação por Tamanho, proposta na Tabela 2; b) índice de desmatamento na região da Amazônia oriental visualizada por satélite até o ano de 2011. .... 54
- Figura 24 - Imagem do SCMC ocorrido sobre a região nordeste do Pará no dia 30 de dezembro 2009, observado no Canal infravermelho realçado do Satélite GOES 12. .... 57
- Figura 25 - Volume pluviométrico precipitado durante a ocorrência do SCMC no dia 30 de dezembro de 2009, acumulado da precipitação em mm/h entre os horários de 14 as 03hs local. .... 57
- Figura 26 - Imagem de satélite GOES 12, com o SCMC ocorrido sobre a região metropolitana de Belém, nordeste paraense, no dia 15 de janeiro de 2010, observado no Canal infravermelho realçado. .... 59
- Figura 27 - Volume pluviométrico precipitado pelo SCMC ocorrido no dia 15 de janeiro de 2010 sobre a região metropolitana de Belém. .... 59

- Figura 28 - Imagens aérea da Cidade de Belém encoberta pelas nuvens escuras e carregadas(a) momentos antes da forte chuva que caiu sobre a cidade. Cidade de Belém embaixo de chuva forte no final da tarde do dia 07/06/2011(b)..... 60
- Figura 29 - Imagem do SCMC ocorrido sobre o nordeste paraense no dia 07 de junho de 2011, observado no Canal infravermelho realçado do Satélite GOES 12. .... 61
- Figura 30 - Volume Pluviométrico precipitado durante a coerência do SCMC no dia 07 de junho de 2011. .... 61
- Figura 31 – Fotografia Igreja Sagrado Coração de Jesus, em Icoaraci, após a forte chuva e vendaval ocorrido durante a ocorrência do SCMC sobre a cidade de Belém do Pará..... 62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de fenômenos atmosféricos.....	18
Tabela 2 - Classificação de SCMC's por tamanho, elaborada a partir da observação das características espaciais dos sistemas, durante o período de 2008 a 2012.....	39
Tabela 3 - Número de SCMC's observados de janeiro de 2008 a maio de 2012, por ano, região de formação, onde A= nordeste; B= sudeste; C= sudoeste e D= noroeste (Vê Figura 10), hora inicial de formação do sistema e o Tempo de vida do sistema em horas (Duração). .....	42

## ABREVIATURAS

CCM – Complexo Convectivo de Mesoescala  
CMORPH – CPC MORPHing technique  
CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos  
ENOS – El niño Oscilação Sul  
FORTRACC – Forecasting and Tracking of the Evolution of Cloud Clusters  
hPa – Hectopascal  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IR - Infravermelho  
JBN – Jato de Baixo Níveis  
LI – Linhas de Instabilidade  
NCAR – National Center for Atmospheric Research  
NCEP – National Center for Environmental Prediction  
N-NE – Norte Nordeste  
NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration  
OAT – Oceano Atlântico  
OMJ – Oscilação Madden Julian  
OPA – Oceano Pacífico  
PRP – Precipitação  
SC – Sistema Convectivo  
SCM – Sistema Convectivo de Mesoescala  
SCMC – Sistema Convectivo de Mesoescala Circular  
SF – Sistema Frontal  
TSM – Temperatura da Superfície do Mar  
UTC – Universal Time Coordinated  
VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis  
W – Oeste  
W-E – Oeste Leste  
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul  
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical  
Z - Zulu

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	16
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	17
3.1 SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA .....	17
3.2 CARACTERÍSTICAS DE SUPERFÍCIE .....	23
3.3 PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA.....	26
3.4 IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS RELACIONADOS A EVENTOS INTENSOS DE PRECIPITAÇÃO .....	28
<b>4 PROCEDIMENOS METODOLÓGICOS</b> .....	32
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	32
4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS .....	35
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41
5.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS SCMC's.....	41
5.2 RELAÇÃO SUPERFÍCIE E SCMC's .....	50
5.3 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS RELACIONADOS A OCORRÊNCIA DE SCMC .	56
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	63
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	65

## 1 INTRODUÇÃO

Entre os diversos sistemas meteorológicos relacionados com a ocorrência de eventos extremos de precipitação, o Sistema Convectivo de Mesoescala Circular (SCMC) é alvo de vários estudos em todo o mundo (MADDOX, 1980.; VELASCO; FRITSCH, 1987; VITORINO; SILVA; ALVES, 1997.; SALIO; NICOLINI; ZIPSER, 2007). Por ser um fenômeno localizado, possui organização própria, intensa atividade convectiva, preferência por algumas regiões e horários, e apresentar-se como uma única célula nebulosa isolada, com forma arredondada, o que permite sua fácil identificação a partir de imagens de satélite.

O SCMC é uma das formas mais intensas de Sistema Convectivo, o qual, quando obedece a classificação feita por Maddox (1980), é chamado de Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM).

Os SCMC's, assim como os outros sistemas meteorológicos de mesoescala, são dependentes das características da superfície local, como topografia, hidrografia e vegetação que influenciam diretamente nos processos convectivos, favorecendo ou inibindo, a formação dos SCMC's (ROCHA, 1992).

Na região Amazônica a dinâmica local é uma das condições fundamentais para a ocorrência de sistemas de mesoescala (COHEN, 1989), pois o contraste entre as características da superfície local são bastante acentuadas, onde segundo o IBGE (Instituto Nacional de Geografia e Estatística) a topografia predominante na Amazônia não é totalmente plana, possuindo formações visivelmente irregulares, como colinas e morros.

Outra característica dos SCMC's é sua associação a eventos intensos de precipitação, que segundo Viana, Aquino e Munoz (2009) a ocorrência de fenômenos meteorológicos severos constitui-se em motivo de preocupação para a sociedade, pois oferece alto potencial de destruição, perdas de vidas humanas e bens materiais, abalando direta ou indiretamente sua economia.

Granizo, rajadas de vento, tempestades elétricas, inundações e tornados e trombas d'água são exemplos destas ocorrências, podendo causar sérios danos em moradias, equipamentos públicos, infra-estrutura urbana e rural, afetando principalmente a população mais vulnerável que socialmente são mais desprotegidos. Estes episódios acabam, por vezes, agravando a situação de pessoas que dispõem de poucos recursos financeiros e, em muitas situações, estas acabam perdendo os poucos bens que dispõem.

Grande parte dos estudos que destacam os impactos sobre o ambiente urbano, provocados durante a ocorrência dos sistemas circulares, está concentrada nas regiões sul e

sudeste do Brasil (VIANA; AQUINO; MUNOZ, 2009.; SILVA, 2009.; COLLISCHONN; 2010.; GIN; LOMBARDO, 2011), mostrando a força e a violência dos estragos causados por esse tipo de fenômeno meteorológico.

Na região amazônica a maior parte dos estudos sobre sistemas convectivos circulares resumem-se a estudos de casos (SILVA, MOTA e LEAL, 2000; LOPES, SARAIVA e PEREIRA, 2010) e análises da dinâmica atmosférica associada a formação dos SCMC's (SALIO, NICOLINI e ZIPSER, 2007), contudo trabalhos que façam relação com as características da superfície local e as consequências sobre o meio urbano, durante a ocorrência dos SCMC's ainda é bastante incipiente.

Neste sentido, este estudo visa contribuir no conhecimento científico sobre a gênese e locais preferenciais de formação dos SCMC's, da região Amazônica oriental nas diferentes superfícies e em seguida realizar um levantamento dos impactos sócio ambientais que possam ter sido causados por esses sistemas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar um estudo observacional dos sistemas convectivos de mesoescala circular (SCMC) em tempo-espaço na Amazônia Oriental, visando identificar como as diferentes superfícies interferem na gênese dos sistemas e o impacto da ocorrência do mesmo sobre o ambiente urbano.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Identificar e caracterizar no tempo e no espaço os SCMC's;
- b) Relacionar as regiões de maior ocorrência dos SCMC's, com as características da superfície;
- c) Analisar casos de SCMC's e condições meteorológicas associadas que causaram dano sócio-ambiental.



### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

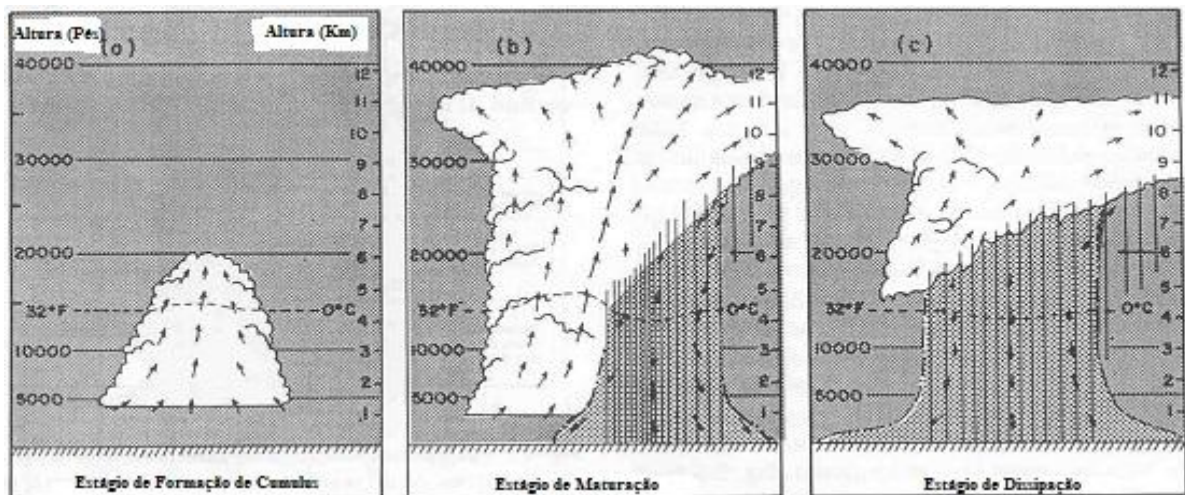
#### 3.1 SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA

O termo, Sistema Convectivo de Mesoescala, tem sido usado amplamente para representar uma vasta classe de convecção, abrangendo desde Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) à Linha de Instabilidade (LI). De fato, todas as tempestades, com exceção da convecção isolada, recaem nesta ampla classificação (RAY, 1990). Outra característica que os distingue é a coexistência de precipitação convectiva e estratiforme (SMULL; HOUZE, 1987).

Knupp e Cotton (1987) definiram um SCM como qualquer grupo de nuvens convectivas (forma linear ou não) que contenha, em algum estágio, tanto núcleos convectivos como regiões adjacentes de precipitação estratiforme, originados diretamente ou indiretamente de nuvens convectivas ou células convectivas (Fig.1).

Em sua pesquisa Ray (1990) sugeriu que a definição proposta por Knupp e Cotton (1987) é menos restritiva para incluir qualquer grupo de nuvens convectivas coexistentes que apresentem uma interação dinâmica; relaxando assim a definição no que se refere à exigência da região de precipitação estratiforme, muito embora a referida região seja comumente encontrada. Na classificação de sistemas meteorológicos (Tabela 1), os SCM's são aqueles que têm duração superior à uma hora e inferior a um dia.

Figura 1 - Modelo conceitual de uma célula convectiva. a) Estágio de formação das nuvens cumulus; b) Estágio de maturação e intensificação do sistema; c) Estágio final ou de dissipação do sistemas.



Fonte: Knupp e Cotton (1987)

Tabela 1 - Escala de fenômenos atmosféricos.

Escala Horizontal	Tempo de Vida	Stull (1988)	Pielke (1984)	Orlanski (1975)	Thunis and Bornstein (1996)	Fenômenos Atmosféricos
10 000 km	1 mês	↑ M a c r o  ↓	↑ S i n ó t i c a  ↓	Macro - $\alpha$	Macro - $\alpha$	Circulação Geral, Ondas Atmosféricas.
2000 km	1 semana			Macro - $\beta$	Macro - $\beta$	Ciclones Sinóticos.
200 km	1 dia	↑ M e s o  ↓	↑ M e s o  ↓	Meso - $\alpha$	Meso - $\alpha$	Frentes, Furacões,
20 km	1 h			Meso - $\beta$	Meso - $\beta$	Tempestades Tropicais, Complexos Convectivos de Mesoescala, Mesociclones, Supercélulas, Linhas de Instabilidade, Ondas de Gravidade, Jatos de Baixos Níveis, Brisas de Mar e Montanha.
2 km		↑ M i c r o  ↓	↑ M i c r o  ↓	Meso - $\gamma$	Meso - $\gamma$	Turbulência de céu claro, Grandes Rajadas de Vento (Macrobursts).
200 m	30 min			Micro - $\alpha$	Micro - $\alpha$	Cumulus, Tornados, Pequenas Rajadas de vento (Microbursts).
20 m	1 min			Micro - $\beta$	Micro - $\beta$	Plumas, Poeira do Diabo.
2 m	1 s			Micro - $\delta$	Micro - $\delta$	Turbulência, Onda sonora.

Fonte: Thunis e Borstein (1996).

Os elementos convectivos nos SCM's exibem uma variedade de graus e tipos de formação, dependendo da escala do meio na qual são formados (THUNIS; BORSTEIN, 1996). Os SCM nos trópicos e em latitudes médias foram amplamente descritos em estudos anteriores e Houze (2004) efetuou uma completa revisão da estrutura interna e dinâmica desses sistemas juntamente com suas interações com movimentos de larga escala.

Os SCM's que são constituídos por um aglomerado de nuvens convectivas e apresentam área com contínua precipitação, que pode ser parcialmente estratiforme e

parcialmente convectiva, possuem formas variadas (HOUZE, 1993). Os SCM são responsáveis pela maior parte da precipitação subtropical da América do sul (MOTA, 2003).

As três principais classificações dos sistemas convectivos são: Linhas de Instabilidade (LI), os que possuem forma de linha; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), que apresentam um formato circular; ou simplesmente SCM, que possuem formas irregulares. Os CCM's, bem como as linhas de instabilidade, correspondem a uma categoria extrema dos SCM's, tal como a supercélula é um tipo extremo de tempestade (FRITSCH; FORBES, 2001).

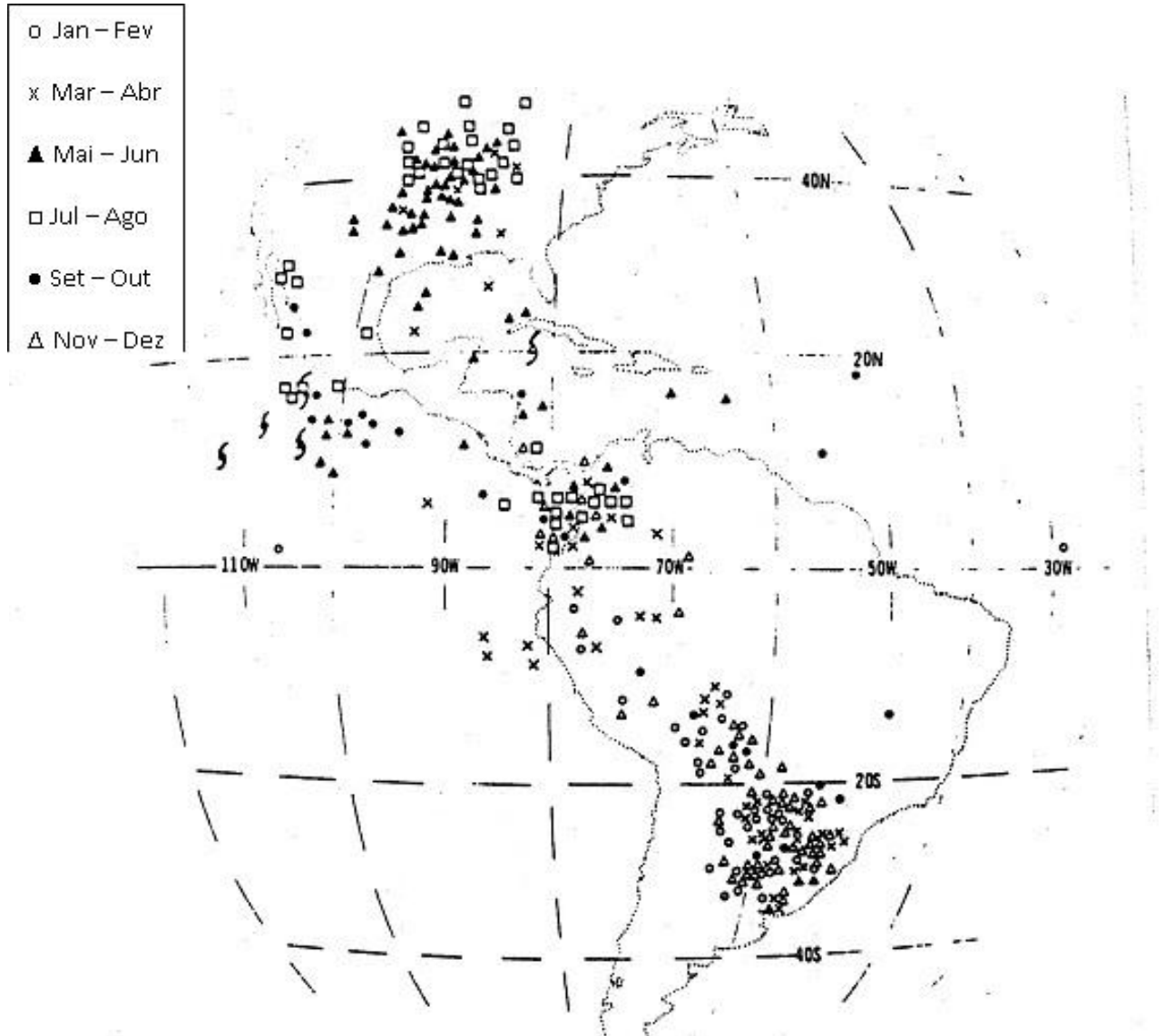
Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM's) devem sua definição a Maddox (1980) tendo por tanto uma história recente na meteorologia. Um marco fundamental no estudo dos CCM's da América do Sul encontra-se no trabalho de Velasco e Fritsch (1987), (Fig. 2), onde foi adaptada a técnica objetiva de classificação dos CCM's introduzida por Maddox (1980).

No entanto, estudos sobre CCM's mostraram que os sistemas que se formam na região equatorial são menores e não obedecem todos os parâmetros definidos por Maddox (1980) (VITORINO; SILVA; ALVES, 1997.; SALIO; NICOLINI; ZIPSER, 2007). Assim, a partir deste ponto os sistemas convectivos circulares, enquadrados como CCM's ou não, serão tratados como SCMC's (Sistemas convectivos de mesoesacala circulares).

Foi feito também um mapeamento das regiões de ocorrência e das características diversas associadas à ocorrência de SCMC's na América do Sul por Conforte (1997) (Fig.3). Essa definição está baseada única e exclusivamente em imagens de satélite no canal do infravermelho, com poucos critérios as características típicas do SCMC.

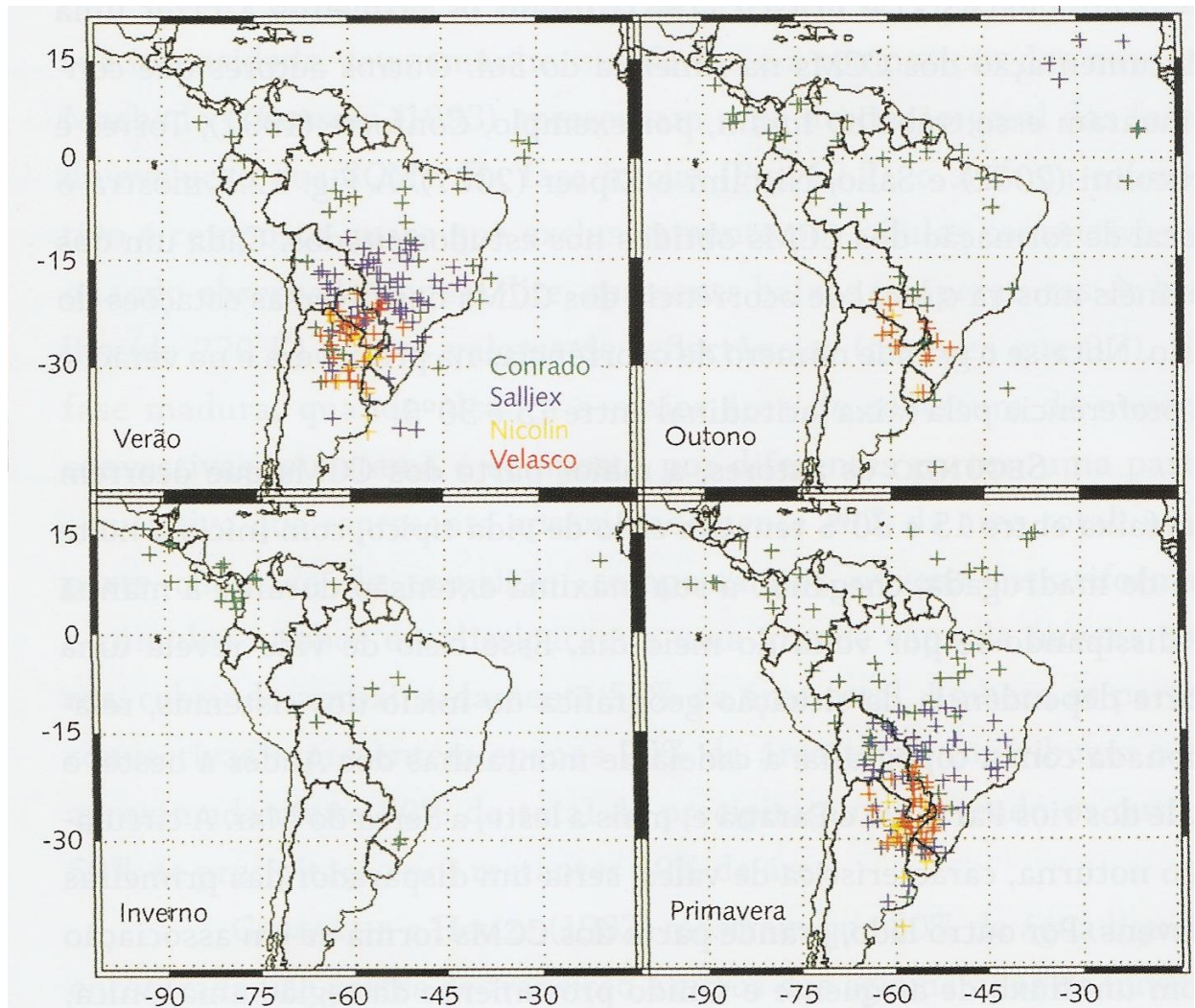
Segundo Machado e Rossow (1993), a medida que um sistema convectivo atinge a fase madura, forma-se uma grande quantidade de stratus e de cirrus, atingindo aproximadamente 80 % da área total. Os SCMC's estão frequentemente associados a eventos de precipitações intensas, fortes rajadas de vento e até tornados, motivando seu estudo com base nas aplicações em previsão de tempo.

Figura 2 - Trajetória de SCMC's entre 1981e 1983 no continente americano. Na escala ao lado, observa-se os símbolos que representam a localização espacial preferencial dos SCMC's em uma variação temporal mensal.



Fonte: Velasco e Fristch (1987)

Figura 3 - Composição dos SCMC's detectados nos trabalhos de Velasco e Fritsh (1987) (na cor vermelha), Conforte (1997) (cor cinza), Torres e Nicolini (2002) (amarelo) e Salio, Nicolini e Zipser (2007) (roxo).



Fonte: Conforte (1997).

Uma das condições dinâmicas necessárias para a formação de um SCMC é o acoplamento de jatos de baixos níveis (JBN) e jatos de altos níveis (JAN). Esse acoplamento foi descrito por Uccellini e Johnson (1979), e Sechrist e Whittaker (1979), mostrando que a ação do JBN combinada com o JAN promove uma mudança na direção dos ventos com a altura, favorável ao desenvolvimento de tempo severo.

O JAN exerce um papel de instabilizador, servindo de gatilho para a convecção e o JBN alimenta os Sistemas Convectivos através do transporte de umidade. Em níveis superiores o JAN (250 hPa) provoca um aumento da instabilidade através da aceleração do escoamento sobre a região, resultando no aumento da convergência em baixos níveis, simultaneamente, o jato de baixos níveis age alimentando o sistema com ar quente e úmido

oriundo dos trópicos, onde por continuidade de massa há um incremento da convecção formando aglomerados convectivos, gerando finalmente os SCMC (SILVA DIAS, 1996).

Conforme relatado em Velasco e Fritsch (1987), o ciclo de vida do SCMC possui horário de máxima extensão durante a madrugada, na grande maioria dos casos observados. O hábito noturno é uma das características marcantes do SCMC tanto subtropical, nos dois hemisférios como aqueles observados na região tropical. As primeiras células convectivas que ainda precedem a definição do início de um SCMC podem ocorrer tanto no início da tarde como no início da noite, numa curva bimodal.

O fim do SCMC ocorre em sua grande maioria por volta do meio-dia subsequente. Pode-se notar que o tempo de vida mais frequente está entre 10 e 20 horas. Machado et al. (1998) examinaram o ciclo de vida de sistemas convectivos sobre a América do Sul e encontraram para sistemas com raio de 240 km um tempo de vida médio de 15 horas para latitudes médias no verão.

No entanto, alguns sistemas inicialmente classificados como SCMC, podem evoluir para vórtices como aquele descrito em Bonatti e Rao (1987), onde é mostrado que durante as primeiras 6 horas o sistema se apresenta como um SCMC e com o passar do tempo começa a adquirir a forma de “vírgula invertida” característica de vórtices e persiste por mais 48 horas. Essa transição ocorre também em sistemas analisados no hemisfério norte e é discutida por Frank (1983), que observou o momento que a escala de tamanho do sistema supera o raio de deformação de Rossby local (modificado pela própria vorticidade adquirida pelo sistema). Este é um dos aspectos dinâmicos importantes no tratamento da questão que ainda está em aberto e tem grandes aplicações para previsão do tempo, conforme discutido por Silva Dias (1987).

Em relação às interações entre os sistemas de mesoescala e grande escala, Fritsch et al. (1986) e Augustine e Howard (1991) apresentaram evidência que o tamanho, localização e frequência de SCMC's é sensível ao padrão da grande escala. Na medida em que o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) afeta os padrões de grande escala, segue-se que deve haver uma grande *feedback* para os SCMC's.

O ambiente de grande escala pode ser propício para formação SCMC's como ocorreu no ano 1993, nos EUA, ou pode inibir a formação SCMC's, como mostrado por Augustine e Howard (1991), durante os períodos considerados nulos para a formação de SCMC's de 1986 e 1987, nos EUA. As observações de Fritsch, Kane e Chelius (1986) constataram que a frequência de SCMC's diminuiu durante 1983, um ano de El Niño, em comparação com 1982, um ano normal. Além disso, os sistemas apresentaram números e dimensões inferiores



e produziram menor quantidade de chuva, sendo deslocados do seu local de formação preferencial.

Velasco e Fritsch (1987) observaram que o número de SCMC's em latitudes médias da América do Sul duplicou durante o ano El Niño (Novembro 1982 a Abril 1983), em comparação com a temporada 1981-1982 (ano normal).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DE SUPERFÍCIE

As variações dos fatores físicos da superfície como: relevo, hidrografia e vegetação influenciam diretamente nas circulações locais e nas trocas de energia entre a superfície e atmosfera (SILVA DIAS, 2004).

As formas de interação superfície-atmosfera sugere uma forte dependência entre os processos de superfície e o clima, onde os processos dinâmicos que envolvem a gênese e o ciclo de vida de SCMC's têm relação direta com a localização geográfica e condições de superfície (MADDOX 1980.; VELASC; FRITSCH 1987.; CONFORTE, 1997).

Os tipos de superfície podem variar principalmente em: relevo, vegetação, hidrografia e nível de atividade antrópica, assim a convecção, que é o principal caminho através do qual água, energia e gases são transportados da camada superficial da atmosfera para a troposfera, pode ser alterada devido as mudanças de uso da terra. Como consequência, o regime pluviométrico pode ser impactado mudando a intensidade e frequência das precipitações convectivas (PICKERING et al., 1996.; FREITAS et al., 2000.; GANDU; COHEN; SOUZA, 2004.; COHEN et al., 2007).

As regiões com grandes variações na altitude favorecem a formação de precipitação do tipo orográfica. Dependendo da intensidade do transporte de vapor d'água a nuvem pode evoluir e dar origem a precipitação na encosta a barlavento e diminuir a sotavento (MINUZZI; SEDIYAMA, 2004.; REBOITA et al., 2010). Como o fenômeno que ocorre na região dos Andes, a alta topografia exerce influência nos distúrbios atmosféricos de diversas escalas interferindo na dinâmica da atmosfera, na formação de brisas de vale-montanha e na geração de ciclogênese a sotavento dos Andes (JUSEVICIUS, 1999.; FUNATSU; GAN; CAETANO, 2004).

Porém, quando a precipitação é originada de sistemas meteorológicos, estes possuem variações na precipitação durante a passagem por regiões montanhosas devido ao efeito do transporte vertical de massas de ar que surgem do contraste térmico entre o topo da montanha e as regiões mais baixas (brisa de vale e montanha) (TRUCCOLO, 2011).

As encostas das montanhas, especialmente aquelas voltadas para o sol, absorvem a radiação incidente. O ar adjacente à superfície é aquecido por condução por baixo e a circulação vale-montanha se inicia. Uma vez estabelecida a circulação vale-montanha, parcelas de ar aquecido ascendem as encostas formando nuvens (HENZ, 1972).

A orografia também influencia os padrões de infiltração e fluxo de radiação na heterogeneidade da superfície terrestre e propriedades hidrológicas do solo, além da redistribuição da água e energia. Nas montanhas, este resultado está muito ligado a umidade do solo e ao balanço d'água, conduzindo a grandes variações espaciais na evapotranspiração (BASIST; BELL; MEENTEMEYER, 1994).

A evapotranspiração é definida como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas. O calor latente liberado no processo de evapotranspiração influencia na circulação atmosférica nos trópicos e o vapor d'água contribui para a geração de precipitação regional. Estima-se que 50 % do vapor d'água que precipita pelas chuvas amazônicas é gerado localmente pela evapotranspiração. (SALATI, 1979.; DIRMEYER; BRUBAKER, 2007).

Um estudo sobre a influência da cobertura vegetal nos parâmetros meteorológicos, foi feito por Correia et al. (2007), utilizando modelos climáticos para avaliar os possíveis impactos do desmatamento da floresta sobre o clima. Reduções anuais na precipitação de 5 a 20%, na evapotranspiração de 20 a 30% e aumento na temperatura do ar próximo à superfície de 1 a 4 °C, foram encontrados neste estudo.

O desflorestamento de pequenas proporções pode levar até a um aumento da precipitação sobre a área desmatada, isso por conta de circulações locais induzidas por diferenças de temperatura entre a floresta e a área desmatada. Porém, o desflorestamento em grande escala traz grandes modificações à circulação atmosférica da região, e um grande impacto hidrológico, com reduções e aumentos de precipitação, em grandes áreas da bacia e até em regiões vizinhas e remotas. (FEARNSIDE, 2005.; GANDU; COHEN; SOUZA, 2004.; BELTRÃO, 2008).

O potencial do desmatamento em aumentar a precipitação local ao criar correntes de ar ascendentes convectivas que provocam a formação de nuvens pode levar a conclusão que o desmatamento não é tão ruim. Poderia ter uma melhoria temporária e ilusória à medida que o desmatamento avança, porém esse momentâneo aumento nos índices de precipitação será seguido por uma íngreme queda na precipitação quando o desmatamento passar de um certo



limiar. Além disso, o aumento da precipitação sobre uma área desmatada significa que a chuva foi tirada de algum outro lugar (FEARNSIDE, 2005).

Outra característica importante no regime pluviométrico local e regional é a hidrografia formada por bacias, rios e lagos que servem como fonte de umidade durante a formação e nos processos físicos de manutenção dos fenômenos meteorológicos. Em locais litorâneos os processos convectivos são derivados principalmente do sistema de brisas (marítima e terrestre), que servem como fonte de indução a retroalimentação de umidade, gerando condições de instabilidade que contribuem para surgimento de regiões favoráveis a convecção. (CORREIA; SILVA DIAS, 2003.; COHEN, 1989).

Dentre todas as características apresentadas a ação antrópica é uma das mais importantes e pesquisada em todos os lugares do mundo, pois é o seu desenvolvimento que tem provocado sucessivas modificações no tempo e a longo prazo, segundo o Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC), pode causar mudanças permanentes no clima nos próximos 100 anos. A rápida mudança da paisagem gerada pela exploração inadequada dos recursos naturais, seja pela indústria como também pela expansão demográfica e conseqüentemente o rápido crescimento do complexo urbano, os quais vêm se desenvolvendo controle forçando a mobilizações de cidades, estados, e países na tentativa de encontrar formas de mitigar os males já causados (NEPSTAD et al., 2004.; BORSATO; SOUZA FILHO, 2002.; MARENGO, 2006).

No contexto Amazônico as variações superficiais são principalmente de origem natural, contudo as mudanças provocadas pela ação antrópica vêm sendo foco de vários estudos principalmente na Amazônia Oriental (BELTRÃO, 2008.; COHEN et al., 2007.; GANDU; COHEN; SOUZA, 2004) , onde é observada a parte mais afetada pelo homem, chamada de Zona do Arco do Desmatamento, que segundo levantamento recente do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a taxa de desflorestamento foi de 1.232,75 km<sup>2</sup> de 2011 a 2012, sendo as regiões nordeste e sudeste da Amazônia (que compreende os a fronteira entre os estados do Pará, Maranhão, e Mato Grosso) a mais afetada (INPE, 2012).

Segundo Beltrão (2008), a variação da cobertura vegetal ao longo dos anos gera pequenas modificações no tempo, que em longo prazo, pode gerar significativas alterações climáticas sobre as regiões mais afetadas. Ele realizou simulações, com modelo regional, para avaliar o impacto do Arco do Desmatamento sobre o regime pluviométrico. Seus resultados mostraram que a constante interferência antrópica pode gerar uma diminuição significativa da precipitação na parte oeste do estado do Pará, porém, sobre a região que compreende o Arco

do Desmatamento poderá haver uma elevação do volume pluviométrico, causando um aumento dos eventos intensos de precipitação até o ano de 2050.

### 3.3 PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA

A bacia Amazônica por estar localizada na região equatorial, de clima quente e úmido, possui uma alta pluviosidade. Na Amazônia oriental adjacente à costa Atlântica, observa-se um máximo pluviométrico ao longo dos Estados do Amapá, Pará e Maranhão, com volume de chuva anual em torno de 2000 a 3000 mm (FIGUEROA; NOBRE, 1990).

O regime de precipitação na Amazônia é modulado por sistemas dinâmicos de microescala, mesoescala, escala sinótica e planetários (KOUSKY; KAYANO, 1981.; MOLION, 1993). Dentre os fenômenos e sistemas de maior importância no regime pluviométrico Amazônico observa-se: as variações de temperatura da superfície do Pacífico Tropical conhecidas como Ciclo do El Niño/Oscilação Sul (ENOS), Dipolo do Atlântico, A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Sistemas Frontais (SF's) e ondas atmosféricas como: Oscilação Madden-Julian (OMJ) e Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (FERREIRA, 2008.; ROCHA; GANDU, 1996.; MADDEN; JULIAN, 1994.; SOUZA et al., 2000.; SOUZA; KAYANO; AMBRIZZI, 2005.; VIANELLO; ALVES, 1991).

O ciclo do ENOS apresenta duas faces extremas conhecidas com El Niño e La Niña. O El Niño/La Niña são as fases positiva/negativa do fenômeno ENOS que representam o aquecimento/resfriamento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região do pacífico equatorial, entre a costa do Peru e da Austrália (SOUZA et al., 2000). A precipitação é fortemente influenciada pelo El Niño que inibe a formação de nuvens convectivas e La Niña que provoca a formação de nuvens convectivas, principalmente no nordeste da Amazônia oriental (SOUZA et al., 2000).

O fenômeno do Dipolo do Atlântico caracteriza-se pela manifestação simultânea de anomalias de TSM configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre as Bacias Norte e Sul do Atlântico Tropical. Esse padrão interfere diretamente no deslocamento norte-sul da ZCIT, causando alterações na distribuição da pluviometria regional sobre a Amazônia oriental (SOUZA; KAYANO; AMBRIZZI, 2005).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que caracteriza-se pela presença de acentuada instabilidade atmosférica com movimento ascendente sobre toda a troposfera equatorial que induz a formação de nuvens convectivas com grande desenvolvimento vertical

e conseqüentemente, provoca a ocorrência de precipitação abundante sobre grandes áreas oceânicas e continentais (FERREIRA, 2008).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é uma banda de nebulosidade convectiva que se estende de noroeste a sudeste sobre a América do Sul e mostra uma interação entre sistemas tropicais e extratropicais. Esta banda aparece na primavera e verão algumas vezes no outono, mas nunca no inverno, é um dos principais sistemas precipitantes da região sul da Amazônia e centro e sudeste do Brasil (ROCHA; GANDU, 1996).

Ainda segundo Rocha e Gandu (1996), a principal característica para o desenvolvimento desta banda é uma forte convecção sobre a América do Sul tropical, principalmente na região noroeste da Amazônia, o que é frequente no verão e o deslocamento de sistemas frontais de latitudes médias em direção a nordeste, ao longo da costa do Brasil.

O deslocamento de Sistemas Frontais (SF's) até o sul da Amazônia foram estudadas por Oliveira e Nobre (1986) e Vianello e Alves (1991), onde mostraram que os SF's, na América do sul, caracterizam-se pelo deslocamento de uma massa de ar fria e seca vinda do polo sul em direção ao equador, a medida que se distanciam de sua origem sua energia diminui até o ponto de sua dissipação. Na região Amazônia, esses sistemas provocam o fenômeno da friagem principalmente no Acre, Rondônia, sul do Pará e sul do Tocantins.

A OMJ, onda atmosférica de perturbação barotrópica, ou seja, que varia no campo de pressão atmosférica (MADDEN; JULIAN, 1994), caracteriza-se como uma onda atmosférica equatorial com propagação para leste ao longo do equador em um completo ciclo ao redor do globo durante 30-60 dias, influenciando diretamente na precipitação do leste da Amazônia durante o período chuvoso, intensificando ou inibindo a nebulosidade relacionada com a ZCIT (REPELLI et al., 1998).

O DOL é de extrema importância, por provocar alterações bruscas das condições sinóticas, principalmente na componente meridional do vento, tendo, como consequência, uma umidificação da camada, aumento de nebulosidade e precipitação. Além disso, o DOL pode intensificar os sistemas meteorológicos convectivos, como os SCM's ou ainda associar-se com a ocorrência de tempestades tropicais ou mesmo furações na parte norte do Atlântico Equatorial (BARBOSA, 2005).

Como sistemas de mesoescala (e escala sub-sinótica) de maior influência, podem-se citar os Sistemas convectivos de mesoescala como: conglomerados de nuvens Cumulonimbus, sistemas de mesoescala circulares e linhas de instabilidades originadas pela circulação de brisa marítima na costa do Atlântico (COHEN; DIAS; NOBRE, 1989; 1995.;

OLIVEIRA; NOBRE, 1986.; SATYAMURTY; NOBRE; DIAS, 1998.; UVO; NOBRE, 1989.; VIANELLO; ALVES, 1991.; MACHADO et al., 1997).

Dentro da microescala a convecção local provocada pelo aquecimento diurno da superfície, também contribui com a formação de nuvens de verão e de uma parcela significativa das chuvas anuais. Têm influência direta na formação dos sistemas convectivos conduzindo a uma intensa variabilidade espacial e temporal no ciclo hidrológico na Amazônia e tornando-se fundamental na determinação do tempo e clima da região (FIGUEROA e NOBRE, 1990).

Apesar dos sistemas da grande escala provocarem a maior parte da precipitação na região Amazônica, eles possuem variação sazonal, ou seja, não atuam durante todo o ano, diferente dos sistemas de mesoescala que dependem diretamente das características dinâmicas locais sendo atuantes durante todo o ano, dentre esses sistemas os SCM's e suas diferentes formas são os mais importantes a serem compreendidos (HASTENRATH, 1985.; JOHNSON, 1970.; CAVALCANTI, 1982.; MOLION, 1987.; MADDOX 1980.; COHEN; DIAS; NOBRE, 1989; MACHADO et al., 1997).

#### 3.4 IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS RELACIONADOS A EVENTOS INTENSOS DE PRECIPITAÇÃO

No Brasil, entre a década de 1970 até 2006, foram contabilizados 8.183 vítimas fatais e prejuízos de aproximadamente 10 bilhões de dólares relacionados com desastres naturais provocadas por alterações climáticas. Os tipos de desastres mais frequentes são inundações e escorregamentos de encostas, mais de 80% desses desastres estão associados a instabilidades atmosféricas severas, onde os sistemas convectivos de mesoescala são uns dos principais fenômenos causadores de impactos sócio-ambientais, principalmente no sul e sudeste do Brasil (MARCELINO, 2008).

Não são raros relatos, nos meios de comunicações, de catástrofes relacionadas com fenômenos atmosféricos, principalmente nos centros urbanos, onde as chuvas intensas ao atingirem a superfície da cidade, encontram-na impermeabilizada, dificultando ou até mesmo impedindo a infiltração da água no solo, fazendo surgir o escoamento superficial (RIBEIRO; MENDES, 2008).

Segundo Tucci (2007), a água ao atingir o solo segue por três caminhos principais. O primeiro deles é a infiltração, enquanto a superfície do solo não se satura. É o escoamento superficial, que ocorre com o excesso não infiltrado da precipitação, produzido pela saturação

da porosidade superficial do solo. E, o terceiro caminho, é quando a água fica retida na superfície em contato com a atmosfera, que possibilita a evaporação ou a evapotranspiração quando interceptada pela vegetação.

Ainda segundo Tucci (2007), a água quando atinge o solo, estando ele em condições normais, (isto é com vegetação natural), consegue penetrar facilmente até atingir o ponto de saturação, para a partir de então, dar início ao escoamento superficial, que é definido como o fluxo de água sobre a superfície do solo e/ou pelos seus múltiplos canais naturais ou artificiais. O asfalto e o concreto, comuns nos centros urbanos, não tem ponto de saturação, simplesmente porque a água não penetra em sua superfície.

Em seu livro “As Tempestades”, Bell (1963), faz a seguinte observação: “uma chuva acumulada de 40 mm, com duração de tempo de 30 minutos em uma área de 2 quilômetros quadrados, pesaria mais de 90 mil toneladas”. Utilizando essa observação, como referência, não é difícil imaginar o estrago que essa água causaria precipitando em uma área urbana despreparada para tal situação, como por exemplo, deslizamentos de encostas, asfaltos arrancados, árvores derrubadas, carros destruídos, casas alagadas, e outros mais (Fig. 4 e 5).

Figura 4 - Fotografia aérea do impacto sobre o ambiente urbano provocado por um forte evento de precipitação em 2011 no estado do Rio de Janeiro.



Fonte: Revista-VEJA\_09/09/2011.



Figura 5 - Fotografia aérea do Vale do Itajaí em Santa Catarina, após forte chuva em 2008.

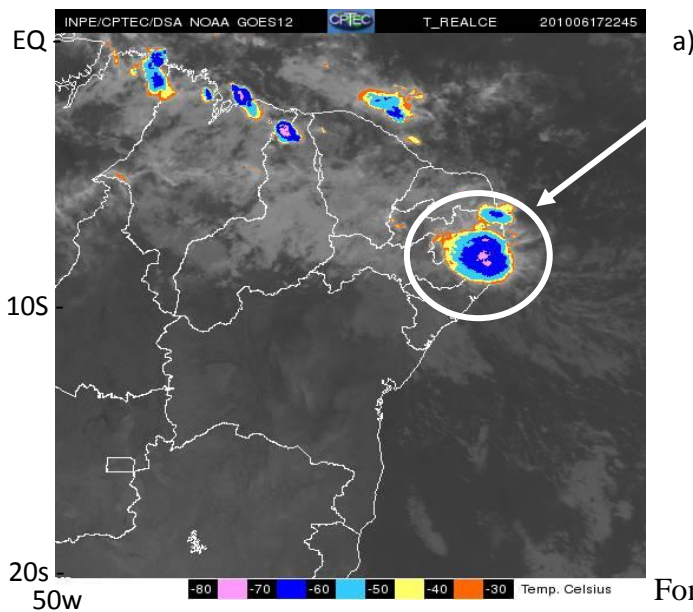


Fonte: Revista-VEJA\_09/09/2011

Entre os desastres climáticos relacionados diretamente com episódios extremos de SCMC's, há aqueles ocorridos nos estados de Alagoas e Pernambuco no ano de 2010 (Fig. 6 (a)). Onde, segundo Sodré e Souza Filho (2013), o SCMC que se formou sobre os estados de Alagoas e Pernambuco foi intensificado pelo fenômeno de DOL que causou perturbações no campo de pressão, principalmente no nível de 500hPa, o que contribuiu diretamente com a profundidade e o com desenvolvimento do sistema.

Ainda segundo Sodré e Souza Filho (2013), A ocorrência desse sistema provocou umas das maiores enchentes já registradas para essa região, causando o alagamento de várias residências (Fig.6 (b)).

Figura 6 - Imagem do satélite GOES no canal do infravermelho (a) e fotografia aérea para o evento de precipitação ocorrido em Alagoas e Pernambuco em 17/06/2010.



Fonte: Divisão de Satélite CPTEC

b)



Fonte: Google Imagens. Crédito: SOPHIA

Estudos que quantificam os impactos sócio-ambientais diretamente relacionados a ocorrência dos SCMC's ainda são poucos a nível nacional, pois a maior parte das pesquisas sobre SCMC's enfocam principalmente os parâmetros físicos, sendo que entre os poucos existentes estão voltado principalmente para a região sul do Brasil (VIANA; AQUINO; MUNOZ, 2009.; VIANA et al., 2009).

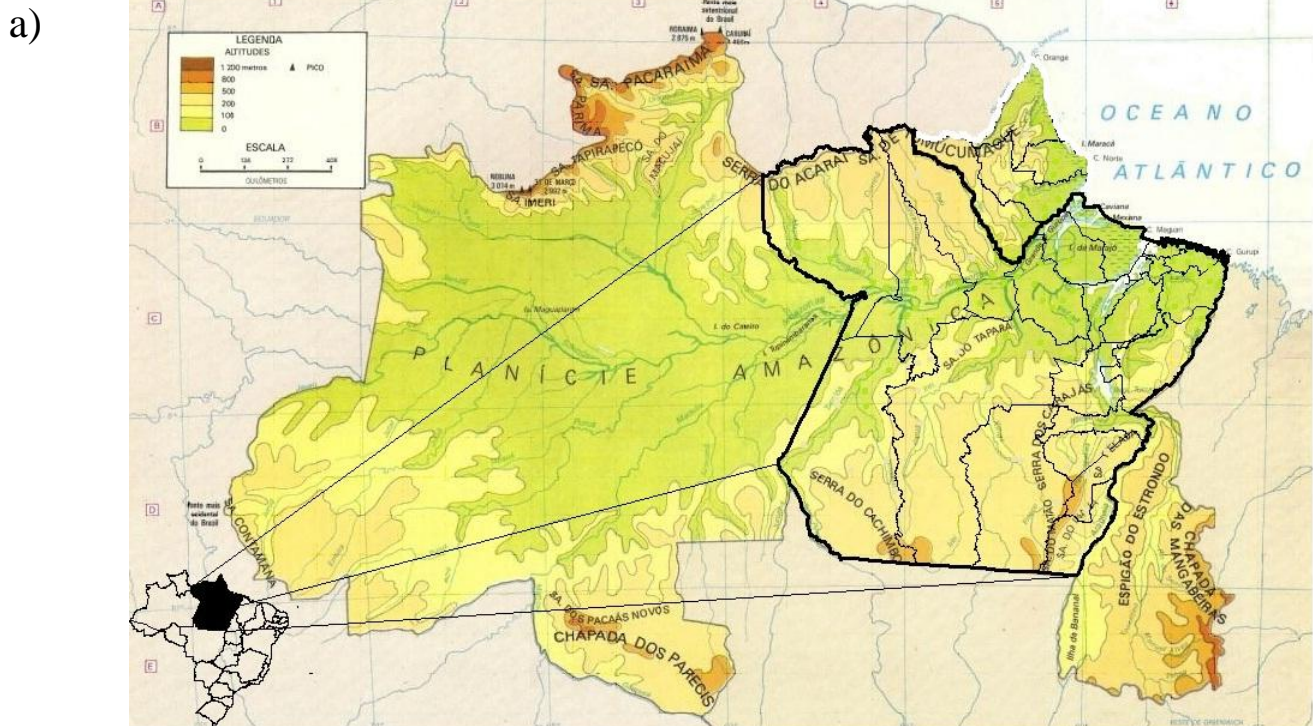


## 4 PROCEDIMENOS METODOLÓGICOS

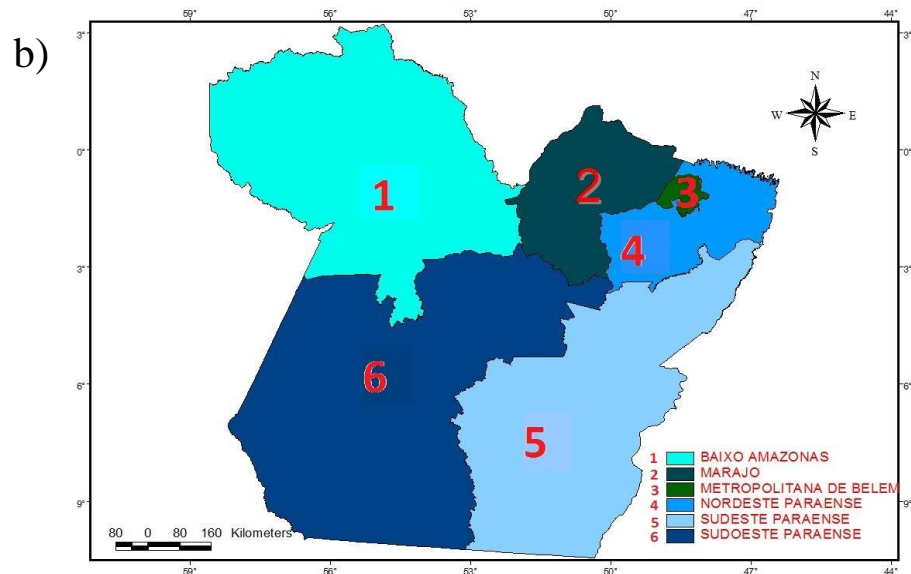
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área selecionada para este estudo, Figura 7 (a)), compreende o estado Pará, na Amazônia Oriental, e suas microrregiões geográficas (Fig 7 (b)). A Amazônia Oriental apresenta significativa topografia, composta por três grandes unidades. A noroeste encontra-se o Planalto das Guianas, bastante extenso, abrangendo toda a Serra do Tumucumaque. Ao sul, no Planalto Central, estão as Serras do Cachimbo, Carajás e Pelada. Entre estas duas regiões encontra-se a Planície Amazônica, banhada pelo Baixo Amazonas e seus principais afluentes, onde se destaca a Ilha de Marajó (AMANAJÁS; BRAGA, 2012).

Figura 7 - a) Localização da área de estudo. b) Microrregiões geográficas do estado do Pará.







Fonte: Amanajás e Braga (2012).

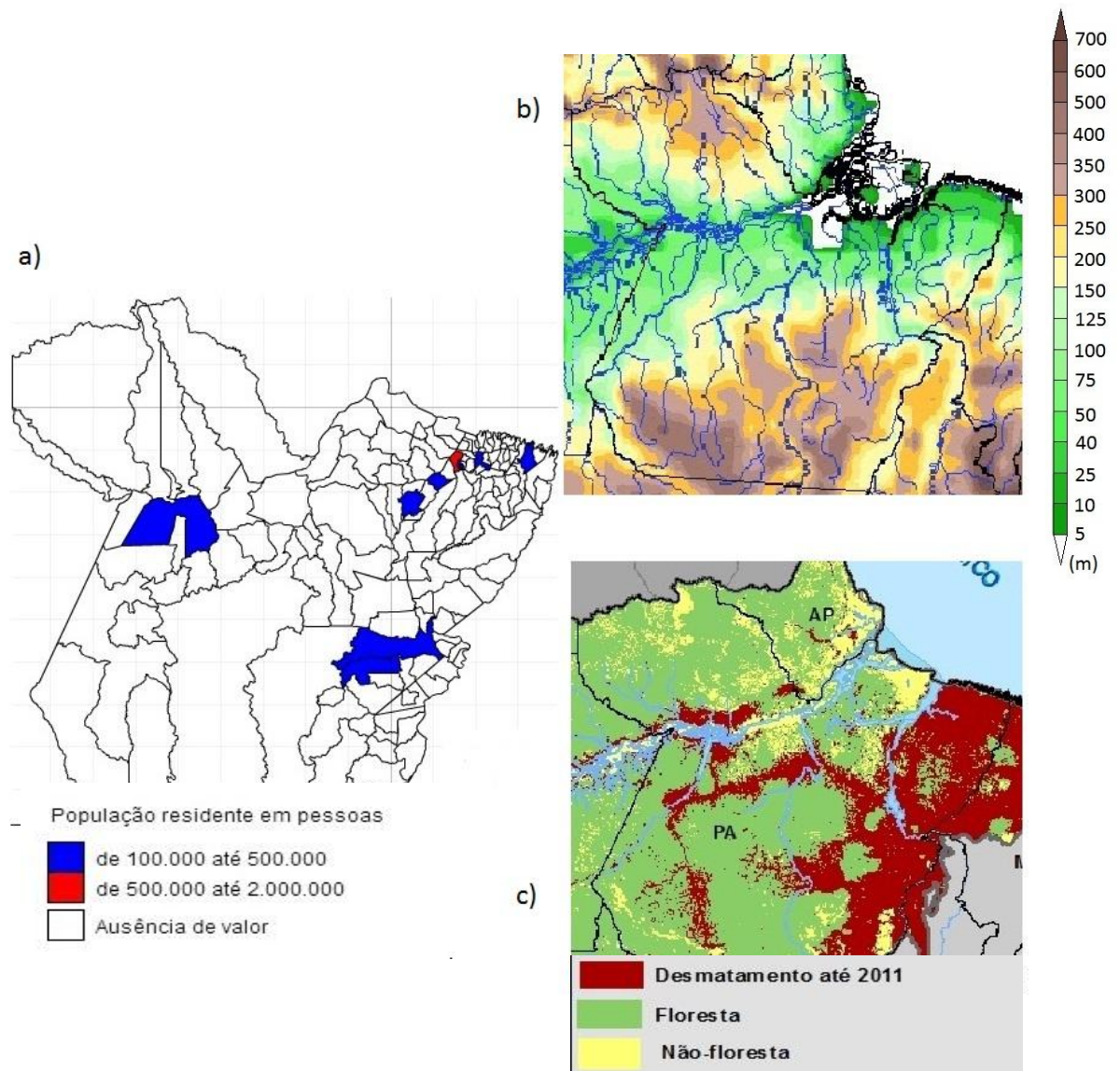
A Amazônia Oriental, representada pelo estado do Pará, foi selecionada devido aos seus aspectos físicos e sociais.

Fisicamente, a região da Amazônia oriental possui variações na sua superfície, tais como: topográfica, hidrográfica, vegetação e demográfica (Fig.8, (a); (b) e (c)). Os principais rios estão concentrados nas regiões noroeste e nordeste, bem como a única região de litoral. Na topografia, observa-se que a região nordeste é a única a apresenta um relevo relativamente plano, enquanto que as regiões mais altas estão a sul e na região noroeste do estado do Pará (Fig.8 (b)).

A interferência antrópica, representada pelos dados de desmatamento, observada pelo INPE, mostra que a regiões nordeste e sudeste são as mais afetadas, contudo, a vegetação nativa ainda é remanescente na maior parte da Amazônia oriental (Fig.8, (c)).

Socialmente, o estado do Pará concentra as cidades economicamente mais importantes, bem como a maior densidade demográfica da região Amazônica, sendo o nordeste do estado o mais populoso e conseqüentemente o mais impactado pela atividade humana (Fig.8, (a) e (c)).

Figura 8 - Representação municipal do estado do Pará (a), sua topografia e hidrografia (b), e cobertura vegetal (c) na Amazônia oriental.



Fonte: IBGE, 2010 (Demografia); SIPAM (Topografia e hidrologia); INPE 2012 (Dados de desmatamento da Amazônia oriental entre 2000 e 2011).

## 4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

Foram utilizadas imagens de satélites que foram obtidas junto a Divisão de Satélites do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). As imagens obtidas são do canal infravermelho realçado (cana-4) dos satélites GOES 10 e 12 no período de janeiro de 2008 à maio de 2012, as quais possuem resolução espacial de 4 km.

Os dados pluviométricos horários utilizados nesse estudo são derivados de sensoriamento remoto, obtidos junto ao NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), que produzem estimativas da precipitação através da técnica conhecida como CMORPH (*cpc técnica morphing*). O CMORPH foi selecionado entre diversos outros produtos de acordo com os seguintes fatores: (a) por ser baseado em sensores microondas de diversos satélites polares, (b) pelo fato de já estar sendo testado há algum tempo nos EUA, Austrália e no Brasil, onde Pereira Filho (2010) mostrou sua aplicação com foco na gestão de bacias hidrográficas. (c) por suas resoluções espacial e temporal serem apropriadas para a escala da área de estudo, e (d) pela sua operacionalidade na distribuição e atualização dos dados na NOAA.

O CMORPH usa dados IR para gerar um campo de movimento das nuvens que é posteriormente propagado para campos pluviométricos, produzindo estimativas de precipitações de alta qualidade. Os sensores de micro-ondas passivas: AMSR-E, AMSU-B, SSM/I, TMI são utilizadas exclusivamente para a obtenção de estimativas desse produto de alta resolução temporal. (JOYCE et al., 2004.; FENSTERSEIFER, 2013.).

As estimativas derivadas de micro-ondas são geradas pelos algoritmos de Ferraro (1997) para o sensor SSM/I; Ferraro et al. (2000), para o sensor AMSU-B; e Kummerow et al. (2001), para o sensor TMI. Uma característica importante desse método é a sua flexibilidade, em que estimativas de precipitação de qualquer fonte a partir do microondas podem ser incorporadas, demonstrando o seu grande potencial num futuro próximo, quando um número cada vez maior de satélites de órbita polar, estarão em órbita (FENSTERSEIFER, 2013).

A estimativa de chuva CMORPH possui resolução temporal diária ou horária, a cada 3 horas ou a cada 30 minutos, e resolução espacial de  $0,08^\circ$  (cerca de 8 km) e  $0,25^\circ$  (cerca de 25 km)(ARAUJO; GUETTER, 2007.; JIMÉNEZ, 2011).

Neste estudo foi utilizada a resolução de 0,25 km dos dados do CMORPH, a qual foi suficiente para a obtenção pontual do máximo pluviométrico horário precipitado pelos SCMC's. Estes dados possuem informações disponíveis a partir de dezembro de 2002 até a

presente data, sendo que para esse estudo foi usado apenas o período de janeiro de 2008 a maio de 2012.

Ainda foram utilizados os dados de precipitação observados pelas estações meteorológicas de superfície, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponível no endereço eletrônico: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br). Estes dados representam o acumulado diário da precipitação, em milímetros, coletada pelo pluviômetro na estação meteorológica convencional.

Dados do aplicativo FORTRACC (*Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters*) disponibilizado pela Divisão de Satélites do CPTEC, permiti a identificação e acompanhamento dos sistemas convectivos que atuam sobre o Brasil, a partir de imagens GOES-12 interpoladas, usando o método de acompanhamento de sistemas convectivos (SC) que necessita de imagens em alta resolução temporal e espacial e com poucas falhas (falta de imagens e/ou de linhas nas imagens). As imagens GOES estão disponíveis a cada meia hora, em projeção satélite, devendo ser reprojatadas para projeção retangular antes de iniciado o processamento pelo FORTRACC. Para a definição de um SC em uma imagem do canal 4 do GOES, o FORTRACC utiliza os limiares de 235 K para definir o SC, de 210 K, para definir as células convectivas imersas no SC e de 250 K para detecção precoce dos SC, a partir da detecção são gerados gráficos de tamanho, duração e evolução do SC. Os dados estão armazenados a partir de dezembro de 2009 a cada meia hora.

Dados de reanálises das componentes zonal e meridional do vento, e temperatura da superfície do mar (TSM) do NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) disponibilizados pelo NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) foram usados neste estudo.

Além desses, foram usados dados anuais da estimativa de desmatamento na Amazônia observadas por satélites ambientais e disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) observados entre os anos 2000 a 2011. Dados de relevo e hidrografia da Amazônia oriental produzidos com informações do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM). Dados de demografia da região da Amazônia oriental, referentes ao censo de 2010 do Instituto Nacional de Geografia e Estatísticas (IBGE). Estes dados ambientais foram utilizados para analisar o papel destes sobre o local de formação dos SCMC's.

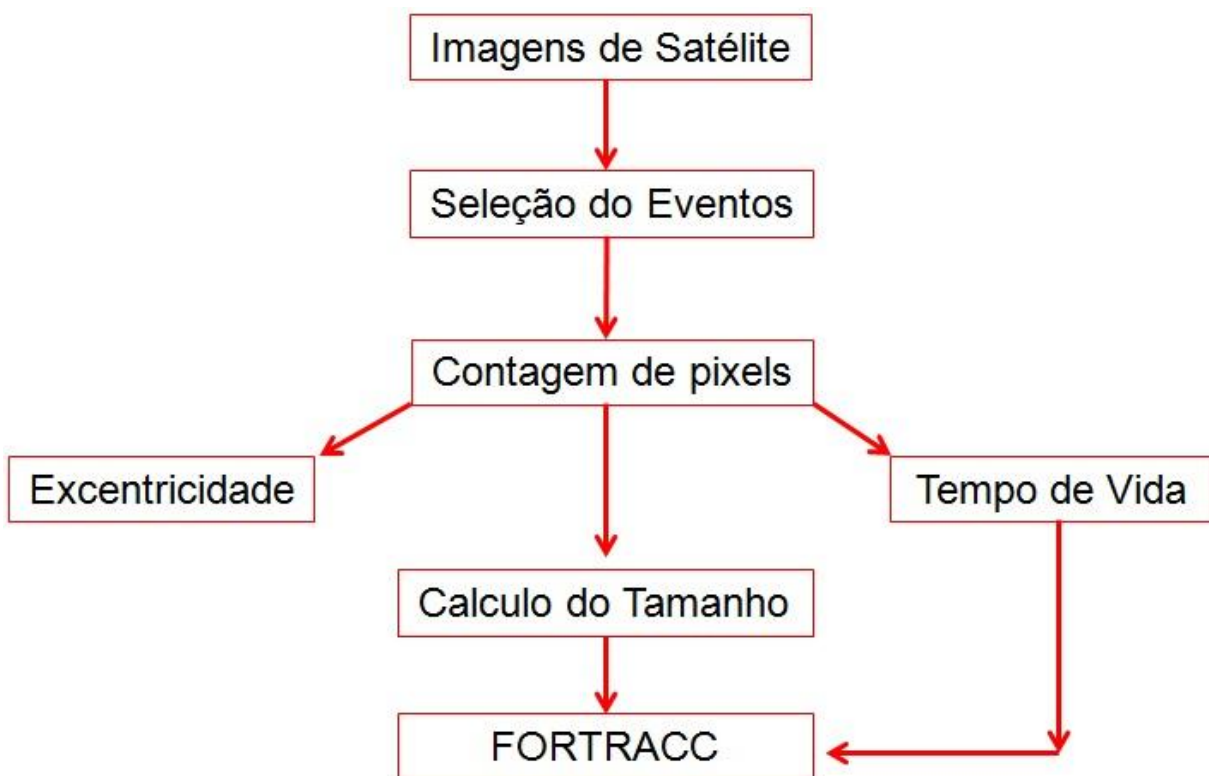
As informações publicadas pelos jornais “O Liberal - 2009/2010”, “Diário do Pará - 2010” e “Portal Amazônia - 2009”, referentes a impactos provocados no meio urbano durante a ocorrência da precipitação intensa relacionada aos SCMC's sobre a região nordeste do

estado do Pará, principalmente sobre a região metropolitana de Belém foram usadas para as análises do estudo de caso.

### 4.3 ANÁLISE DOS DADOS

A identificação e caracterização dos SCMC's foram realizadas de acordo com o fluxograma (Fig.9), que mostra a sequência para a seleção dos eventos, cálculos da excentricidade, tempo de vida, tamanho e validação dos parâmetros calculados pelo aplicativo FORTRACC.

Figura 9 - Fluxograma da sequência da seleção e análise dos SCMC's.



No processo de identificação dos SCMC's foi utilizada a metodologia proposta por Maddox (1980) que considera como parâmetros fundamentais a: Excentricidade, Tamanho e Tempo de Vida.

Para obter a excentricidade do sistema foi selecionada a imagem de satélite do momento do máximo desenvolvimento do SCMC em seguida contabilizado a quantidade de pixels nos sentidos zonal e meridional e então foi calculado o valor da excentricidade pela relação (eixo menor/ eixo maior), considerado 0,7 como o valor mínimo de circunferência aceitável para um sistema circular (MADDOX, 1980).

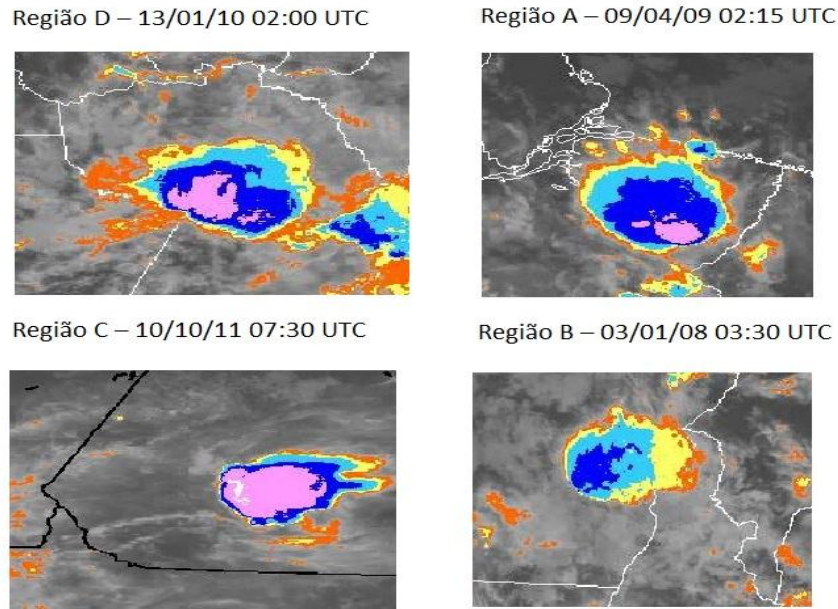
Para a estimativa do tempo de duração, foi considerado o momento inicial da formação nebulosa até a dissipação total da mesma (VITORINO; SILVA; ALVES, 1997).

Para a estimativa do Tamanho do SCMC foi usado a metodologia propostas por Anabor (2008) e Pinto e Campos (2009), através da contagem de pixels da área sob a influência do SCMC, na imagem de satélite, no seu momento de máximo desenvolvimento. Após a contagem, foi estimada a área do sistema pela relação  $\Sigma(\text{n}^\circ \text{ de pixel}) \times \text{resolução espacial da imagem}$ . O valor calculado foi validado usando os dados produzidos pelo aplicativo FORTRACC apresentando uma boa aproximação.

Essa relação foi proposta devido à ausência de dados do FORTRACC antes de dezembro de 2009, impossibilitando o uso direto do aplicativo para todo o período de estudo (jan2008-mai2012). Assim, para as informações de área para o período de 2008 a novembro de 2009 foi usada esta relação proposta neste trabalho.

Devido ao tamanho dos SCMC's tropicais apresentarem em sua maioria dimensões inferiores as definições de Maddox (1980) (Fig. 10), foi proposta uma tabela de classificação por tamanho, seguindo os mesmos princípios de Vitorino, Silva e Alves (1997) (Tabela 2). No caso, os sistemas se classificaram de 1 a 4, sendo a classificação 1 para todos os sistemas que atingiram tamanho entre 1000 km<sup>2</sup> a 5000 km<sup>2</sup> e tempo de vida médio de 6 horas. A classificação 2 para todos os sistemas que atingiram tamanho maior de 5000 km<sup>2</sup> e menor/igual a 10.000 km<sup>2</sup> e tempo de vida médio de 7 horas e a classificação 3, todos os sistemas que atingiram tamanho maior que 10.000 km<sup>2</sup> e menor/igual a 15.000 km<sup>2</sup> e tempo de vida médio de 7 horas. E por último a classificação 4 todos os sistemas com tamanho superior a 15.000 km<sup>2</sup> e tempo de vida médio de 10 horas.

Figura 10 - Exemplos de SCMC's observados na região equatorial, sobre o estado do Pará.



Fonte: CPTEC/INPE

Tabela 2 - Classificação de SCMC's por tamanho, elaborada a partir da observação das características espaciais dos sistemas, durante o período de 2008 a 2012.

Classificação	Tamanho (T) km <sup>2</sup>	Tempo Médio de Vida
1	$(1 \times 10^3 < T \leq 5 \times 10^3)$	6 hs
2	$(5 \times 10^3 < T \leq 10 \times 10^3)$	7 hs
3	$(10 \times 10^3 < T \leq 15 \times 10^3)$	7 hs
4	$(15 \times 10^3 < T)$	10 hs

A Amazônia Oriental foi dividida em quatro regiões de estudo (A, B, C, e D), sendo a região nordeste do estado do Pará representado pela letra (A), sudeste (B), sudoeste (C) e noroeste (D), para a identificação do local geográfico preferencial para a formação dos SCMC's (Fig. 11).

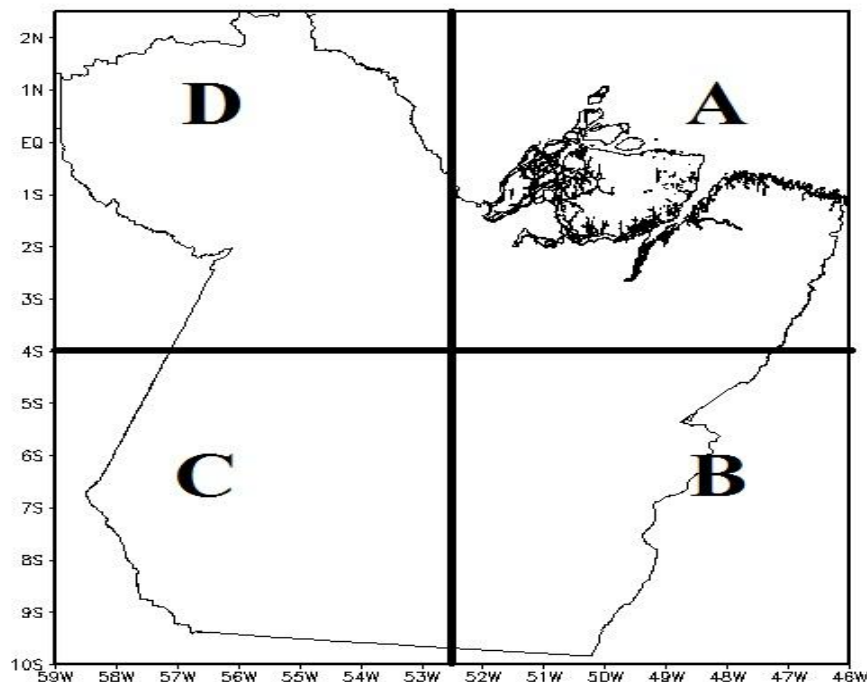


Com dos dados de vento e TSM do NCEP/NCAR foram encontradas as variações da circulação atmosférica e da temperatura dos oceanos Pacífico e Atlântico entre os anos de 2008 a 2011, durante a ocorrência de episódios de El Niño e La Niña e Dipolo do Atlântico.

Dentro de cada região foi analisado o possível papel do desmatamento, relevo e hidrografia em relação a gênese dos SCMC's.

A partir dos dados horários de precipitação estimado com a técnica CMORPH, foi feita a quantificação pontual do volume pluviométrico associado aos SCMC's. Através da visualização espacial da estimativa de precipitação, o ponto de pixel máximo foi considerado representativo do máximo volume pluviométrico precipitado sobre a região.

Figura 11 - Divisão da área de estudo em regiões. Região A (nordeste paraense); Região B (sudeste paraense); Região C (Sudoeste paraense) e Região D (Noroeste paraense).



Em seguida, foram selecionados alguns dos SCMC's estudados neste trabalho, que se formaram sobre a região nordeste do estado do Pará, principalmente sobre a região metropolitana de Belém, por ser a maior e mais importante metrópole da Amazônia oriental, com o intuito de mostrar os impactos ambientais causados durante a passagem de sistemas convectivos intensos em centro urbano. Todas as informações foram obtidas através de publicações em mídias locais, como a página online do jornal “O Liberal”, “Diário do Pará”, “G1 notícias” e “Portal Amazônia”.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS SCMC's.

Foi observado um total de 143 casos de SCMC's (Tabela 3) para o período janeiro de 2008 a maio de 2012, os quais obtiveram maior frequência para 2008, 2009 e 2011. A Tabela 3 mostra que a formação dos SCMC's ocorreu preferencialmente para as regiões A (nordeste) e D (noroeste), ao longo de todo o período de estudo.

Observando a Figura 12, nota-se que a maior parte dos sistemas observados foram da classificação 1 e 2, sendo os anos de 2009 e 2010, os sistemas de classificação 1 foram os mais frequentes e nos anos de 2008 e 2011, os sistemas de classificação 2 apresentaram maior número de eventos. Os SCMC's de classificação 3 e 4, que representam os maiores sistemas (acima de 10.000 km<sup>2</sup>) foram os menos frequentes, observados principalmente nos anos de 2009 e 2011.

Com exceção do ano de 2010, os SCMC's apresentaram frequência parcialmente regular, com quantitativo acima de trinta eventos anuais. Devido aos SCMC's, assim como todos os sistemas de mesoescala, dependerem das características físicas, dinâmicas e locais para se formar, a frequência dos SCMC's no ano de 2010 foi abaixo do quantitativo observado nos anos anteriores e no ano posterior, isto leva ao questionamento do que pode ter alterado a frequência dos sistemas neste ano?

Ainda na Figura 12, nota-se que os menores sistemas representam a maior parte da amostra de SCMC's observada, logo o tempo de vida médio (Fig. 13) que ficou entorno de 5 a 7 horas, inferior aos sistemas encontrados em latitudes médias tanto no hemisfério norte como no sul, que possuem média de 10 horas de vida (MADDOX, 1980; VELASCO; FRITSCH, 1987.; MACHADO et al., 1997), pode estar relacionado com o tamanho reduzido dos SCMC's amazônicos, resultado que se assemelha ao encontrado por Viana et al., (2009) que detectaram sistemas com tamanho proporcional ao seu tempo de vida, ou seja, quanto mais (menos) duradouro o sistema maior (menor) é o seu tamanho.



Figura 12 - Variação anual da área dos SCMC's para o período de janeiro de 2008 a dezembro de 2011. As cores representam a classificação proposta na Tabela 2. Onde a classificação foi expressa em cores (classificação 1 em azul, 2 em vermelho, 3 em verde e 4 em roxo).

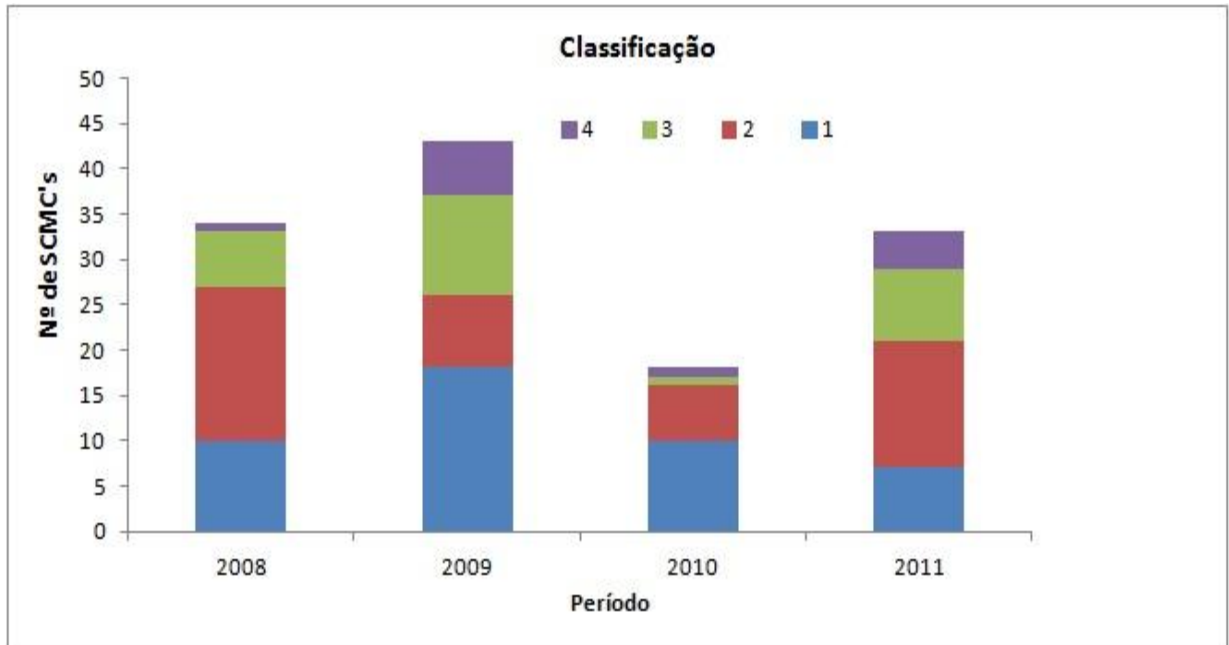
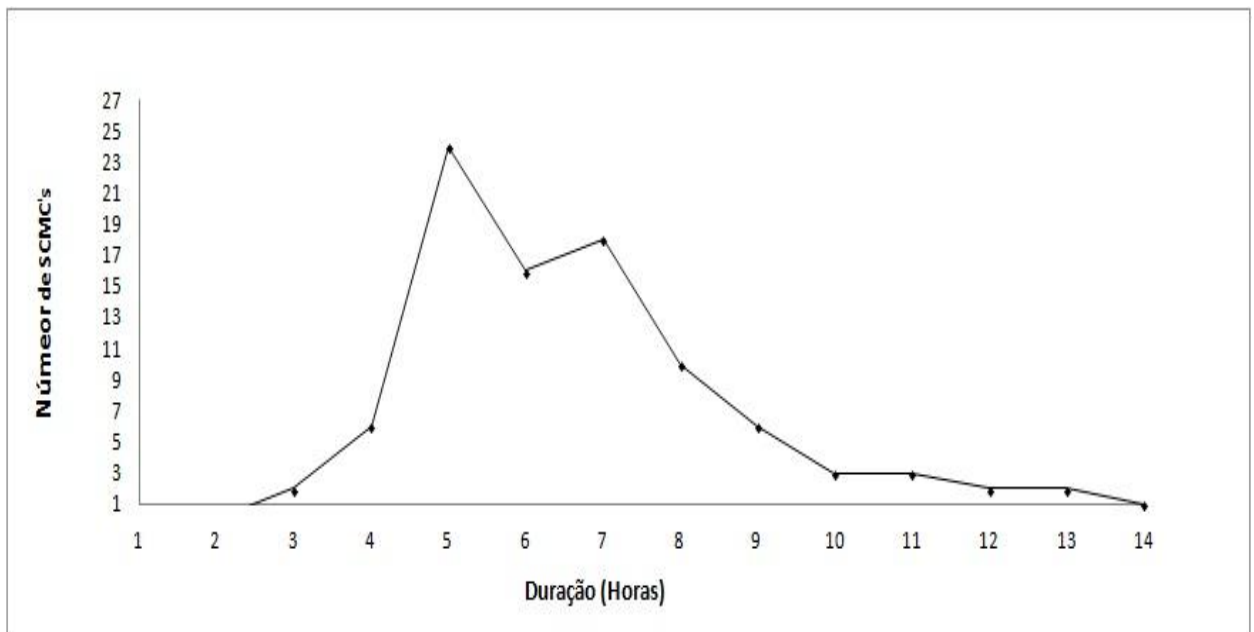


Figura 13 - Tempo de Vida dos 143 SCMC's observados entre janeiro de 2008 a maio de 2012.



A variação anual dos SCMC's pode estar relacionada com dois fenômenos de grande escala interanual: o ENOS (El niño Oscilação Sul) e o Dipolo do Atlântico, que afetam a

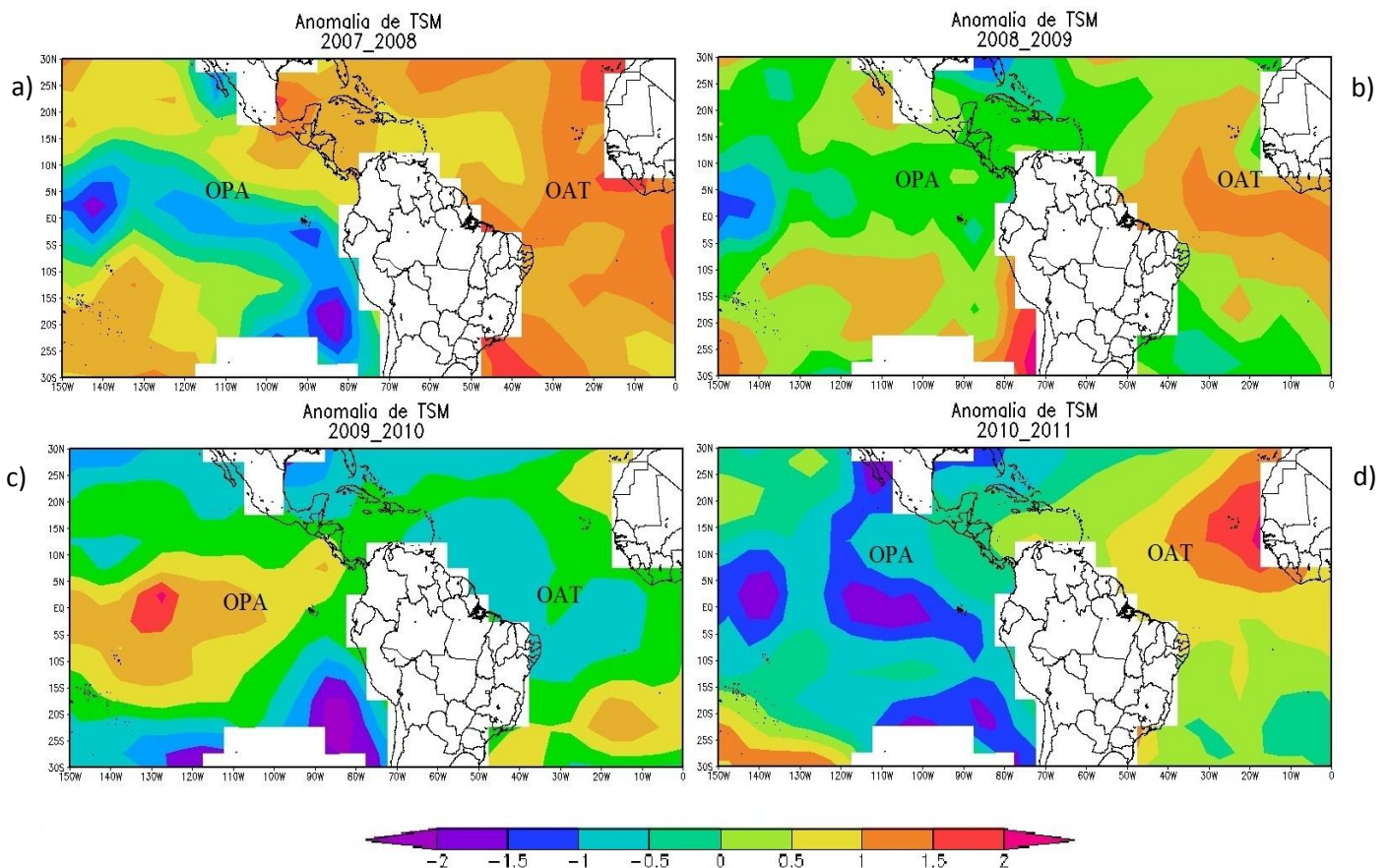
região Amazônica principalmente no primeiro semestre de cada ano, período que também concentrou a maior parte dos SCMC's observados (Tabela 2).

Segundo o monitoramento do oceano Pacífico (OPA) feito pelo NOAA, os anos de 2008, 2009 e 2011 apresentaram ocorrência do fenômeno La Niña, sendo que nos anos de 2008 e 2011 as anomalias negativas chegaram a  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente (Fig.14).

Essa anomalia de temperatura provoca uma alteração na Célula de Walker, principalmente na região equatorial, gerando um movimento ascendente do ar principalmente sobre a bacia Amazônica potencializando a convecção local e favorecendo a formação dos SCMC's, principalmente na região leste da Amazônia (Fig.15).

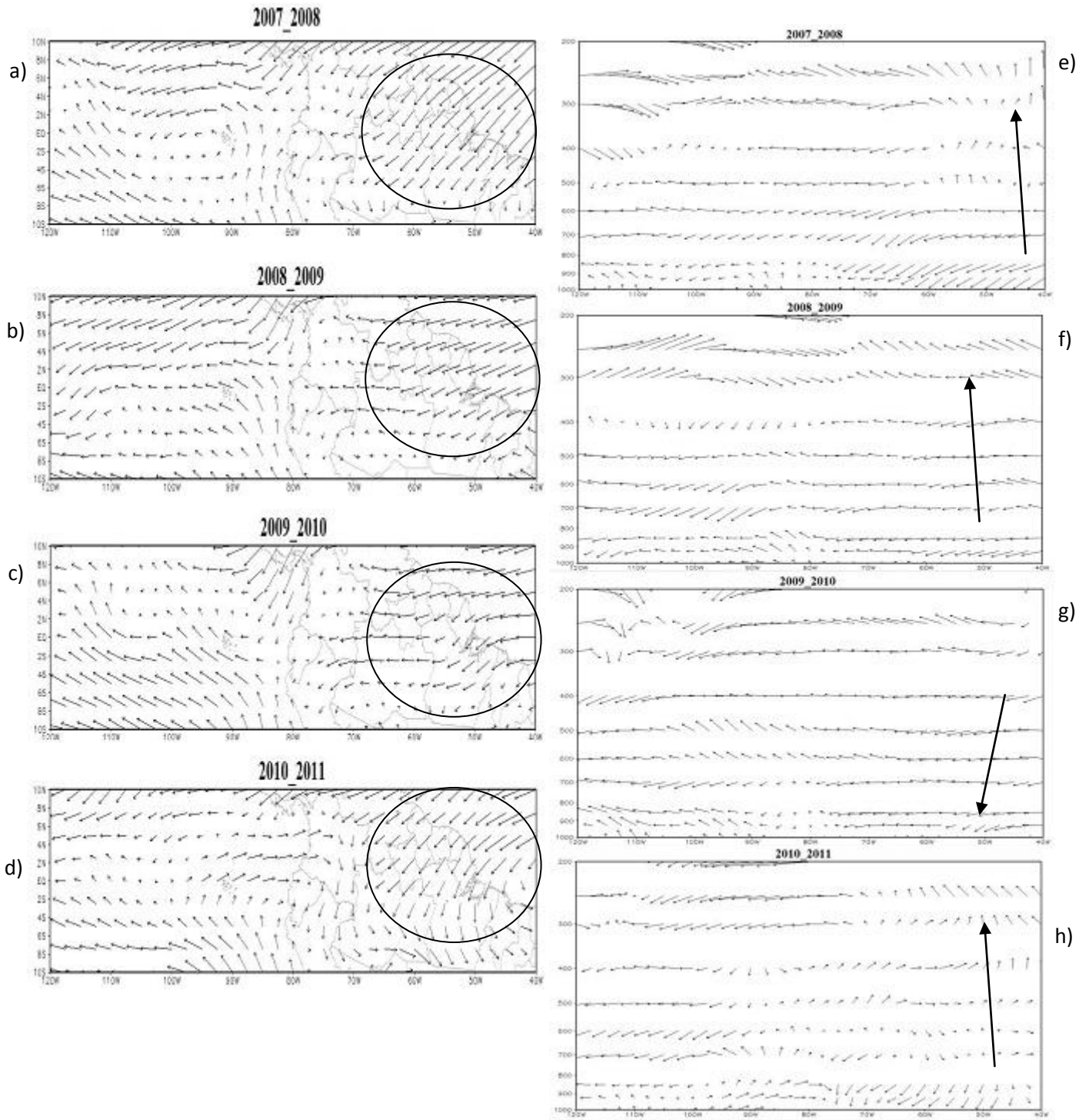
Assim, o maior número de SCMC's observados nos anos de 2008, 2009 e 2011, pode ter sido intensificado pela ocorrência de um forte La Niña.

Figura 14 - a) Anomalia de TSM do OPA; b) TSM do OPA durante um evento de La Niña fraco; c) TSM do OPA durante a ocorrência de um evento de El Niño forte; d) TSM do OPA durante a ocorrência de um La Niña forte e a TSM do OAT durante a ocorrência do Dipolo positivo.



Fonte: NCEP/NCAR

Figura 15 – Variação interanual da intensidade da circulação média horizontal no nível de 925hPa sobre a região amazônica (a); (b); (c); (d). Variação interanual da intensidade da circulação média vertical sobre a região amazônica (e); (f); (g); (h).



Fonte: NCEP/NCAR



Ainda segundo o monitoramento do oceano feito pelo NOAA no de 2010 houve a ocorrência de um evento intenso de El Niño com anomalias positivas de 1,6 °C. É do conhecimento científico que os eventos de El Niño influenciam diretamente na modulação dinâmica da circulação atmosférica zonal sobre a região da Amazônica oriental inibindo os processos convectivos (MOLION, 1987). Sendo esta uma das possíveis razões pela qual a frequência do ano de 2010 foi significativamente inferior aos outros anos estudados.

Entretanto, o ano de 2011, que apresentou uma anomalia de TSM do OPA negativa muito próxima da ocorrida no ano 2008, foi observada uma alteração na frequência dos sistemas na região nordeste do estado do Pará.

Essa característica pode estar relacionada com outro fenômeno de anomalia de temperatura da superfície do mar, o Dipolo do Atlântico, que segundo o monitoramento feito pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), estava atuando em sua fase positiva, característica que pode levar a inibição dos processos convectivos, principalmente no litoral norte do Brasil.

O padrão de Dipolo do atlântico é caracterizado por apresentar anomalias de TSM com sinais opostos ao norte e ao sul do equador sobre o OAT Tropical (HASTENRATH; HELLER, 1977.; MOURA; SHUKLA, 1981). Tal padrão de anomalias de TSM possibilita a ocorrência de gradientes meridionais de anomalias de TSM, os quais influenciam bastante na posição latitudinal da ZCIT, alterando assim a distribuição sazonal de precipitação sobre o Atlântico Equatorial, parte norte do Nordeste do Brasil, no litoral leste e na parte central da Amazônia (NOBRE; SHUKLA, 1996).

Segundo observações da FUCEME no ano de 2008, o Dipolo do Atlântico apresentou anomalias negativas de TSM, ou seja, houve uma condição favorável a intensificação da convecção local da região amazônica tanto do OPA Tropical quanto do OAT Tropical, característica não observada no ano de 2011, onde apesar da condição favorável do OPA tropical, a ocorrência de um Dipolo positivo no OAT inibiu a convecção, principalmente na parte leste da Amazônia Oriental.

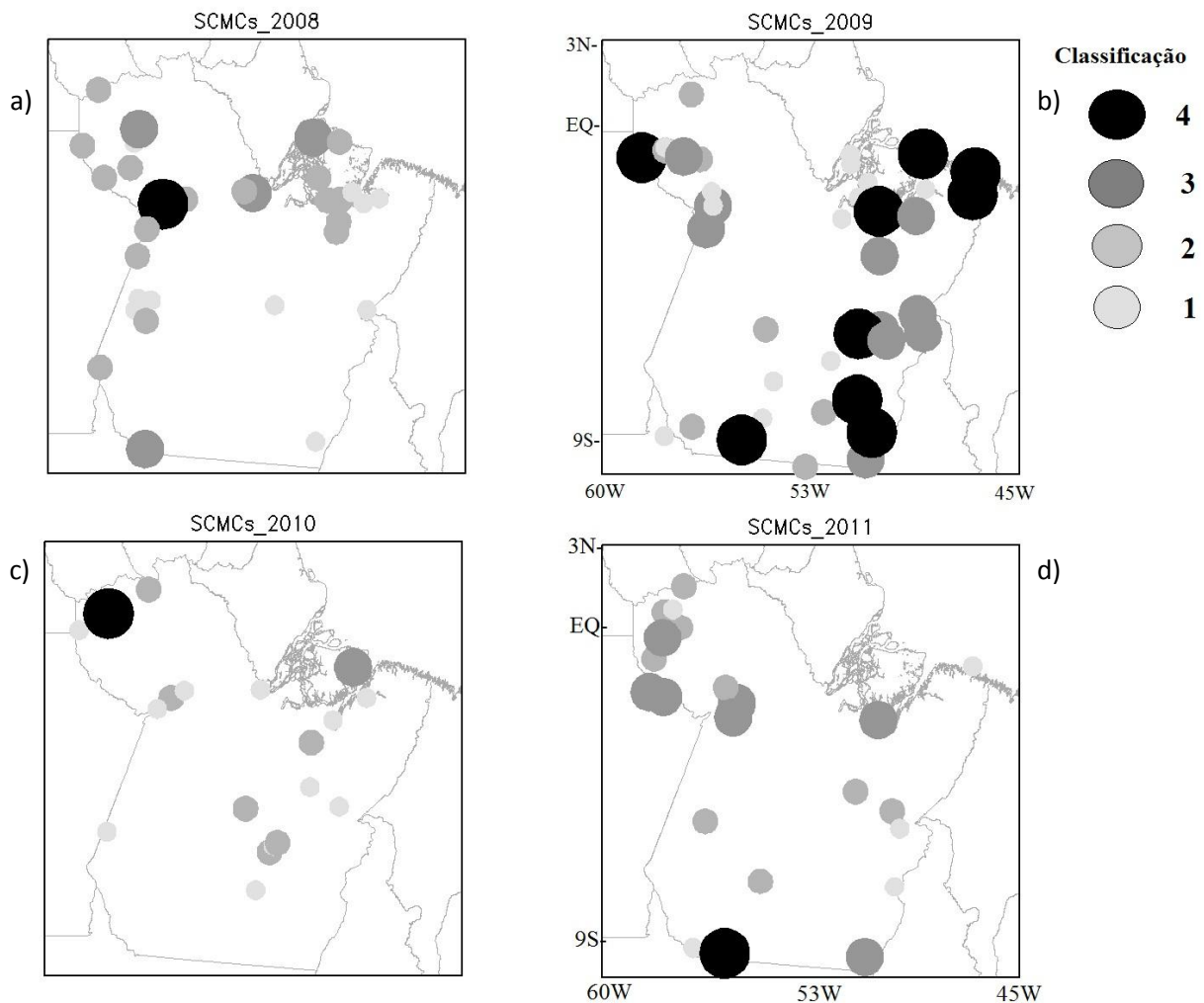
Essa hipótese pode ser a explicação da variação espacial dos sistemas, apresentada na Figura 16, onde observa-se que no ano de 2008 (Fig. 16 a)), os fenômenos oceânicos de grande escala foram favoráveis a convecção que tanto na região A (nordeste) como na D (noroeste) do estado do Pará com frequência bem elevada.

Observa-se para 2011 (Fig. 16 d)) a frequência dos SCMC's foi menor na região A (nordeste), e os sistemas de maior desenvolvimento espacial localizaram-se na região D (noroeste). Condição que pode estar relacionada com a ocorrência do Dipolo positivo no

Atlântico que pode ter inibido os processos convectivos principalmente no litoral leste, levando a diminuição da frequência dos SCMC's nesta região.

Observou-se que a frequência dos SCMC's é considerável em todo o território do estado do Pará. Contudo, as regiões A e D apresentaram o maior quantitativo, principalmente entorno da Ilha de Marajó (Fig. 16 (d)). Essa característica pode ser atribuída a grande disponibilidade de umidade oriunda da proximidade do oceano bem como os grandes rios que cercam o litoral da ilha do Marajó.

Figura 16 – As imagens a); b); c) e d) mostram a distribuição espacial do total anual dos SCMC's no período de janeiro de 2008 a Dezembro de 2011, conforme tabela 2 de classificação.



Em média os SCMC's no estado do Pará apresentaram um tamanho de 8.000 km<sup>2</sup>, sendo este resultado comparável com as observações de Vitorino, Silva e Alves (1997) e

Salio, Nicolini e Zipser (2007), que estudando a região tropical, encontraram sistemas similares no nordeste brasileiro e na região sul da Amazônia, respectivamente.

Os sistemas formam-se preferencialmente no final da tarde, nas primeiras horas da noite e durante a madrugada, sendo os horários entre as 20hs e 22hs e entre as 02hs e 4hs (hora local) os momentos mais favoráveis para a formação dos SCMC's (Fig. 17).

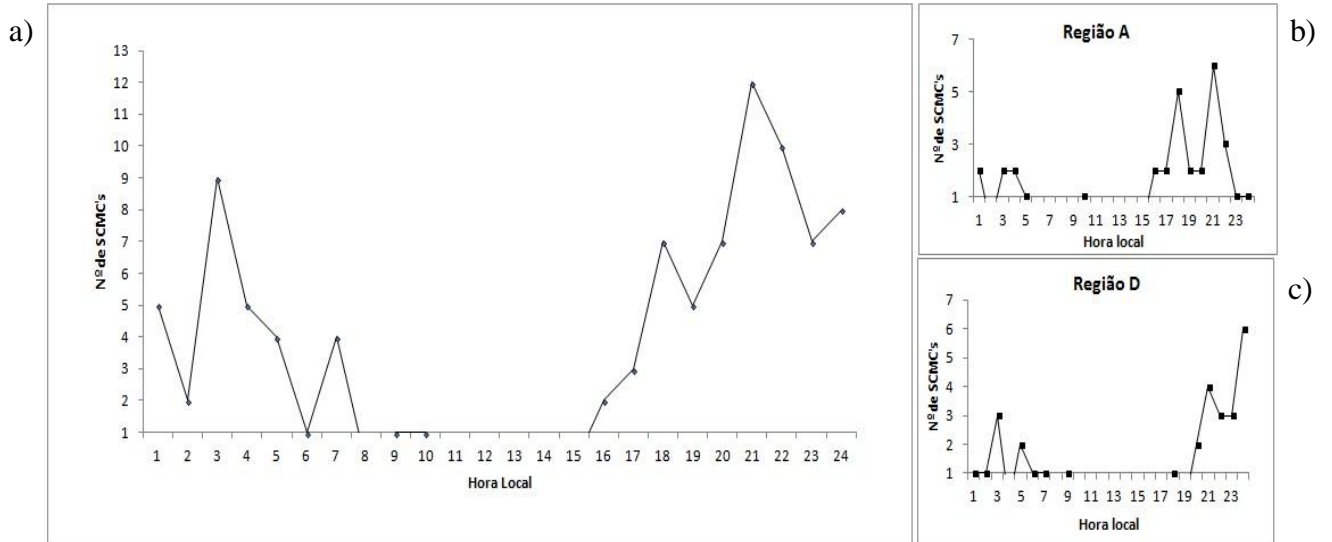
Nas duas regiões de maior ocorrência, A (nordeste) e D (noroeste), possivelmente as características da superfície são fatores determinantes no horário preferencial de formação dos sistemas. Na região A (nordeste), os sistemas começam a se formar por volta das 16 horas, sendo os horários das 18 horas e 21 horas os de maior incidência.

Segundo Salio, Nicolini e Zipser (2007), esta característica dos sistemas pode estar relacionada ao ciclo do aquecimento radioativo, onde o rápido resfriamento da superfície devido à ausência do sol gera condições de instabilidade atmosférica local, através de processos dinâmicos como a convecção induzida pela brisa marítima e a interação dos alísios com a circulação de brisa que geram sistemas convectivos (KOUSKY, 1980.; CAVALCANTI, 1982.; SILVA DIAS, 1987).

Na região D (noroeste) o surgimento dos SCMC's começa preferencialmente à noite a partir das 20 horas, apresentando a maior incidência no início da madrugada. Essa característica pode estar relacionada com a orografia, que nesta região chega a atingir até 300 metros de altura possibilitando condições favoráveis para a ocorrência da circulação brisa de vale e montanha que induz a formação de sistemas convectivos noturnos (RAMOS, 1975).



Figura 17 - a) Horário preferencial de surgimento de SCMC's no estado do Pará; b) Horário preferencial de surgimento da região nordeste da Amazônia oriental (A); c) Horário preferencial de surgimento da região noroeste da Amazônia oriental (D).

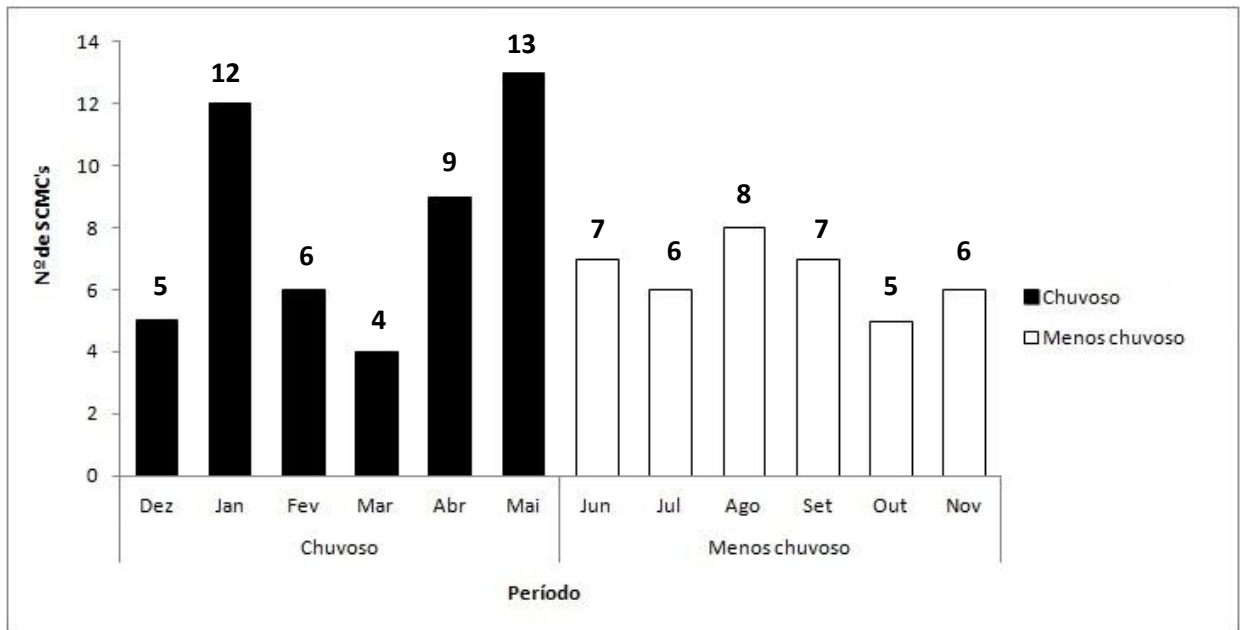


Analisando a variação sazonal dos SCMC's (Fig. 18) observa-se que a frequência entre os períodos chuvoso e menos chuvoso apresentaram variação significativa tanto na frequência quanto no quantitativo.

No período chuvoso observou-se a maior parte dos SCMC's, principalmente nos meses de janeiro e maio, quando também tem-se a atuação dos fenômenos de grande escala que modulam o período chuvoso Amazônico.

No período menos chuvoso, o maior número de casos de SCMC's observado em Agosto, entretanto a quantidade de SCMC's foi aproximadamente à mesma do período chuvoso. No geral, a frequência mensal do período menos chuvoso foi bem próxima, fator que pode estar relacionado à ausência da interferência da grande escala e a predominância das características da superfície.

Figura 18 - Variação sazonal (Período chuvoso e menos chuvoso) da frequência do SCMC's ocorridos durante os anos de 2008 a 2011.



## 5.2 RELAÇÃO SUPERFÍCIE E SCMC's

As regiões A (nordeste), D (noroeste), B (sudeste) e C (sudoeste) do estado do Pará, possuem quantitativos diferenciados da ocorrência de SCMC's. Característica que pode estar relacionada com as variações de relevo, hidrografia e a vegetação existente nestas quatro regiões.

As variações de relevo e a proximidade com o oceano geram variações térmicas (gradiente) que provocam circulações localizadas que potencializam a formação de sistemas de mesoescala (TRUCCOLO, 2011.; CORREIA; SILVA, 2003).

Observa-se na Figura 19 as variações de relevo e hidrografia na Amazônia oriental. As maiores elevações estão situadas nas regiões mais ao sul da Amazônia oriental onde há áreas com até 700 metros de altitude, favorecendo a ocorrência de brisas de Vale e Montanha que são fundamentais no processo de formação dos SCMC's.

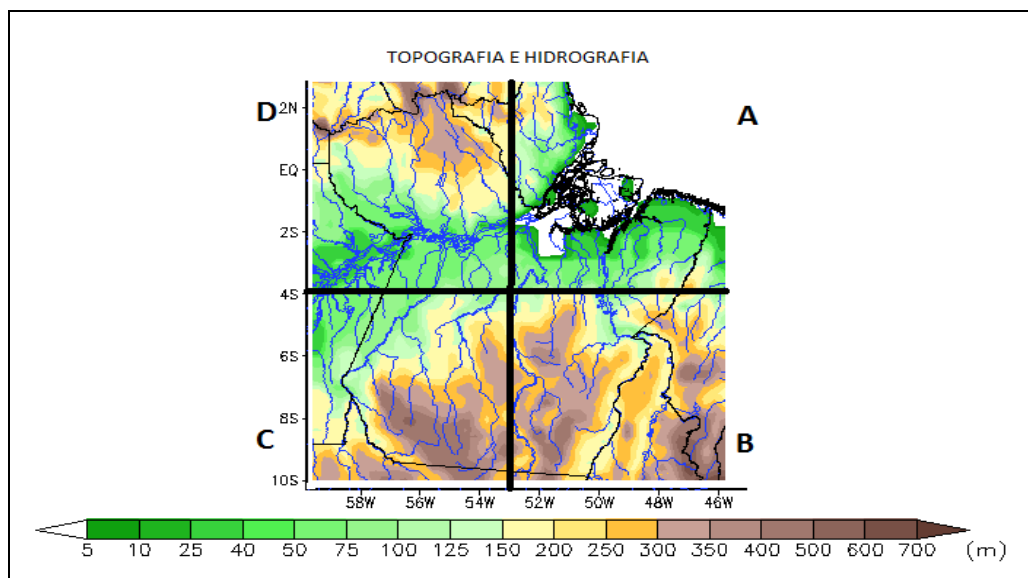
Os dados climatológicos do INMET mostram que o volume precipitado nas regiões B (sudeste) e C (sudoeste) são mais baixos que as regiões mais ao norte (A e D). Assim a disponibilidade de umidade, que é determinante para a formação dos sistemas meteorológicos é menor e depende diretamente dos sistemas sazonais como a ZCAS, que atuam somente durante o período chuvoso, e da atuação dos sistemas frontais, que na

maioria dos casos chegam enfraquecidos na região da Amazônia Oriental (OLIVEIRA; NOBRE, 1986).

A maior parte dos SCMC's que formam-se no estado do Pará ocorreu no período chuvoso (Fig. 20), quando a grande instabilidade gerada principalmente pela presença dos sistemas meteorológicos (ZCIT, ZCAS, SF's, OMJ e os DOL's) possibilitam condições de instabilidade atmosférica e disponibilidade de umidade favoráveis a ocorrência dos sistemas.

No período menos chuvoso, com a ausência dos sistemas da grande escala e a diminuição da umidade trazida pelos mesmos, a frequência dos SCMC é menor. Entre as regiões de estudo, apenas o nordeste (A) permaneceu com uma frequência muito próxima nos dois períodos sazonais (Fig. 20). Esta característica é justificada pela grande disponibilidade de umidade durante todo o ano, pois essa é a única região costeira dentre as demais, além da circulação brisa marítima que favorece as condições necessárias para a ocorrência de um quantitativo significativo de SCMC's durante todo o ano (Fig 21).

Figura 19 - Variação do relevo e hidrografia das regiões de estudo, onde A (nordeste), B (sudeste), C (sudoeste) e D (noroeste) da região da Amazônia oriental.



FONTE: SIPAM

Adicionalmente, na região A (nordeste) deságuam os principais rios da Amazônia oriental, e estar mais próxima do oceano, sofrendo influência direta dos fenômenos e sistemas de grande escala como o ENOS, Dipolo e a ZCIT. Tais fatores disponibilizam uma retroalimentação contínua de umidade gerando uma maior frequência de SCMC's (Figura 20).

As regiões A e D apresentam relevo com altitude inferior às encontradas nas regiões B e C, no entanto, devido a maior disponibilidade de umidade durante todo o ano favorece a manutenção de condições favoráveis a ocorrência de SCMC's (Fig. 21).

Figura 20 - Variação do quantitativo de SCMC's entre o Período Chuvoso e Período Menos Chuvoso as regiões nordeste (A), noroeste (D), sudeste (B) e sudoeste (C) da Amazônia oriental.

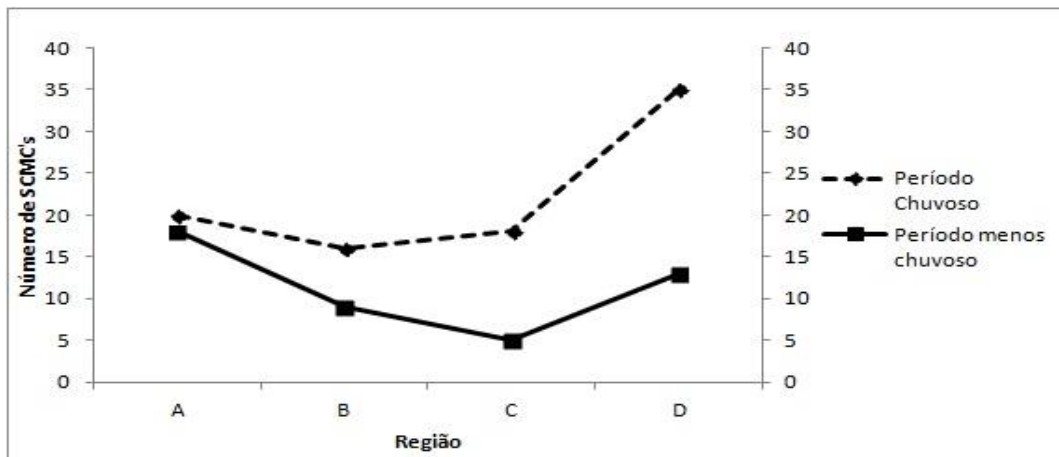
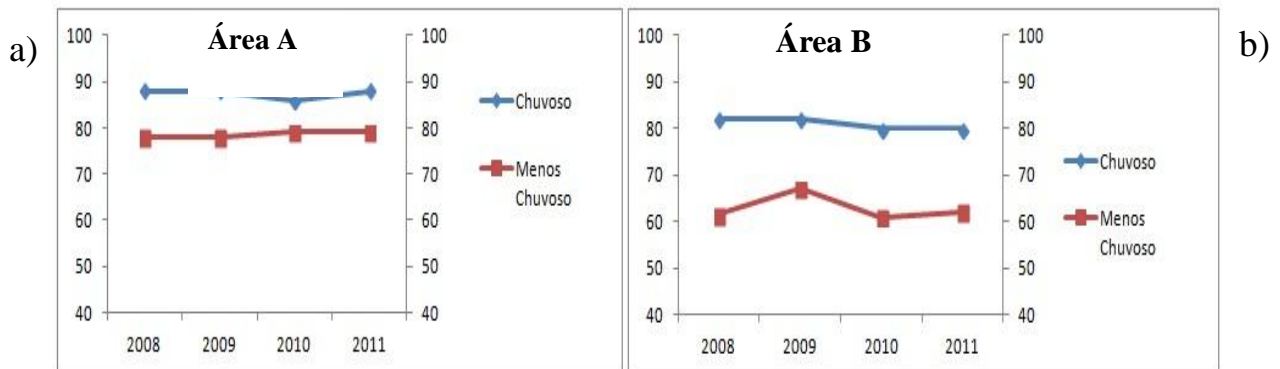


Figura 21 - a) Variação da Umidade Relativa na cidade de Belém (Norte do estado do Pará); b) Variação da Umidade Relativa na cidade de Conceição do Araguaia durante (Sul do estado do Pará).

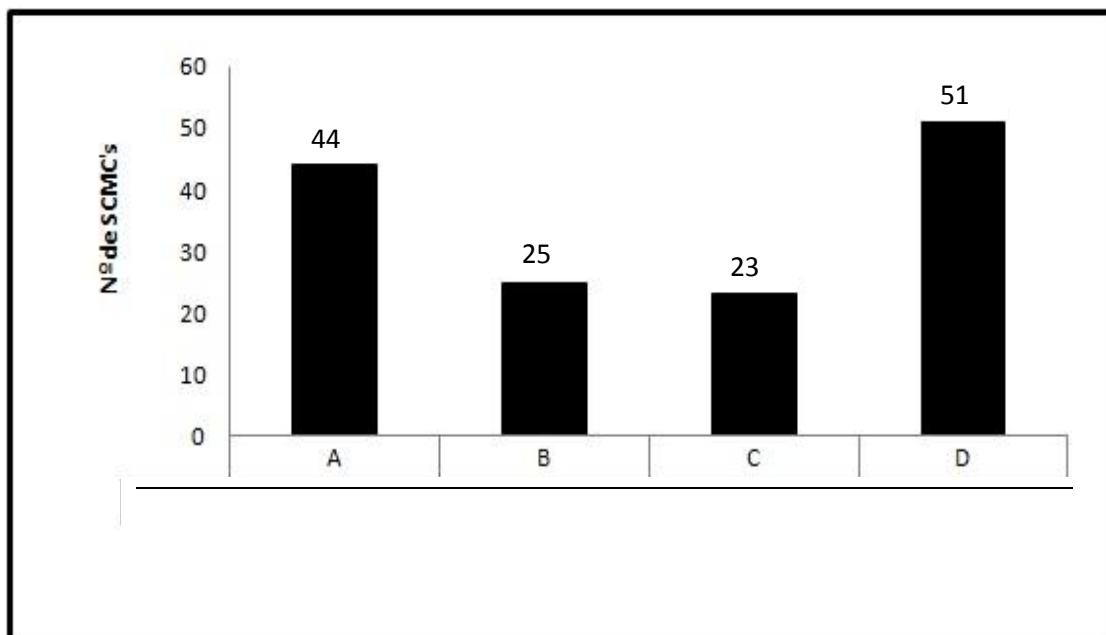


Fonte: Dados observados do INMET

A interferência do homem sobre o ambiente natural também pode estar influenciando na frequência dos SCMC's em algumas regiões da Amazônia oriental. Comparando as diferentes regiões de formação dos sistemas com as regiões de maior índice de desmatamento, observa-se que grande parte dos sistemas tendeu a ser formar nas regiões mais desmatadas, (regiões A e B) (Fig. 22).

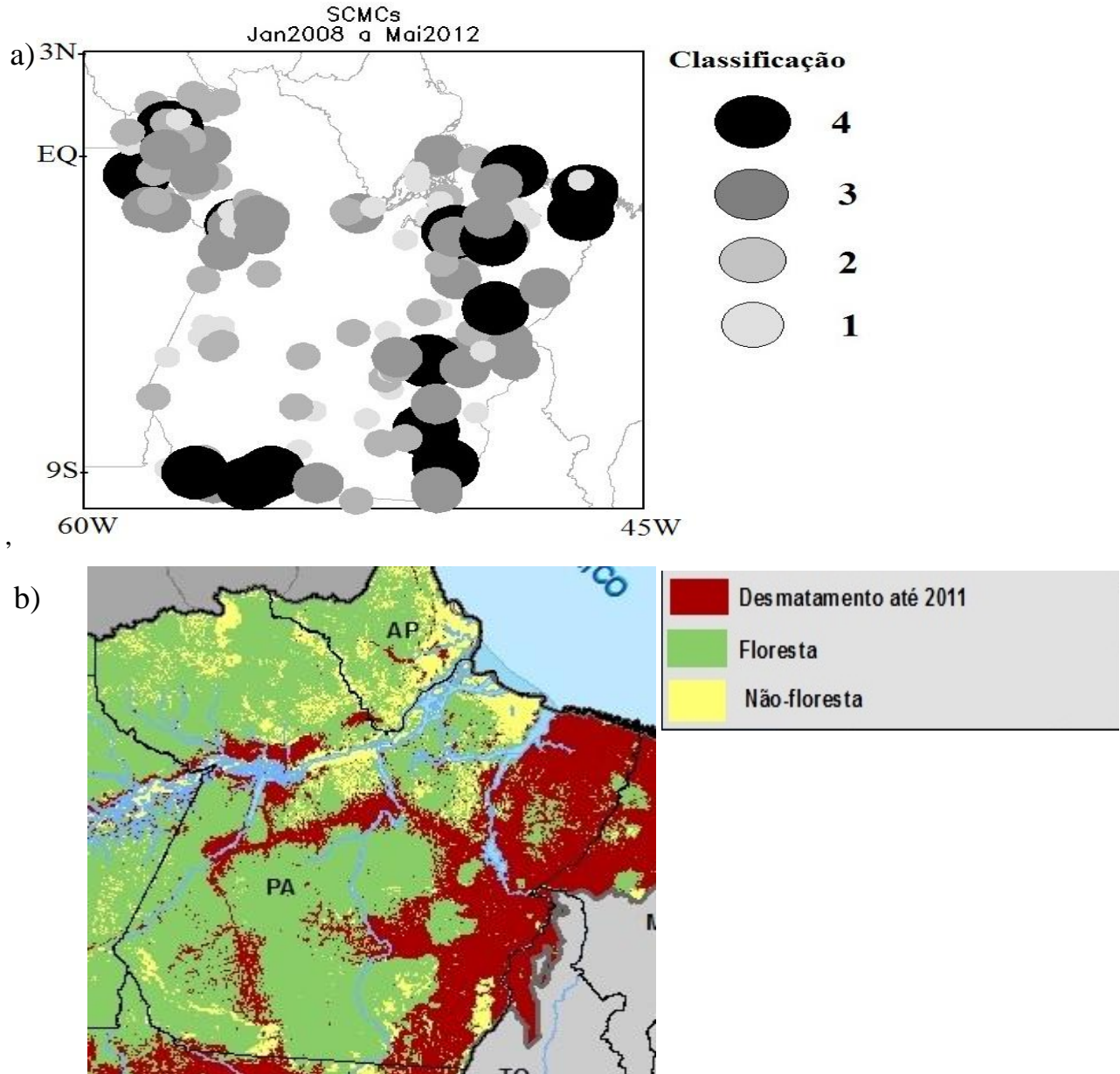
Observa-se que grande parte dos SCMC's formam-se nas regiões nordeste e sudeste, que apresentam a área de maior desmatamento, principalmente no limite entre a área vegetada e a não vegetada (Fig. 23 (a) e (b)). Tal condição provoca a formação da “circulação não convencional”, descrita pela primeira vez por Roy e Avissar (2002), que usando o modelo RAMS detectaram o aumento da nebulosidade nas áreas mais afetadas pelo desmatamento, sugerindo a presença de uma circulação local derivada da heterogeneidade na vegetação, principalmente no estado de Tocantins. Posteriormente Fearnside (2005) observou a presença da mesma característica de circulação definida por Roy e Avissar (2002), o qual notou que a “circulação não convencional” surge a partir do gradiente térmico gerando aquecimento diferencial entre a superfície vegetada e a não vegetada, essa circulação força a ascensão da umidade transportada da floresta para a área desmatada aumentando o potencial convectivo e a respectiva formação de nuvens.

Figura 22 - Variação do número de SCMC's por região, onde: A (região nordeste), B (região sudeste), C (região sudoeste) e D (região noroeste) da Amazônia oriental.



Ainda sobre a região A (nordeste) e D (sudoeste), Beltrão (2008) mostrou que a precipitação sobre a região conhecida como Arco do Desmatamento sofrerá um aumento no seu volume até o ano de 2050, devido a alteração no seu microclima gerado pelas mudanças na cobertura vegetal da superfície.

Figura 23 - a) Composição dos SCMC's observados de janeiro de 2008 a maio de 2012, seguindo a classificação por Tamanho, proposta na Tabela 2; b) índice de desmatamento na região da Amazônia oriental visualizada por satélite até o ano de 2011.



Fonte: Divisão de Meio Ambiente/INPE 2011.

O efeito urbano da região metropolitana de Belém tem alterado o microclima local, que devido ao grande concentração de asfalto e construção absorvem muito calor, levam ao surgimento de áreas com temperatura acima da média climatológica, gerando Ilhas de calor, que na cidade de Belém do Pará tem alterado as condições de tempo local aumento do volume pluviométrico e a frequência das chuvas (CORRÊA, 2011).

Contudo, devido ao pequeno período de observação (4 anos e 5 meses), ainda não é possível afirmar se a atividade antrópica está interferindo diretamente na frequência e na intensidade dos SCMC's ou se o padrão observado é provocado pela dinâmica atmosférica natural, oriunda do contraste térmico provocado pelo oceano, rios e/ou continente.

Nas regiões C (sudoeste) e D (Noroeste), onde a vegetação natural é predominante, observa-se um número significativo de sistemas, característica que pode estar relacionada à orografia destas áreas, as quais apresentam as regiões de maior altitude, 700 metros e 300 metros, respectivamente (Fig. 19). Tal fator influencia diretamente para a ocorrência da circulação da brisa de vale e montanha, que segundo Maddox (1980) é fundamental para a ocorrência de SCMC's, principalmente durante a noite como observado na figura 17(c).

Outra característica importante observada nas regiões C e D é a variação da intensidade dos SCMC's. Na região C, que possui focos de desmatamento principalmente na divisa do estado do Pará com o de Mato Grosso (Fig 23 (b)), observa-se a formação dos sistemas mais intensos exatamente sobre essa região. Na região D, o quantitativo dos sistemas é muito superior ao da região C, contudo, os sistemas mais intensos são menos frequentes. Nota-se que ausência da vegetação parece influenciar diretamente na intensidade dos SCMC's, com tudo, ainda não é possível quantificar a importância dessa interferência sobre intensidade dos sistemas.

A dinâmica local da Amazônia oriental caracterizada pelas circulações, potencializam os efeitos de brisas marítimas, lacustre e de vale-montanha, e das áreas de transição entre vegetação e desmatamento, transportando umidade do oceano para o continente ou das regiões florestadas para as desmatadas, que por sua vez sofre o processo de convecção culminando na formação de nuvens que podem, dependendo das condições meteorológicas, evoluir para sistemas mais intensos como os SCMC's.

### 5.3 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS RELACIONADOS A OCORRÊNCIA DE SCMC

O SCMC's da região equatorial amazônica, apesar de possuir tamanho e intensidade inferior aos sistemas que formam-se em latitudes médias (SALIO; NICOLINI; ZIPSER, 2007), os impactos promovidos por eles (SILVA; MOTA; LEAL, 2000.; LOPES; SARAIVA; PEREIRA, 2010.; VITORINO; SILVA; ALVES, 1997), são tão intensos quanto dos ocorridos nas regiões fora dos trópicos. Contudo, a frequência dos SCMC's mais intensos ocorrem principalmente nas regiões Central e Sul do Brasil (VELASCO; FRITSCH, 1987.; SALIO; NICOLINI; ZIPSER, 2007). Essa preferência é provocada devido à predominância de relevo acentuado e principalmente pela penetração de SF's, que trazem grande instabilidade para essas regiões, intensificando os processos convectivos locais (SILVA DIAS, 1996).

Os impactos socioambientais mais comuns relacionados a ocorrências de SCMC's nas regiões Central e Sul do Brasil são: vendaval, enxurrada e enchentes, os quais juntos representam mais de 80% das ocorrências registradas nessas regiões, onde as áreas mais afetadas são as que possuem maior urbanização (VIANA; AQUINO; MUÑOZ, 2009.; SILVEIRA; TEXEIRA, 2011).

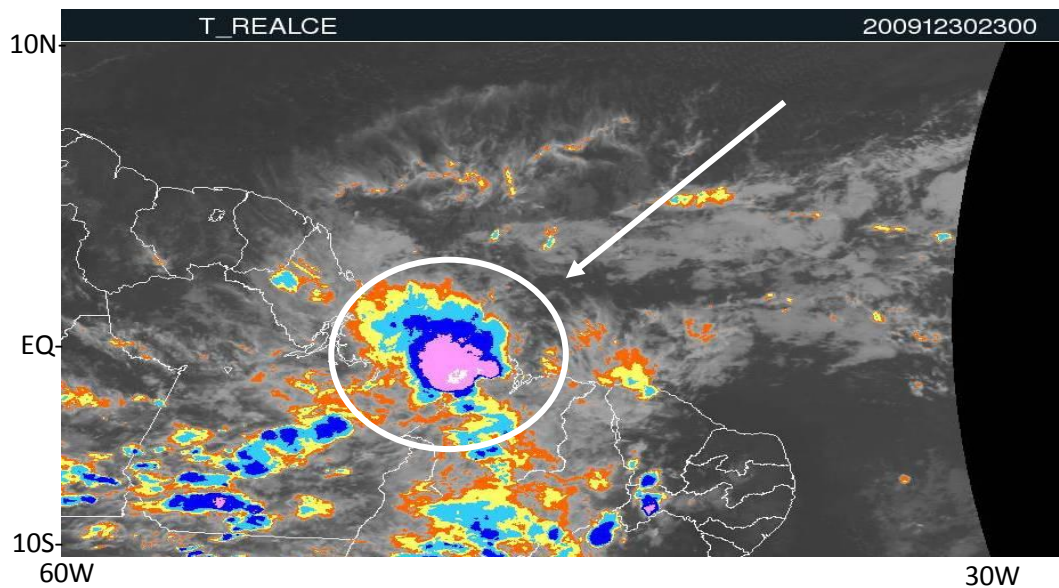
Assim, como já apresentado neste trabalho, devido algumas regiões da Amazônia oriental possuem maior tendência à formação de SCMC's, e considerando as áreas de maior concentração demográfica como as mais vulneráveis aos impactos socioambientais, foi selecionado a região nordeste do estado do Pará, por concentrar o maior número de cidades e concentração populacional da região amazônica (IBGE, 2010).

Desta forma, serão apresentados nessa seção, os impactos socioambientais associados a ocorrências de SCMC's no nordeste do estado do Pará, principalmente sobre a região metropolitana de Belém, o mais importante centro urbano e econômico da Amazônia oriental, publicados em edições online dos jornais "O Liberal - 2009/ 2010", "Diário do Pará - 2010", e "Portal Amazônia - 2009".



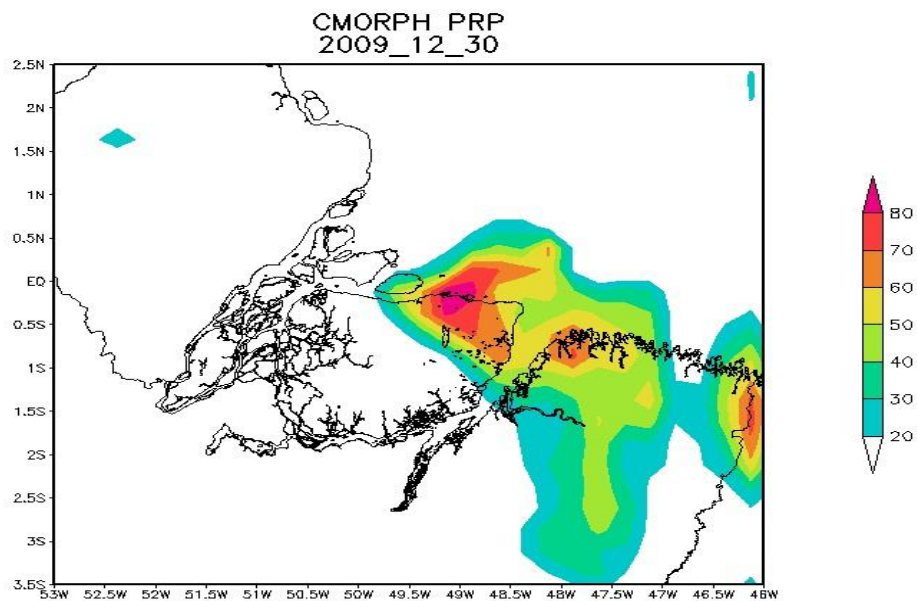
Na tarde do dia 30 de dezembro do ano de 2009, formou-se sobre a região nordeste do Pará um SCMC bastante intenso (Fig. 24), seu tamanho foi estimado em mais de 59.000 km<sup>2</sup>, classificação 4 (Tabela 2), sua duração foi entorno de 15 horas e o volume precipitado foi bastante intenso, principalmente nas cidades de Bragança, Barcarena, Castanhal e região metropolitana de Belém, onde observou-se taxa de precipitação de até 80 mm/h (Fig. 25).

Figura 24 - Imagem do satélite GOES 12 SCMC no Canal infravermelho realçado do Satélite, mostrando o SCMC no nordeste do Pará no dia 30/12/2009.



Fonte: Divisão de Satélite CPTEC

Figura 25 – Taxa da precipitação (mm/h) entre os horários de 14hs as 03hs local para o dia 30 de setembro de 2009.



Fonte: CMORPH/NOAA-30/12/2009.

Segundo “Portal ORM - 2009” a precipitação que ocorreu no dia 30 de dezembro 2009 afetou principalmente a localidade de Mosqueiro, distrito de Belém, onde houveram diversos transtornos a população local. A passagem do SCMC deixou vários bairros alagados, casas destelhadas pelo forte vento que acompanhou a chuva e falta de energia em quase todos os bairros da ilha, devido a queda de árvores sobre a afiação elétrica.

Contudo, todos os estragos provocados pela chuva no distrito de Mosqueiro foi apenas parte dos diversos transtornos e acidentes que ocorreram em toda a região nordeste do Pará, principalmente ao longo das autoestradas, onde foram registrados pelo menos cinco acidentes em menos de uma hora, com duas mortes. Segundo o “Portal Amazônia - 2009” que obteve informações junto a Polícia Rodoviária Federal, os acidentes concentraram-se entre a capital Belém e a cidade de Castanhal, na BR 316, a qual na tarde do dia 30 estava com vários pontos inundados, o que dificultou a identificação de buracos, além da baixa visibilidade provocada pela forte chuva que caía no momento dos acidentes.

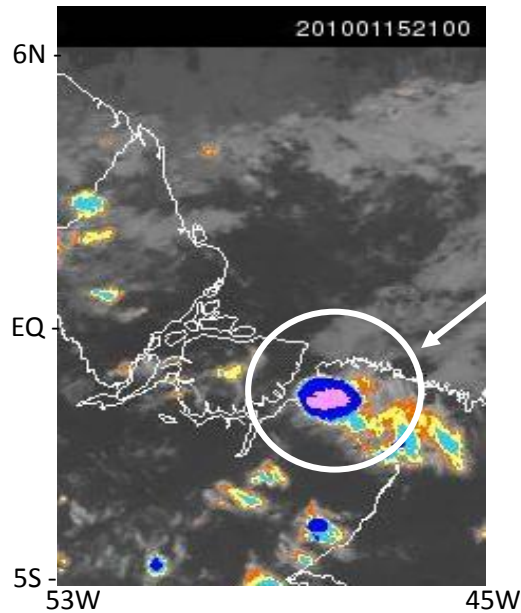
No final da tarde do dia 15 de janeiro de 2010, em notícias publicas nas paginas online dos jornais “O Liberal - 2010” e “Diário do Pará - 2010”, foram registrados vários transtornos provocados, durante a ocorrência de outra precipitação intensa que caiu sobre a região metropolitana de Belém.

Segundo o jornal “Diário do Pará - 2010” umas das vias de maior trânsito de veículos de Belém teve seu tráfego parcialmente interrompido, devido à queda de uma árvore, o que provou um intenso congestionamento no centro da cidade. Também ocorreu o destelhamento de algumas casas devido a forte vento que ocorreu durante a passagem do SCMC, provocando prejuízos para alguns moradores locais.

Segundo o jornal “O Liberal - 2010” algumas das principais vias da cidade ficaram totalmente alagadas, dificultando a passagem de carros e pedestres, e em um dos pontos mais críticos da cidade houve alagamento de casas e veículos, principalmente ao longo da Avenida João Paulo II, onde várias casas foram invadidas pelas águas da chuva.

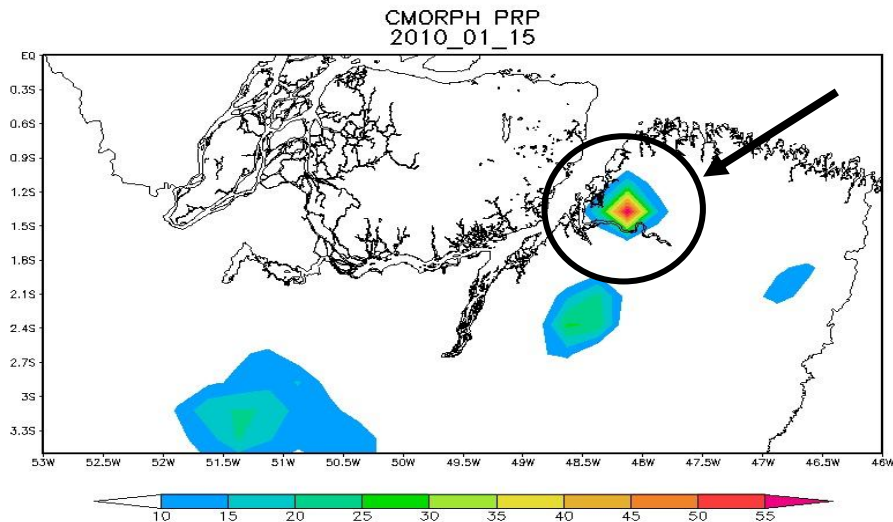
Do ponto de vista meteorológico, o SCMC que se formou sobre a região metropolitana de Belém (Fig.26), está entre os menores sistemas de sua categoria, se enquadrando na classificação 1 (Tabela 2), o qual atingiu um tamanho máximo de 1.904 km<sup>2</sup>, e apresentou tempo de vida de pouco mais de 6 horas. Porém sua precipitação, medida pelo INMET e estimada pelo CMORPH, foi acima dos 55 mm (Fig.27), volume que segundo a classificação do INMG (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica) de Portugal é considerado um aguaceiro forte.

Figura 26 - Imagem de satélite GOES 12, com o SCMC ocorrido sobre a região metropolitana de Belém, nordeste paraense, no dia 15 de janeiro de 2010, observado no Canal infravermelho realçado.



Fonte: Divisão de Satélite CPTEC

Figura 27 - Volume pluviométrico (mm/h) precipitado pelo SCMC ocorrido no dia 15 de janeiro de 2010 sobre a região metropolitana de Belém.



Fonte: Estimativa de precipitação CMORPH

Outro sistema convectivo circular foi que provocou vários transtornos na região metropolitana de Belém ocorreu no dia 07 de junho de 2011, o jornal “Diário do Pará Online - 2011” (Fig. 28).

Figura 28 - Imagens aéreas da Cidade de Belém encobertas pelas nuvens escuras e carregadas(a) momentos antes da forte chuva que caiu sobre a cidade. Cidade de Belém embaixo de chuva forte no final da tarde do dia 07/06/2011(b).



**a)**

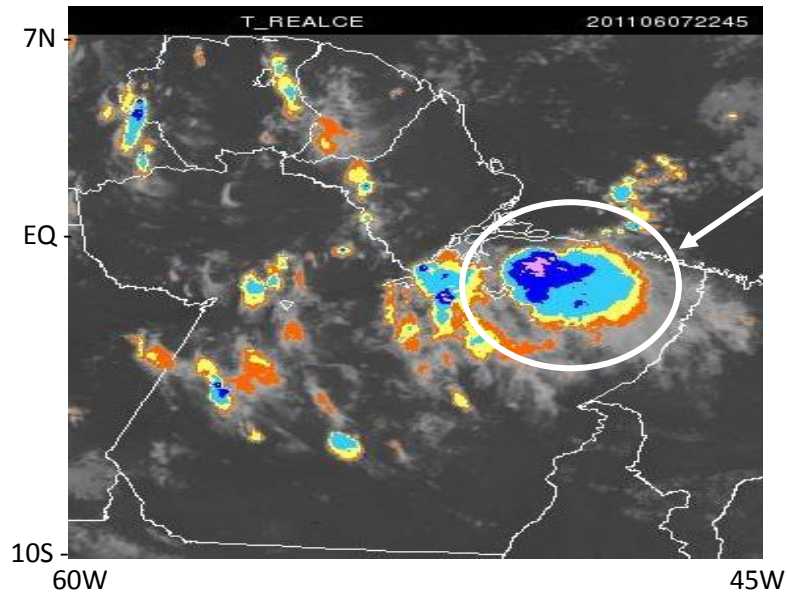


**b)**

Fonte: Diário Online 07/06/2011

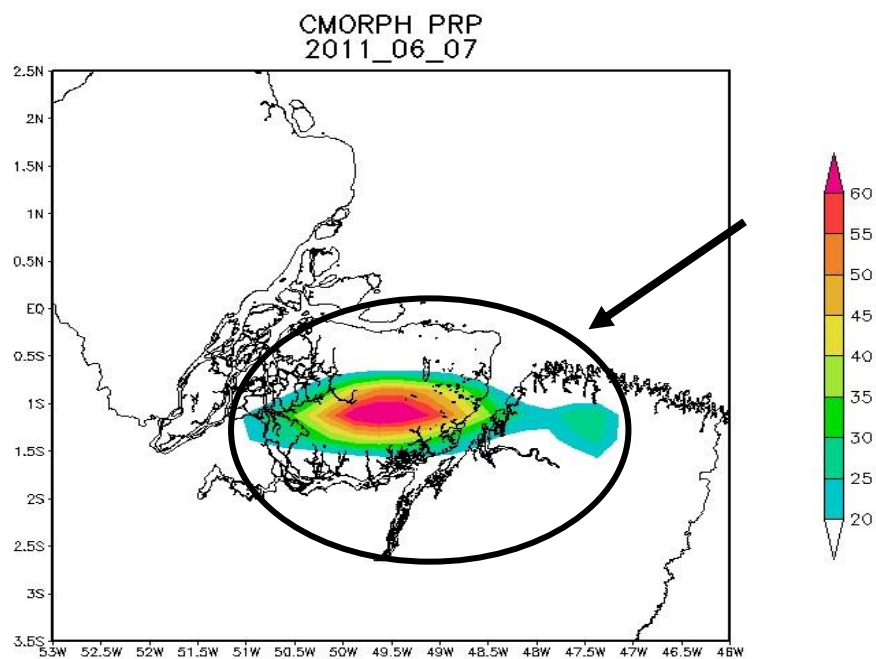
Do ponto de vista meteorológico, este SCMC (Fig. 29), atingiu o tamanho de 11.532 km<sup>2</sup>, classificação 3 (Tabela 2), tempo de vida de 7 horas e precipitação acima dos 60 mm (Fig. 30). A classificação da localização do SCMC, através do CMORPH e da imagem de Satélite é devido ao rápido deslocamento horizontal das nuvens, calculado por matrizes de propagação, como explicado por Araujo (2006).

Figura 29 - Imagem do SMC ocorrido sobre o nordeste paraense no dia 07 de junho de 2011, observado no Canal infravermelho realçado do Satélite GOES 12.



Fonte: Divisão de Satélites CPTEC

Figura 30 - Volume Pluviométrico (mm/h) precipitado durante a coerência do SMC no dia 07 de junho de 2011.



Fonte: Estimativa de precipitação CMORPH



A ocorrência de outro SCMC foi registrada pela mídia local, que segundo “Diário do Pará Online - 2011”, no final da tarde do dia 07 de junho de 2011, sobre a região metropolitana de Belém, uma intensa precipitação acompanhada de um forte vendaval, que começou no início da noite, causando em poucos minutos vários estragos como: ruas alagadas, queda de outdoors, um galho de árvore foi arrancado caindo sobre uma rede elétrica e desligando a energia de algumas casas.

Ainda segundo “Diário do Pará Online - 2011”, umas das consequências mais graves ocorridas durante a passagem do SCMC foi à queda da torre de uma Igreja no distrito de Icoaraci, região metropolitana de Belém (Fig. 31). O Capitão do corpo de bombeiros atribuiu este desabamento à intensa precipitação acompanhada de um forte vento que ocorreu sobre a região metropolitana de Belém durante a noite. A primeira notícia foi que o desabamento teria feito vítimas, porém essa informação foi descartada pelos frequentadores do local, os quais disseram que devido a forte precipitação que caía eles decidiram ir para a parte de trás do templo.

Figura 31 – Fotografia Igreja Sagrado Coração de Jesus, em Icoaraci, após a forte chuva e vendaval ocorrido durante a ocorrência do SCMC sobre a cidade de Belém do Pará.



Fonte: Portal ORM 07/06/2011

Nota-se que em todos os casos descritos, as principais ocorrências registradas foram: fortes precipitação, ventos intensos, seguidos de grandes alagamentos. Características semelhantes aos principais impactos provocados pela ocorrência dos SCMC's nas outras regiões do Brasil.

## 6 CONCLUSÃO

Este estudo teve como foco a observação das características dos Sistemas de Mesoescala Circulares que formam-se na Amazônia oriental, analisados através de imagens de satélite.

Os SCMC's Amazônicos possuem tempo de vida médio entre 5 e 7 horas de vida, inferior aos sistemas encontrados em latitudes médias, que apresentam tempo médio de 10 horas.

O horário preferencial de formação dos sistemas depende diretamente das características da superfície, onde, nas áreas mais planas, como a região nordeste, os SCMC's tendem a surgir no meio da tarde com pico máximo no início da noite, e nas regiões de relevo acentuado os sistemas tendem a se formar nas primeiras horas da noite com pico máximo no início da madrugada, como observado na região noroeste.

Os SCMC's formam-se principalmente no período chuvoso, onde os fenômenos da grande escala interanuais, ENOS e Dipolo do Atlântico, atuam intensificando ou inibindo a intensidade dos sistemas.

A área desmatada que estende-se da região A(nordeste) até a região B (sudeste), exerce preferência geográfica dos SCMC's mais intensos. A influencia da atividade antrópica, efeitos microclimáticos provocados pela urbanização e desmatamento, podem estar causando aumento na intensidade destes sistemas que formam-se principalmente na região nordeste do estado Pará.

Os impactos socioambientais anuais contínuos, decorrentes dos eventos de SCMC's, na região metropolitana de Belém, mostram-se tão repetitivos quanto os que ocorrem nas regiões, historicamente, de maior frequência de sistemas intensos no Brasil. A necessidade de ações mitigadoras, permanentes e eficazes, precisa tornar-se uma realidade presente no cotidiano da população da Amazônia oriental, ou a possibilidade de desastres naturais mais intensos será cada vez mais real.

Neste trabalho de Dissertação procurou-se analisar os Sistemas Convectivos de Mesoescala Circulares que formam-se na Amazônia oriental. Ao término da pesquisa foi observada a necessidade de maior detalhamento em dois itens:

- Utilizar uma série maior de dados que relacionem as várias modificações já sofridas pela superfície da Amazônia oriental com a frequência dos SCMC's.
- Utilizar modelos numéricos para um estudo mais detalhando da dinâmica que torna a região nordeste, principalmente no entorno da Ilha do Marajó, um dos locais mais favoráveis a ocorrência dos SCMC's.



## REFERÊNCIAS

- AMANAJAS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Rev. bras. meteorol.** [online]. ISSN 0102-7786. v. 27, n.4, pp. 423-434. 2012.
- ANABOR, V. **Sistemas convectivos de mesoescala no sul da América do sul: propagação em série contra o escoamento em baixos níveis.** 2008. Tese (Doutorado em Meteorologia). Coordenadoria de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- ARAUJO, A. N. **Simulação hidrológica com o uso de chuva Estimada por satélite.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais). Programa de Pós-Graduação. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- ARAUJO, A. N.; GUETTER, A. K. Validação da chuva estimada por satélite “CMORPH” na modelagem hidrológica do Alto Iguaçu. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12 n.3, 189-198. 2007.
- AUGUSTINE, J. A.; HOWARD, K. W. Mesoscale convective complexes over the United States during 1986 and 1987. **Mon. Weather Rev.**, v. 119, p.1575-1589. 1991.
- BARBOSA, R. L. **Interação das perturbações convectivas iniciadas na costa Norte do Brasil com Distúrbios Ondulatórios de Leste.** 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos. 2005.
- BASIST, A.; BELL, G. D.; MEENTEMEYER, V. 1994. Statistical relationships between topography and precipitation patterns. **J. Clim.**, v.7, p.1305–1315.1994.
- BELL, T. H. **As tempestades.** Trad. Heloisa Tavares. 1.ed. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura S.A.1963.
- BELTRÃO, J. C. **A influência do Arco do Desmatamento sobre o ciclo hidrológico da Amazônia.** 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-Graduação. Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

BONATTI, J. P.; RAO, V. B. Moist baroclinic instability in the development of north pacific and south american intermediate-scale disturbances, **J. Atmosphere Science**, v. 44, p. 2657-2667. 1987.

BORSATO, V. A.; SOUZA FILHO, E. E. Ação antrópica, alterações nos geossistemas, variabilidade climática: contribuição ao problema. **Revista Formação – Edição Especial – n.13 v.2.** 2002.

CAVALCANTI, I. F. A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais.** 1982. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José Dos Campos, 1982.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanálise, Boletim De Monitoramento e Analise Climática**, v. 4, INPE/CPTEC, p.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. **Mon. Wea. Rev.**, v.123, p.3163–3174. 1995.

COHEN, J. C. P.; BELTRÃO, J. C.; GANDU, A. W.; RAMOS-DA-SILVA, R. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura**, ano 59, n.3, p.36-39. 2007.

COLLISCHONN, E. Climatologia e gestão do espaço urbano o caso de uma cidade pequena. **Mercator** (Online), Fortaleza. v. 10, p. 53-70. 2010.

CONFORTE, J, C. **Um estudo de complexos convectivos de mesoescala sobre a America do Sul.** 1997. Tese (Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 1997.

CORREIA M. F.; SILVA DIAS M. A. F. Variação do nível do reservatório de sobradinho e seu impacto sobre o clima da região. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos.**, v. 8 n.1, 157–168. 2003.

CORREIA, F. W.; CANDIDO, L. A.; MANZI, A. O. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura (Sbpc). Jcr.**, v. 59, p. 39-43. 2007.

CORRÊA, L. V. **Análise dos efeitos térmicos da cidade de Belém utilizando imagens de satélite.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação. Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

DIRMEYER, P.A.; BRUBAKER, K.L. Characterization of the global hydrologic cycle from a back-trajectory analysis of atmospheric water vapor. **J. Hydrometeorology**, v. 8(1), p. 20-37. 2007.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e Consequências. **Megadiversidade**, v. 1, n1°. 2005.

FENSTERSEIFER, C. A. **Qualidade das estimativas de precipitações derivadas de satélites na bacia do alto Jacuí - RS.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, 2013.

FERREIRA, D. **Eventos extremos da zona de convergência intertropical sobre o atlântico durante o período chuvoso da Amazônia oriental.** 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-graduação, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitations distribution over central and western tropical south America. **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.5, p. 36-45. 1990.

FRANK, W. M. The cumulus parameterization problem. **Monthly Weather Review.**, v. 111, p. 1859-1871. 1983.

FREITAS, S. R.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA DIAS, O. L.; LONGO, K. M.; ARTAO, P.; ANDREAE, M. O.; FISCHER, H. A convective kinematic trajectory technique for low-resolution atmospheric models. **J. geophys. research.**, v. 105, n. 19, p. 24, 375-386. 2000.

FRITSCH, J. M., KANE, R. J.; CHELIUS, C. H. The contribution of mesoscale convective weather systems to the warm season precipitation in the United States. **J. Clim. Appl. Meteorol.**, v. 25, p. 1333-1345. 1986.

FRITSCH, J. M., FORBES, G. S. Mesoscale Convective Systems. **Meteorological Monographs**, v. 28, p. 323–358. 2001.

FUNATSU, B. M.; GAN, M. A.; CAETANO, E. A case study of orographic cyclogenesis over South America. **Atmosfera**, ISSN: 0187-6236, v.17, n. 2, p. 91–114. 2004.

GANDU, A.W.; COHEN, J.C.P.; SOUZA, J.R.S. Simulation of deforestation in eastern Amazonia using a high-resolution model. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 123-135. 2004.

GIN, R. B. B.; LOMBARDO, R. **Estudo do comportamento elétrico dos Sistemas Convectivos Organizados**. 2011. (Projeto de Iniciação Científica - Depto: Física. N. 11) Centro Universitário da FEI (Fundação Educacional Inaciana Padre Sabóia de Medeiros), São Paulo, 2011.

HASTENRATH, S., AND L. HELLER. Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. **Quart. J. R. Meteor. Soc.**, v. 110, p.411-425. 1977.

HASTENRATH, S. Climate and circulation of the tropics. **D. Reidel Pub. Co. Boston**, 455 pp. 1985.

HENZ, J. F. An Operational technique of forecasting thunderstorms along the lee slopes of a mountain range, **J. Applied Meteor.**, v.11, pp. 1284-1292. 1972.

HOUZE, R. A. **Cloud Dynamics**. Academic Press, London., v. 53, p. 334-404. 1993.

HOUZE, R. A. Mesoscale Convective Systems. **Rev. Geophys.**, v. 42, p. 1-43. 2004.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais). **Monitoring the Brazilian Amazon forest by satellite:2011-2012**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brazil. 2012.

JIMÉNEZ, K. Q. **Modelagem hidrológica com uso da estimativa de chuva por sensoriamento remoto**. 2011. Dissertação. (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2011.

JOHNSON, D. H. The role of the tropics in the global circulation, in G.A. Corby, Ed., **The General Circulation of the Atmosphere**, Royal Meteorological Society, London. n. 340, p. 21-27. 1970.

JOYCE, R. J.; JANOWIAK, J. E.; ARKIN, P. A.; XIE, P., 2004: CMORPH: A Method That Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. **Journal Of Hydrometeorology**, 5: p. 487-503.

JUSEVICIUS, M. A. R. **Ciclogênese a sotavento dos Andes: estudo observacional e simulação numérica de um evento**. 1999. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 52, 59, 109, 138, 222, São José dos Campos, 1999.

KNUPP, K. R.; COTTON, W. R. Internal structure of a small Mesoscale Convective System. **Monthly Weather Review**. V. 115, p. 15-16, 42. 1987.

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**. United States of America, v. 108, n. 4, p. 488-498. 1980.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M.T. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon Region. **Acta Amazon**. V. 11, p. 743-758. 1981

LOPES, J. L. M., SARAIVA, J. M. B., PEREIRA, C. S. Tempestade severa na região metropolitana de Belém: Estudo de Caso. **Anais do VXI Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET**. Belém. 2010. 824p.

MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B. Structural characteristics and radiative properties of tropical cloud clusters. **Monthly Weather Review**, v. 121, p.3234-3259. 1993.

MACHADO, L. A. T.; GUEDES, R. L.; ALVES, M. A. S. Características estruturais de Sistemas Convectivos e forçantes da convecção na América do sul observados por satélites. **Climanálise Especial**, p. 11. 1997.

MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B.; GUEDES, R. L.; WALKER, A. W. Life Cycle Variations of Mesoscale Convective Systems over the Americas. **Monthly Weather Review**. V. 126, p. 1630-1654.1998.

MADDOX, R. A. Mesoscale Convective Complexes. **Bull. Am. Meteorol. Soc.** V. 61, p.1374-1387. 1980.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Observations of the 40-50 day tropical oscillation - a review. **Mon. Wea. Rev.** V. 122, 814-837. 1994.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI / José A. Marengo – Brasília. **Biodiversidade**, v. 26. ISBN 85-7738-038-6. 2006.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. 2008. Dissertação. (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE-15208-PUD/193, Santa Maria. 2008.

MINUZZI, R. B. SEDIYAMA, G. C. 2004. Influência da topografia na precipitação: uma análise estatística e via imagens de satélite. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, 2004, Fortaleza. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/22-989640ad088d2d0b1c47a2e0e23fe1b5.doc>>. Acesso em: 25 jun. 2013.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p.107-117. 1987.

MOLION, L. C. B. Amazonia rainfall and its variability. In: Bonell, M.; Hufschmidt, M.M.; Gladwell, J.S. (Eds). *Hydrology And Water Management In The Humid Tropics. International Hydrology Series*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 99 – 111. 1993.

MOTA, G. V. 2003. **Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the tropical rainfall measuring mission over south America**. Estados Unidos, 2003. Tese (Doutorado em Meteorologia), Universidade de Utah.

MOURA, A. D.; J. SHUKLA. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **J. Atmos. Sci.** V. 38, p. 2653-2675. 1981.

NEPSTAD, D. C.; LEFEBRE, P.; SILVA, U. L. D.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLÓRZANO, L.; MOUTINHO, P.; RAY, D.; BENITO, J. G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. **Global Change Biology**, v. 10, p.704-717. 2004.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind and rainfall over the tropical Atlantic and south America. **J. Climate**, v.9, n.10, p. 2464-2479. 1996.

OLIVEIRA, A.S.; NOBRE, C.A. **Meridional penetration of frontal system in south America and its relation to organized convection in the Amazon**. São José Dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE 3407-PRE/674. 1986.

PEREIRA FILHO, A. J.; CARBONE R. E.; JANOWIAK J. E.; ARKIN, P.; JOYCE R.; HALLAK R.; RAMOS, C. G. M. Satellite Rainfall Estimates Over South America - Possible Applicability to the Water Management of Large Watersheds. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**. 46:2, 344-360. 2010.

PICKERING, K.E.; THOMPSON, A. M.; WANG, Y.; MCNAMARA, D. P.; KIRCHHOFF, V. W. J. H.; HEIKES, B. G.; SACHSE, G. W.; BRADSHAW, J. D. GREGOY, G. L; BLAKE, D. R. Convective transport biomass burning emissions over Brazil during trace A. **J. Geophys. Research**, ISSN: 0148-0227, v. 101, p. 23-24. 1996.

PINTO, L. B.; CAMPOS, C. R. J. Análise do comportamento morfológico e radiativo de um sistema convectivo de mesoescala inferido via imagens de satélite. **Rev. Bras. Geof.** [online] ISSN 0102-261X, v. 27, n.1, pp. 35-42. 2009.

RAMOS, R. P. L. Precipitation characteristics in northeast Brazil dry region. **J. Geophys.** V. 80, p.1665 – 1678. 1975.

RAY, P. S. **Convective Dynamics**. American Meteorological Society, Boston, p. 348–374. 1990.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185 – 204. 2010.

REPELLI, C. A., SOUZA, E. B., QUADRO, M. F. L, ALVES, J. M. B., SAKAMOTO, M. S. O episódio de chuvas intensas no NEB no final de março/1997: influências da oscilação de 30-60 dias. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13(1), p. 9-18. 1998.

RIBEIRO, A. G.; MENDES, P. C. **As chuvas intensas e suas consequências na cidade de Uberlândia**. Observatório Geográfico da América Latina. 2008. Disponível em: <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal8/Procesosambientales/Impactoambiental/23.pdf>

ROCHA, R. P. **Simulação numérica de sistema de mesoescala sobre a América do Sul**. 1992. Tese (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

ROCHA, A. G.; GANDU, A. W. South Atlantic Convergence Zone, In: **Climanálise - Edição Especial**. CPTEC/INPE, p. 140-142. 1996.

ROY, S. B.; AVISSAR. R. Impact of land use/land cover change on regional hydrometeorology in Amazonia. **Journal Of Geophysical Research**, Vol. 107, No. D20, Doi 10.1029/2000jd000266, 2002.



SALATI, E. Recycling of water in the Amazon, Brazil: an isotopic study. *Geophysical Research. Water Resources Research*, v.15, n.5, p.1250-8. 1979.

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*, v.135, p.1290 – 1309. 2007.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; DIAS, P. L. S. “Tropics - South America, Chater 3C”. *In: Meteorology of the Southern Hemisphere. Meteorology Monograph*, Boston, v.27, p.49:119-140. 1998.

SECHRIST, F. S.; WHITTAKER, T. M. Evidence of jet streak vertical circulations, *Monthly Weather Review*, V. 107 (8), p. 1014-1021. 1979.

SILVA DIAS, M. A. F. Complexos Convectivos de Mesoescala sobre a região sul do Brasil. *Climanálise Especial*, v.1, p.173-179. 1996.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de Mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, p. 133- 150. 1987.

SILVA DIAS, M. A. F. **Complexos Convectivos de Mesoescala sobre a região sul do Brasil.** 2004. Disponível em <[http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/mcc\\_cli.html](http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/mcc_cli.html)>. Acesso em 13 de Janeiro de 2013.

SILVA, M. M.; MOTA, G. V.; LEAL, L. S. M. Análise termodinâmica e sinótica de um Complexo Convectivo em Belém do Pará. *Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET*. Rio de Janeiro. 2000. 1702p.

SILVA, M. T. F. **Estudo das descargas elétricas atmosféricas associadas a sistemas convectivos de mesoescala para a região Sudeste do Brasil.** 2009. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

SMULL, B. F.; HOUSE, J. R. A. Rear inflow in squall lines with trailing stratiform precipitation. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 2869–2889, 1987.

SODRÉ, G. R. C.; SOUZA FILHO, J. D. C. Estudo de Caso: Análise sinótica de um evento extremo de precipitação ocorrida no estado de Pernambuco entre os dias 17 A 19 de Junho de 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, ISSN: 1984-2295. v.6, n.1. 66-78 p. 2013.

SOUZA, E.; KAYANO, M.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica**, v. 30, n. 2, p. 305-318. 2000.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. “Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and northeast Brazil during the autumn rainy season”. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 81, pp. 177–191. 2005.

THUNIS, P.; BORNSTEIN, R. Hierachy of mesoscale flow assumptions and equations. **J. Atmosphere Science**, v.53, p.380-397. 1996.

TRUCCOLO, E. C. Estudo do comportamento do vento no litoral centro-norte de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.3, p. 451 – 460. 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Ed.1ª. Porto Alegre. V. 4, Coleção ABRH de recursos hídricos, Editora da UFRGS, 2007.

UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, D. R. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe Convective Systems. **Monthly Weather Review**, v. 107(6), p. 662- 703. 1979.

UVO, C. R. B. E NOBRE, C. A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do nordeste do Brasil. Parte I: A Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. **Climanalise**, v. 4, n. 07, p. 34 – 40. 1989.

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. **J. Geophys. Res.**, v. 92, p. 9591-9613. 1987.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, Editora da Universidade Federal de Viçosa – UFV, Minas Gerais. 1991.

VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; MUNOZ, V. A. Avaliação de desastres no Rio Grande do Sul associados a complexos convectivos de mesoescala. **Soc. nat.** [online]. V.21, n.2, pp. 91-105. ISSN 1982-4513. 2009.

VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; BURGOBRAGA, R.; FERREIRA, N. J. Mesoscale convective complexes in Rio Grande do Sul between October and December of 2003 and associated precipitation. **Rev. bras. meteorol.** [online]. V.24, n.3, pp. 276-291. ISSN 0102-7786. 2009.

VITORINO, M. I.; SILVA, M. E. S.; ALVES, J. M. B. Classificação de Sistemas Convectivos de Mesoescala no setor norte do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12(1), p. 21-32. 1997.

VILA, D. A.; MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; VELASCO, I. Forecast and tracking the evolution of cloud clusters (Fortracc) using satellite imagery: Methodology and validation. **American Meteorological Society**, v. 23, p. 233–245. 2008.