



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DE SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA EM SÃO LUÍS – MA:
ESTUDO DE CASO DO DIA 02 DE MAIO DE 2009**

ROBSON SANTINO GOMES CASTRO

Nº:373

Belém-PA

2016

ROBSON SANTINO GOMES CASTRO

**ANÁLISE DE SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA EM SÃO LUÍS-MA:
ESTUDO DE CASO DO DIA 02 DE MAIO DE 2009**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará- UFPA, para obtenção do grau Bacharel em Meteorologia.
Orientador: Prof. Dr. Galdino Viana Mota.

Belém-PA

2016

ROBSON SANTINO GOMES CASTRO

**ANÁLISE DE SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA EM SÃO LUÍS-MA:
UM ESTUDO DE CASO DO DIA 02 DE MAIO DE 2009**

Trabalho de Conclusão do Curso,
apresentado à Faculdade de Meteorologia
do Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará- UFPA, para obtenção do
grau de Bacharel em Meteorologia.

Data de aprovação: ___/___/_____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof: Galdino Viana Mota - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Nilzele de Vilhena Gomes de Jesus – Membro
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Francisco de Souza Oliveira – Membro
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por ter estado comigo e me dado força e me mostrando o caminho a seguir, me mostrando sempre o caminho certo quando me via perdido e por nunca ter me desamparado nos momentos difíceis.

Aos meus pais que acreditaram sempre em mim, eles são minha força e meu motivo pra seguir. Agradeço minha irmã por estar comigo em todos os momentos e as minhas sobrinhas por me fazerem esquecer todos os problemas da vida com um sorriso sincero. Ao meu presente de Deus, que é a minha namorada Camilly Cardoso que me deu e sempre me dá toda a força necessária pra seguir sempre em frente e me que mostrou que o amor e a felicidade pode sim vencer tudo e todas as dificuldades. Ao professor orientador Galdino Viana Mota pela orientação e paciência ao longo desses meses. Agradeço muito por ter me ajudado nesse momento tão importante da minha vida.

Agradeço ao SIPAM CR Belém pela grandiosa oportunidade que tive de estagiar no mesmo, agradeço a Marcio Nirlando, aos Professores Walter Filho, João Batista, Everaldo e a Isa e aos membros desta banca examinadora e aos demais professores, que contribuíram para a minha formação acadêmica, pois se não fossem eles talvez eu não estivesse chegado onde estou hoje.

Agradeço a todos que contribuíram direta e indiretamente para o sucesso deste trabalho. Muito obrigado.

“Quantas chances desperdicei quando o que eu mais queria era
provar pra todo mundo que eu não precisava provar nada pra
ninguém.”

Renato Russo

RESUMO

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) são constituídos por um aglomerado de nuvens convectivas e que apresentam área com contínua precipitação, que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva, possuem formas variadas. Podem ser classificados como: Linhas de Instabilidade (LI), os que possuem forma de linha; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), os que apresentam um formato circular ou simplesmente, SCM, os de formas irregulares. A passagem destes sistemas é geralmente acompanhada de precipitações intensas e fortes rajadas de vento. Nesta análise foi utilizado dado de temperatura de brilho no canal infravermelho do satélite Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), disponibilizado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), com o objetivo de identificar os topos de nuvens, que são coletadas de 30 em 30 minutos com resolução espacial de 4 km, sendo útil na observação do ciclo de vida dos SCMs. Para identificar as regiões mais convectivas dos sistemas. Foram utilizadas as imagens no canal de microondas, infravermelho e do radar meteorológico provenientes do TRMM do grupo *Precipitation Measuring Missions* (PMM), da *University of Utah*. O estudo foi realizado para a cidade de São Luís, do estado do Maranhão, que localiza-se na Mesoregião do Norte Maranhense e da microrregião da aglomeração urbana de São Luís. Os resultados mostram as linhas de instabilidade (LIs), Tipicamente, formam-se ao longo da costa norte-nordeste da América do Sul, desde a Guiana até o estado do Maranhão, sendo que algumas destas linhas de cumulonimbus propagam-se para o interior da Bacia Amazônica e outras dissipam-se próximo à costa atlântica. A origem, tanto das linhas de cumulonimbus que se propagam, quanto das que não se propagam, está associada à circulação de brisa marítima junto à costa.

Palavras-chave: Precipitação – (Meteorologia). Climatologia. São Luis (MA)

ABSTRACT

Mesoscale convective systems (MCS) are constituted by a cluster of convective clouds and presenting area with continuous precipitation which can be partially stratiform and convective partially, have various shapes. They can be classified as: Instability lines (LI), those having the line shape; Mesoscale convective complex (MCC), those having a circular shape or simply, SCM, the irregular shapes. The passage of these systems is usually accompanied by heavy rainfall and strong wind gusts. This analysis was used brightness temperature data in the infrared channel satellite Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) provided by the National Aeronautics and Space Administration (NASA), in order to identify the cloud tops, which are collected from 30 to 30 minutes with a spatial resolution of 4 km, is useful in observing the life cycle of SCMs. To identify the regions of more convective systems. the images in the microwave channel were used, infrared and weather radar from the TRMM group Precipitation Measuring Missions (PMM), the University of Utah. The study was conducted for the city of São Luís, State of Maranhão, which is located in North mesoregion Maranhense and micro urban agglomeration of São Luís. The results show the squall lines (SLs), typically are formed along the north-northeast coast of South America from Guyana to the state of Maranhão, and some of these lines of cumulonimbus propagate into the Amazon Basin and other dissipate near the Atlantic coast. The origin of both lines of cumulonimbus that propagate, as those that do not propagate, is associated with the sea breeze circulation along the coast.

Key words: Precipitation - (Meteorology). Climatology. São Luis (MA)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Localização da área de estudo – São Luís.....	15
Figura 2-	Climatologia de São Luís.....	17
Figura 3-	Topografia.....	18
Figura 4-	Classificação dos sistemas precipitantes.....	21
Figura 5-	Imagens do radar TRMM.....	23
Figura 6-	Climatologia sazonal.....	24
Figura 7-	Imagem de satélite Goes 10.....	25
Figura 8-	Gráfico diário de precipitação 02 de maio de 2009.....	26
Figura 9-	Imagens de Tb do dia 02 de Maio de 2009 para os horários das 00900Z às 1230Z.....	28
Figura 10-	Imagens de Tb do dia 02 de Maio de 2009 para os horários das 1500Z às 1830Z	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCMs	Complexos Convectivos de Mesoescala
CERES	<i>Clouds & Earths Radiant Energy System</i>
DJF	Dezembro, Janeiro e Fevereiro
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JJA	Junho, Julho e Agosto
Lis	Linhas de Instabilidades
LIS	<i>Lightning Imaging Sensor</i>
MAM	Março, Abril e Maio
SCMs	Sistemas convectivos de Mesoescala
PFs	Precipitation Features
PR	<i>Precipitation Radar</i>
PRP	Precipitação
SON	Setembro, Outubro e Novembro
Tb	Temperatura de brilho
TMI	<i>TRMM Microwave Imager</i>
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
VIRS	<i>Visible and Infrared Scanner</i>
ZCIT	<i>Zona de convergência intertropical</i>
SCM	Sistema convectivo de mesoescala
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
PMM	Precipitation Measuring Missions

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DA LITERATURA	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1	Área de Estudo	15
3.2	Climatologia	17
3.3	Topografia	18
3.4	Dados	19
3.4.1	Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM).....	19
3.4.1.1	Instrumentos do TRMM.....	20
3.4.1.1.1	<i>Precipitation Radar (PR)</i>	20
3.4.1.1.2	<i>TRMM Microwave Imager (TMI)</i>	20
3.4.1.1.3	<i>Visible and Infrared Scanner (VIRS)</i>	20
3.4.1.1.4	<i>Clouds & Earths Radiant Energy System (CERES)</i>	20
3.4.1.1.5	<i>Lightning Imaging Sensor (LIS)</i>	20
3.5	Metodologia	21
3.5.1	Metodologia dos Dados do TRMM.....	21
4	RESULTADOS	23
4.1	Imagens do radar TRMM	23
4.2	Precipitação sazonal	24
4.3	Evento de 02 de maio de 2009	25
4.4	Precipitação do mês de maio de 2009	26
4.5	Imagens do satélite Goes	27
5	CONCLUSÕES	33
	REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas são diretamente influenciadas pelas condições do tempo e do clima, uma vez que diversos setores da sociedade se mostram extremamente dependentes dos mais variados tipos de fenômenos meteorológicos. Esta dependência é explicada através da importância que os fenômenos meteorológicos têm frente à manutenção do regime hídrico e energético do planeta.

Por outro lado, da mesma forma que os fenômenos meteorológicos contribuem para o equilíbrio do planeta, também podem afetar a sociedade de forma negativa, através de tempestades severas que comumente provocam muitos prejuízos aos diversos setores da sociedade, podendo causar até a perda de vidas. Por essa razão, o estudo dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs), tem sido difundido entre os pesquisadores, devido ao impacto em superfície causado por sua passagem ou existência que é geralmente associada à precipitação intensa, fortes rajadas de vento e granizo.

A Região Amazônica possui uma enorme diversidade biológica e étnica, além de ter localizada, na sua extensão, a maior floresta tropical, a Floresta Amazônica. Onde a mesma tem um papel fundamental na regulação do clima em escala global. E influenciando na circulação atmosférica e conseqüentemente na precipitação (PRP), regional. Dada à relevância que o clima ocupa no cenário político-técnico-científico, diversos estudos já realizados permitiram que a comunidade científica compreendesse que a característica intrínseca do clima da Amazônia é a presença de um amplo espectro de variações no tempo e espaço da atividade convectiva tropical e da PRP (SOUZA et al., 2009).

São Luís esta localizada na Amazônia Oriental, região esta que é caracterizada por eventos meteorológicos de várias magnitudes. A sua localização tropical propicia altas taxas de absorção de energia da radiação solar e de altas concentrações de umidade provindas do Oceano Atlântico Tropical. Estes dois fatores (calor e umidade), são fundamentais na formação de fortes tempestades que causam rajadas de ventos, chuvas torrenciais e nuvens potencialmente eletrificadas. Os fortes gradientes horizontais de temperatura na interface entre o Oceano Atlântico e o continente causam circulações de brisa local que dão origem a

profundas nuvens convectivas. A formação destas nuvens é altamente dependente da característica da superfície que são importantes na distribuição da ocorrência de precipitação. (KOUSKY, 1980)

Esse trabalho utilizou dados de precipitação para o dia 2 de Maio de 2009 associados aos sistemas precipitantes coletados pelo *Precipitation Radar* (PR) e de outros sensores a bordo do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), objetivando fazer uma análise da evolução dos Sistemas Convectivos de Mesoescala da Cidade de São Luís no Estado do Maranhão. No dia 02 de maio de 2009, em todo o estado do maranhão, ocorreram durante o dia todo, vários SCM que atingiram várias cidades e o grande volume de chuva provocou grandes alagamentos, deslizamentos e foram totalizadas 6 mortes por conta do evento, no total mais de 40 mil pessoas ficaram desabrigados em todo o estado. Somente na cidade de São Luís, a precipitação registrada pelo pluviômetro do Instituto nacional de meteorologia (INMET) foi de 154,9 e o estudo deste trabalho irá abordar mais sobre o evento do dia 02 de maio de 2009.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A Região Amazônica possui uma atmosfera com grande atividade convectiva, devido à grande disponibilidade de vapor d'água e energia solar que chega à superfície, sendo assim uma das mais importantes fontes de calor latente do planeta. (MOHR; FAMIGLIETTI; ZIPSER, 1999).

Na região Amazônica, a precipitação é fortemente influenciada por fenômenos atmosféricos como El Niño (a inibição de formação de nuvens convectivas), La Niña (fortalece a formação de nuvens convectivas) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). As estações do ano não são bem definidas, são caracterizados por dois períodos, chamados de verão e inverno amazônico, que correspondem ao período seco e chuvoso, separados por um período de transição. No contexto da dinâmica climática tropical, é bem conhecido que a variabilidade interanual e sazonal da estação chuvosa da Amazônia são moduladas diretamente pelos padrões oceano-atmosfera de grande escala, associados ao ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico e as fases do gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Oceano Atlântico intertropical (NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA et al., 2000). Em condições de El Niño, a circulação de Walker é deslocada para Leste (E) (modificada), tal que seu ramo ascendente localiza-se sobre o Oceano Pacífico Central, onde a convecção é intensificada, e seu ramo descendente localiza-se sobre a região Amazônica, inibindo a convecção. Em condições de La Niña a circulação de Walker é fortalecida, tal que seu ramo descendente localiza-se sobre o Oceano Pacífico Central onde a subsidência é intensificada, e seu ramo ascendente fica sobre a região Amazônica. O padrão de dipolo caracteriza-se pela manifestação de um padrão de temperatura da superfície do mar (TSM), configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre as bacias Norte (N) e Sul (S) do Atlântico. Esse padrão inverso da temperatura da superfície do mar (TSM), gera, conseqüentemente, a presença de um gradiente térmico meridional e inter hemisférico nos baixos níveis do Atlântico Equatorial que, agindo em conjunto com os padrões anômalos de pressão ao nível médio do mar (PNMM), e vento horizontal, desempenham influências diretas na

manutenção, posicionamento e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). (HASTENRATH,1978).

Na região Amazônica, a precipitação é fortemente influenciada por fenômenos atmosféricos como El Niño (a inibição de formação de nuvens convectivas), La Niña (fortalece a formação de nuvens convectivas) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). As estações do ano não são bem definidas, são caracterizados por dois períodos, chamados de verão e inverno amazônico, que correspondem ao período seco e chuvoso, separados por um período de transição. A zona de convergência intertropical (ZCIT) é um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos. Devido à sua estrutura física, a ZCIT tem se mostrado decisiva na caracterização das diferentes condições de tempo e de clima em diversas áreas da Região Tropical. A ZCIT está inserida numa região onde ocorre a interação de características marcantes atmosféricas e oceânicas: zona de confluência dos Alísios (ZCA), zona do cavado equatorial, zona de máxima temperatura da superfície do mar, zona de máxima convergência de massa, e zona da banda de máxima cobertura de nuvens convectivas, todas interagindo próximas à faixa equatorial. Apesar dessa interação as características não se apresentam, necessariamente, ao mesmo tempo, sobre a mesma latitude. No trabalho apresentado por Hastenrath e Lamb (1977), é mostrado que, durante os meses de verão no Hemisfério Norte (JJA), a zona de confluência dos alíseos aparece sobre o cavado equatorial e as regiões de máxima cobertura de nuvens, precipitação e convergência de massa são quase coincidentes, localizando-se, aproximadamente, a três graus ao sul da ZCA. Nos meses de DJF, a zona de máxima cobertura de nuvens, precipitação e convergência de massa localiza-se ao norte da ZCA.

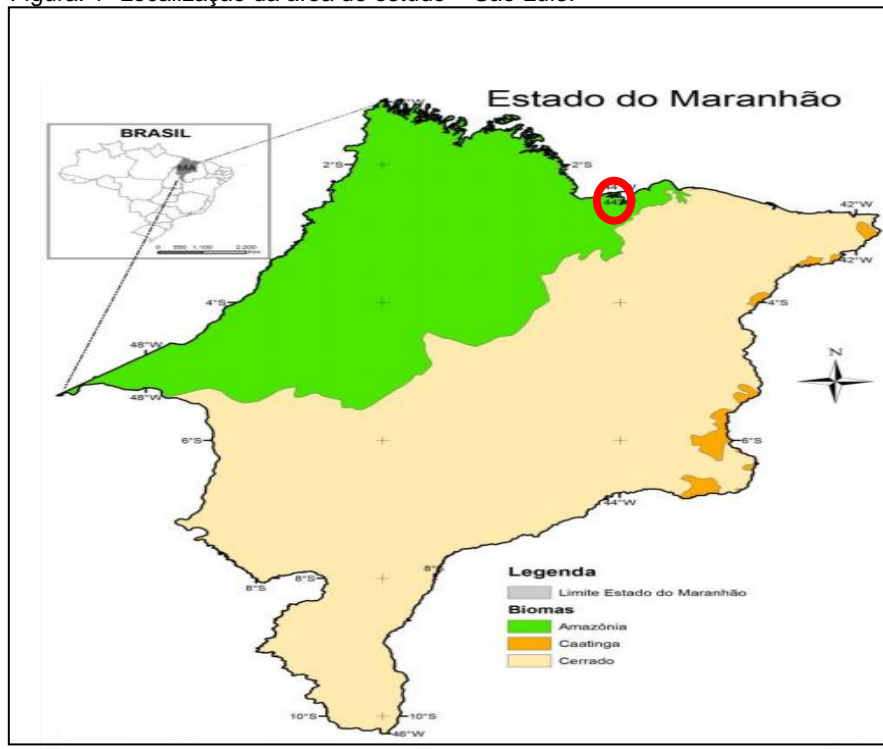
A variabilidade temporal da precipitação em grandes áreas nos trópicos é modulada pela variação intrasazonal de 20-60 dias (KOUSKY; KAYANO, 1994; MADDEN; JULIAN, 1994). A maioria dos sinais intrasazonais são associadas com ondas que se propagam para leste com máxima atividade na região equatorial. Também é uma região, onde a precipitação durante todo o ano origina-se de sistemas precipitantes, oriundos de linhas de instabilidade (LI), que surgem devido à circulação de brisa marítima ao longo da costa atlântica da Guiana francesa até o norte do Maranhão (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1989, 1995).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O Estado do Maranhão localiza-se entre o Nordeste Brasileiro (quente e seco), a Amazônia (quente e úmida), o Oceano Atlântico e o Planalto Central Brasileiro. Vale ressaltar, que o tipo de cobertura vegetal e de relevo também contribui para as diferentes formas de distribuição das chuvas. O norte do estado é influenciado pelo Oceano Atlântico, da mesma forma que a Amazônia, sendo grande provedor de umidade para a atmosfera contribuindo na formação de nuvens de chuva.

Figura. 1- Localização da área de estudo – São Luís.



Fonte: MMA, IBGE (2004).

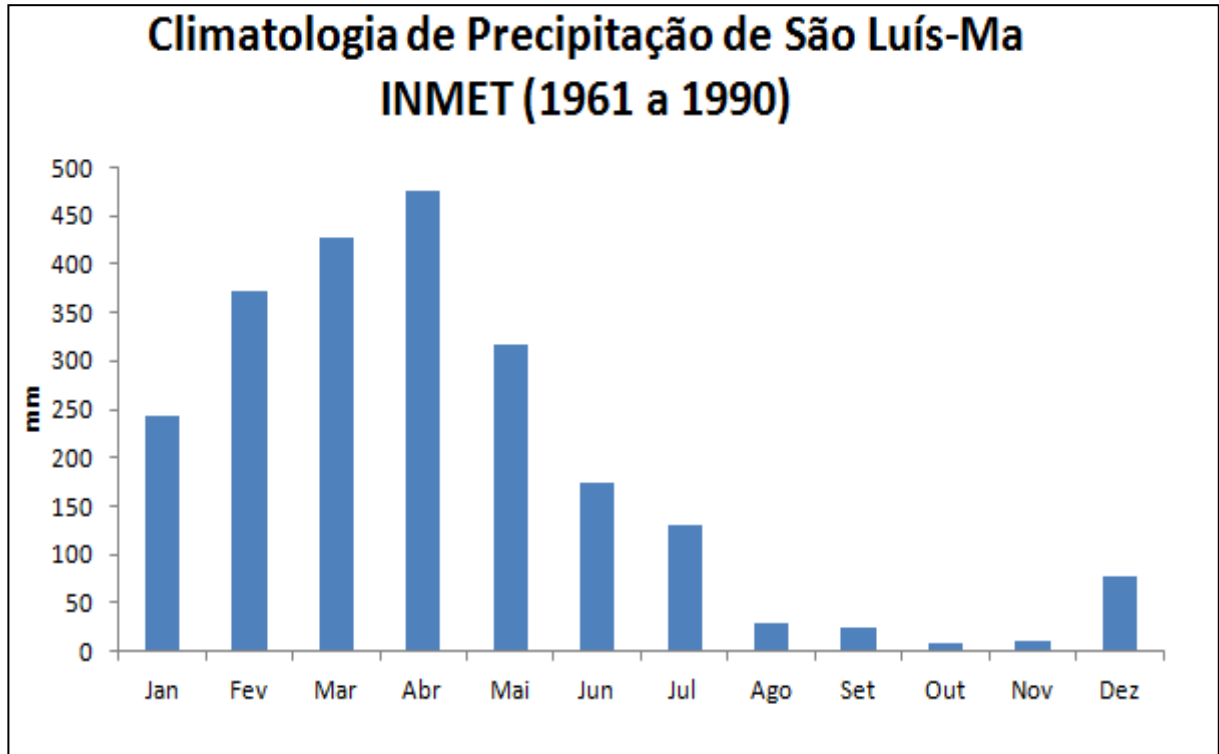
Amazônia maranhense é dona de rica biodiversidade, ocupa 26% do bioma amazônico, encontra-se em 62 municípios do Maranhão e representa, em termos de bioma, 34% do território do estado. A capital, São Luís ocupa uma área de 828,01 km² e tem 640 km de litoral, com um ecossistema de riquezas significativas e recursos naturais e ambientais, sendo o segundo maior litoral do país atrás apenas da Bahia com 932 km. O clima de São Luís é tropical, quente e úmido, com temperaturas mínimas na maior parte do ano entre 20°C e 23°C graus, as máximas

geralmente ficando entre 29°C e 31°C graus e a média pluviométrica chegando a 2290 mm. (Normais climatológicas do Brasil, 2009).

O município de São Luís possui uma área de 822,1km², que corresponde aproximadamente a 0,24% do território do estado. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o clima predominante em São Luís é o tropical quente úmido. Dada à relevância que o clima ocupa no cenário político-técnico-científico, diversos estudos já realizados permitiram que a comunidade científica compreende-se que a característica intrínseca do clima da Amazônia é a presença de um amplo espectro de variações no tempo e espaço da atividade convectiva tropical e da PRP (SOUZA et al., 2009).

3.2 Climatologia

Figura. 2- Climatologia de São Luís.

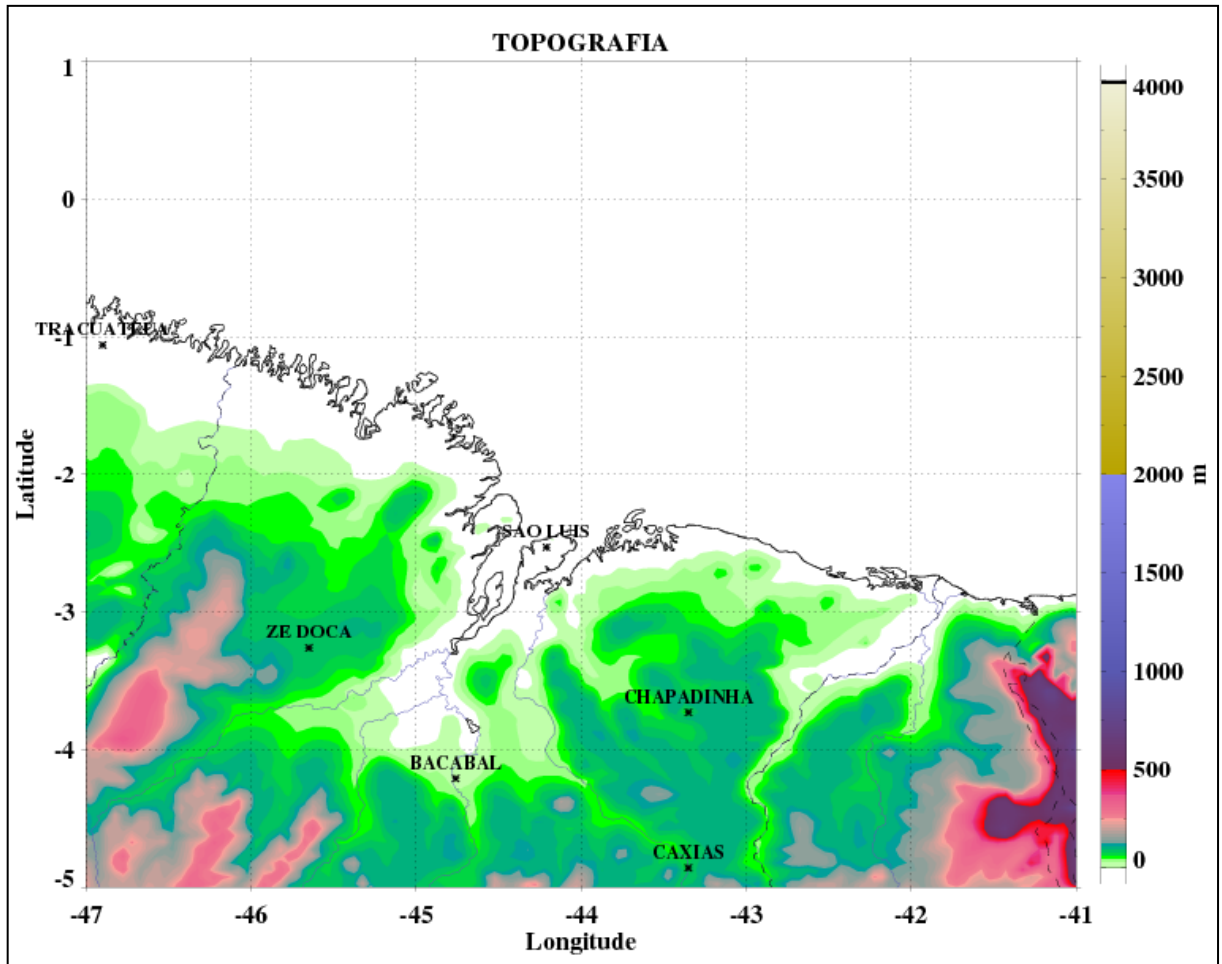


Fonte: Autor.

O gráfico da figura 02 mostra a distribuição mensal da precipitação da cidade de São Luís, capital do estado do Maranhão. Os dados mensais foram obtidos pelas normais climatológicas do Brasil de 1961 a 1990, do instituto nacional de meteorologia (INMET). Na região amazônica, onde esta localizada a cidade de São Luís do Maranhão, ocorre um período onde a frequência e seu volume é bem predominante, enquanto no outro período, os volume e frequência são reduzidos, o que é denominado de período seco e chuvoso. O período chuvoso ocorre de janeiro a julho, como mostra o gráfico 02, sendo o mês de abril, o mês onde o volume de precipitação é o maior do ano, com precipitação a 475,9 mm. Nos meses de agosto a novembro, há uma significativa queda no volume da precipitação, sendo o mês de outubro como o mais seco com precipitação de 7,6 mm. O mês de dezembro é o mês de transição o período seco, para o período chuvoso onde o volume e frequência de precipitação voltam a predominar durante todo o verão e parte do outono.

3.3 Topografia

Figura. 3- Topografia de São Luís.



Fonte: Autor.

A figura 3 mostra a precipitação em milímetro (mm). Em regiões de topografia acidentada, o relevo ganha grande importância, podendo influenciar na intensidade ou na diminuição da precipitação. Como a altitude da região onde se localiza a cidade de São Luís, é aproximadamente ao nível do mar encontra-se a 24m acima e não há barreiras forçando a subida desse ar e conseqüentemente condensando, devido à redução adiabática da temperatura podendo causar a chuva, a topografia do local de estudo, não influencia na espacialidade das chuvas.

3.4 Dados

Os dados de temperatura de brilho (Tb) dos sistemas convectivos observados neste trabalho foram identificados com o auxílio de imagens do *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES), também foram utilizados os dados referentes aos sistemas precipitantes amostrados pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) no dia 02 de maio de 2009. Estes dados fornecem informações sobre a localização, tamanho, intensidade, máxima altura, máxima refletividade dos sistemas precipitantes próximo da superfície e temperatura de brilho no canal de microondas, dentre outras características dos sistemas precipitantes amostrados.

Nesta análise foi utilizados dados temperatura de brilho, no canal infravermelho dos satélites GOES disponibilizado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Foi utilizada essa ferramenta para identificar e analisar os topos de nuvens e que são coletadas de 30 em 30 minutos e com resolução espacial de 4 km, sendo útil na observação do ciclo de vida dos SCMs. Para identificar as regiões mais convectivas dos sistemas, foram utilizadas as imagens no canal de microondas, infravermelho e do radar meteorológico proveniente do TRMM do grupo *Precipitation Measuring Missions* (PMM) da *University of Utah*.

3.4.1 Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

O satélite TRMM é um satélite de órbita tropical, criado no sentido de ajudar na compreensão da precipitação tropical e subtropical. Foi produzido através de uma parceria entre The National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), sendo lançado em 27 de novembro de 1997 do Centro de Tanegashima, Japão.

O satélite possui cinco instrumentos a bordo: Precipitation Radar (PR), TRMM Microwave Imager (TMI), Visible Infrared Scanner (VIRS), Clouds & Earths Radiant Energy System (CERES) e o Lightning Imaging Sensor (LIS).

3.4.1.1 Instrumentos do TRMM

3.4.1.1.1 *Precipitation Radar (PR)*

Foi o primeiro instrumento espacial concebido para fornecer mapas tridimensionais da estrutura de uma tempestade. Seu lançamento foi justamente para estudar e compreender a região dos trópicos.

3.4.1.1.2 *TRMM Microwave Imager (TMI)*

O TRMM microwave imager (TMI) é um sensor de microondas passivo projetado para fornecer informações quantitativas de precipitação de uma ampla área sob o satélite. O imageador de microondas permite que TMI quantifique o vapor de água, a água de nuvens e a intensidade da precipitação na atmosfera.

3.4.1.1.3 *Visible and Infrared Scanner (VIRS)*

Fornecer indicação da chuva, e se conecta as observações recolhidos por TRMM com aqueles coletados por GOES e outras missões.

3.4.1.1.4 *Clouds & Earths Radiant Energy System (CERES)*

Monitora a energia trocada entre o sol; a atmosfera terrestre, a superfície e nuvens, e o espaço. Devido a problemas nos painéis solares foi desligado.

3.4.1.1.5 *Lightning Imaging Sensor (LIS)*

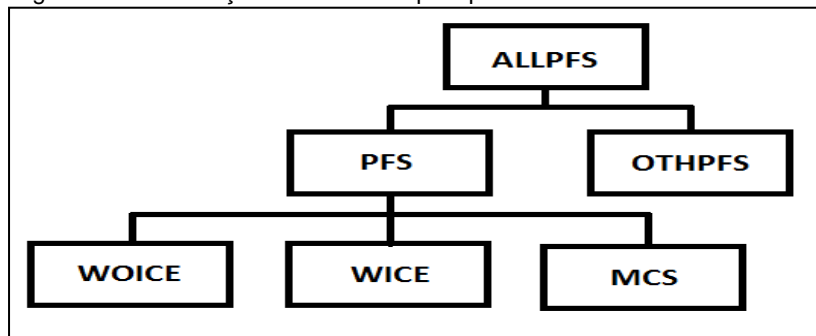
É um instrumento altamente sofisticado capaz de detectar e localizar um relâmpago na região tropical do globo.

3.6 Metodologia

3.6.1 Metodologia dos Dados do TRMM

Na Classificação de precipitação é importante compreender que tipo de sistemas de precipitação (PFs) ocorre para as diferentes regiões da Terra. Por exemplo, a precipitação de 100 mm por mês pode cair com frequência, inúmeros vezes em pequena quantidade, ou em um ou dois enormes sistemas de tempestades de mesoescala, com os restantes dias sem chuva. Algumas regiões podem receber 200 mm por mês a partir de sistemas de nuvens rasas com pouca ou nenhuma chuva, enquanto outras regiões podem receber a mesma quantidade de chuva, a partir de sistemas de tempestade. A ordenação dos eventos de chuva em sistemas precipitantes (PFs) é facilitar o estudo das causas físicas dos eventos, bem como catalogar o total de chuva ou frequência de chuvas. E uma maneira de resumir os eventos de precipitação a partir do conjunto de dados TRMM é definida pela classificação de precipitação (PFS, NESBITT et al., 2000) e obedecendo à nova definição dos dados realizado por Liu (2007), como mostrado na Figura 4.

Figura. 4- Classificação dos sistemas precipitantes.



Fonte: Nesbitt et. al. (2000)

A figura 4 mostra a Classificação de sistemas precipitantes, (PFs) é importante compreender que tipo de sistemas de precipitação ocorre para as diferentes regiões da Terra. Os dados do Radar e do sensor de microondas de 85GHz são organizados na forma de sistema precipitante (PFS, em inglês).

Os sistemas precipitantes (PFs) são classificados em Woice (com gelo) e Wice (sem gelo) e os Sistemas de mesoescalas (MCS). O OTHPFS, são sistemas

menos intensos e não tão robustos e que sua temperatura de brilho, não é detectada.

Esses sistemas incluem nuvens cumulonimbus individuais, pancadas de chuva, SCMs e etc. Esses diferentes tipos de PFs, contribuem com proporção diferente do total de chuva sobre várias regiões. Com uma década de observações o TRMM encontrou mais de 28 milhões de sistemas de precipitação.

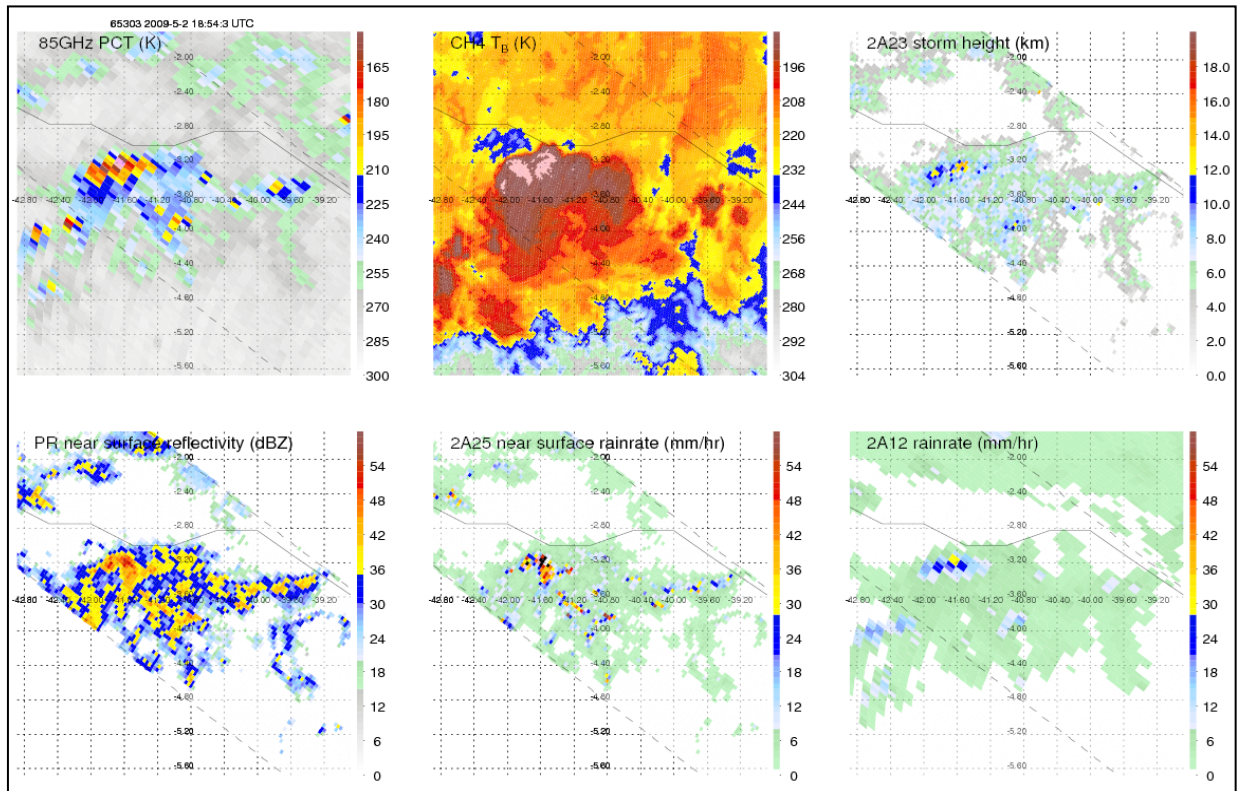
Um sistema convectivo de mesoescala é um sistema de precipitação que se organiza espacialmente e temporalmente, dos seus constituintes convectivos, e normalmente persiste por várias horas ou mais. O SCM pode ser redondo ou linear na forma, e incluem sistemas tais como linhas de instabilidade, Complexos Convectivos de Mesoescala, de monção ou ciclones tropicais, entre outros, e uma grande variedade de sistemas meteorológicos de latitudes médias.

Eles têm sido observados em toda a América do Norte e Europa, com um máximo de frequência durante a tarde e noite com horas de atraso durante a estação em ambos os continentes, mas muitas vezes alcançam seu ponto máximo durante a noite. Durante grande parte do mundo, os SCMs são responsáveis por cerca de metade da precipitação anual. No TRMM um MCS é definido como um sistema com maior área contígua de precipitação de 2000 km². Durante os últimos 14 anos (1998-2011), existem cerca de 1,2 milhões de SCMs no banco de dados TRMM.

4 RESULTADOS

4.1 Imagens do radar TRMM

Figura. 5- Imagem do evento do dia 02 de maio de 2009 mostrada pelo satélite TRMM.



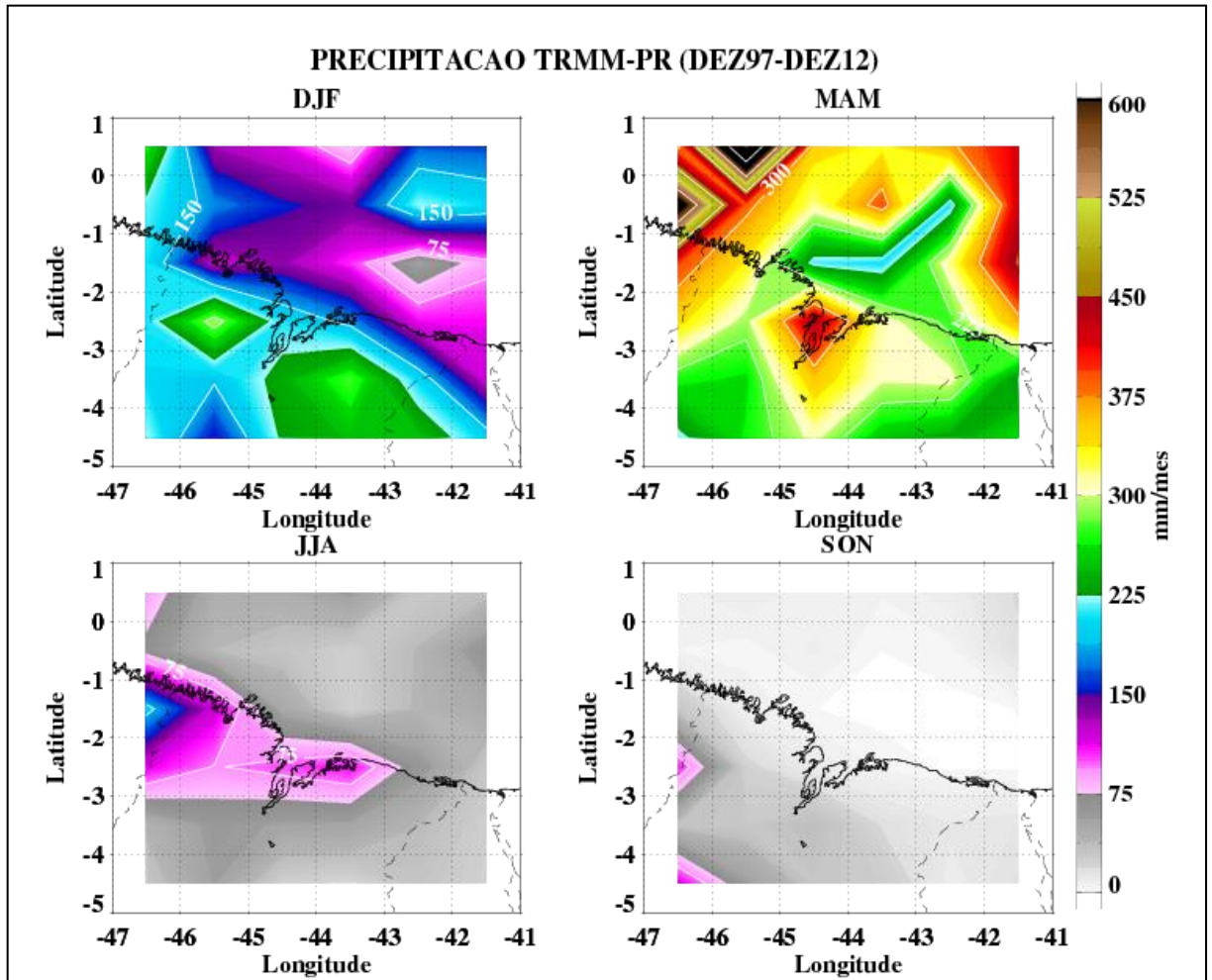
Fonte: TRMM (2009).

As figuras 5 mostra a tempestade que atingiu a área de estudo no dia 02 de maio de 2009. As imagens estão relacionadas aos mais baixos valores de Temperatura de brilho (T_b), no canal infravermelho e os altos valores de altura da tempestade, refletividade do radar e taxas de chuva com no canal de microondas no setor N/NE do Estado do Maranhão.

As imagens mostra respectivamente à temperatura de brilho (T_b), no canal de microondas, temperatura de brilho (T_b), no CH4, altura das tempestades, refletividade do radar, taxa de precipitação pelo radar e taxa de precipitação no canal de microondas do satélite TRMM às 1854UTC do dia 2 de maio de 2009.

4.2. Precipitação Sazonal

Figura. 6- Precipitação sazonal



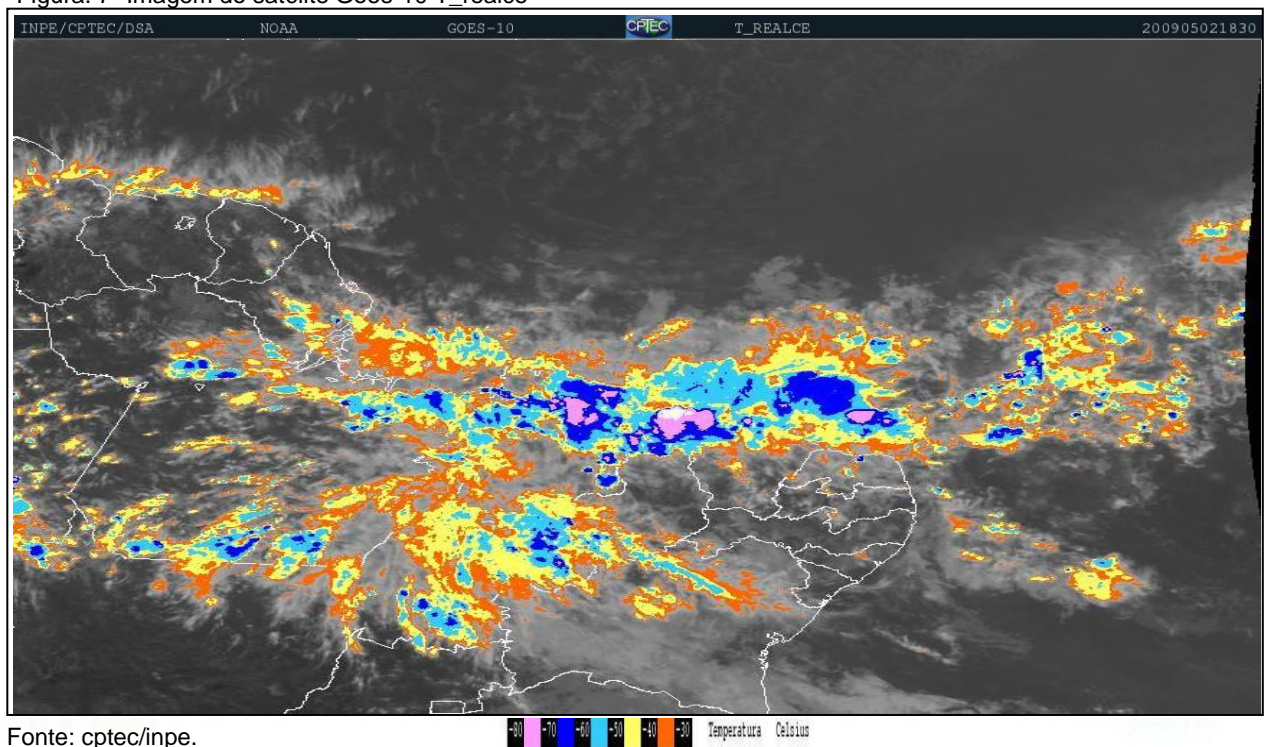
Fonte: Autor.

A variação sazonal da precipitação da figura 6 utilizou a média sazonal de estimativa do satélite TRMM-PR de precipitação no período de 15 anos. O trimestre DJF é o período que se inicia o período chuvoso, com um máximo de 225 mm de precipitação. No trimestre MAM, a precipitação se intensifica com um máximo de 450 mm, pois, neste período, a sazonalidade das chuvas segundo (RIBEIRO; et al, 1996) apresenta-se influenciada pela migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). No trimestre JJA a precipitação chega a 75 mm, a precipitação apresenta menores totais de chuva quando a zona de convergência intertropical (ZCIT) se desloca mais ao norte no trimestre de SON, onde praticamente não há registro de precipitação.

4.3 Evento de 02 de Maio de 2009.

A figura 7 ilustra a imagem do satélite Goes do dia 02 de maio de 2009 no horário de 1830UTC no canal infravermelho, onde são observados vários aglomerados convectivos identificados através das baixas temperaturas de brilho (Tb) sobre o norte do maranhão. Ainda no Oceano Atlântico observa-se que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e atua sobre o norte do Pará e do Maranhão.

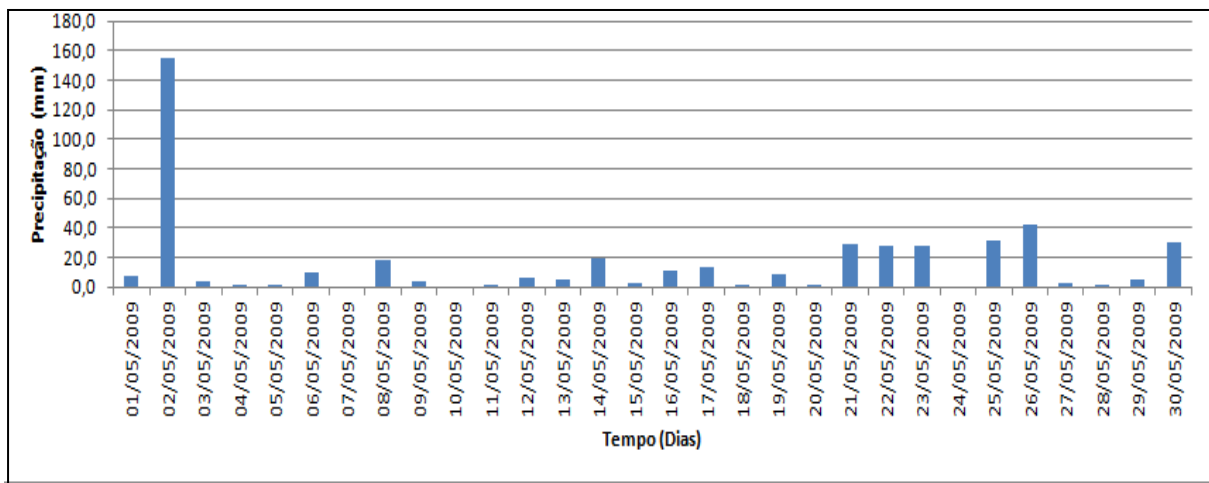
Figura. 7- Imagem do satélite Goes-10 T_realce



Fonte: cptec/inpe.

4.4. Precipitação do mês de maio de 2009

Figura. 8- Gráfico da precipitação diária do mês de maio de 2009.



Fonte: Autor

A figura 8 apresenta o gráfico da precipitação pluviométrica diária registrada pela estação convencional do instituto nacional de meteorologia (INMET), no mês de maio de 2009. No dia 02 de maio, devido o sistema que se formou decorrente a uma linha de instabilidade, com o incremento do o calor e a umidade disponível na atmosfera e o posicionamento da zona de convergência tropical (ZCIT) mais ao norte do Maranhão criando áreas de instabilidades ocorreu um precipitação chegou a 154,9mm em apenas um dia.

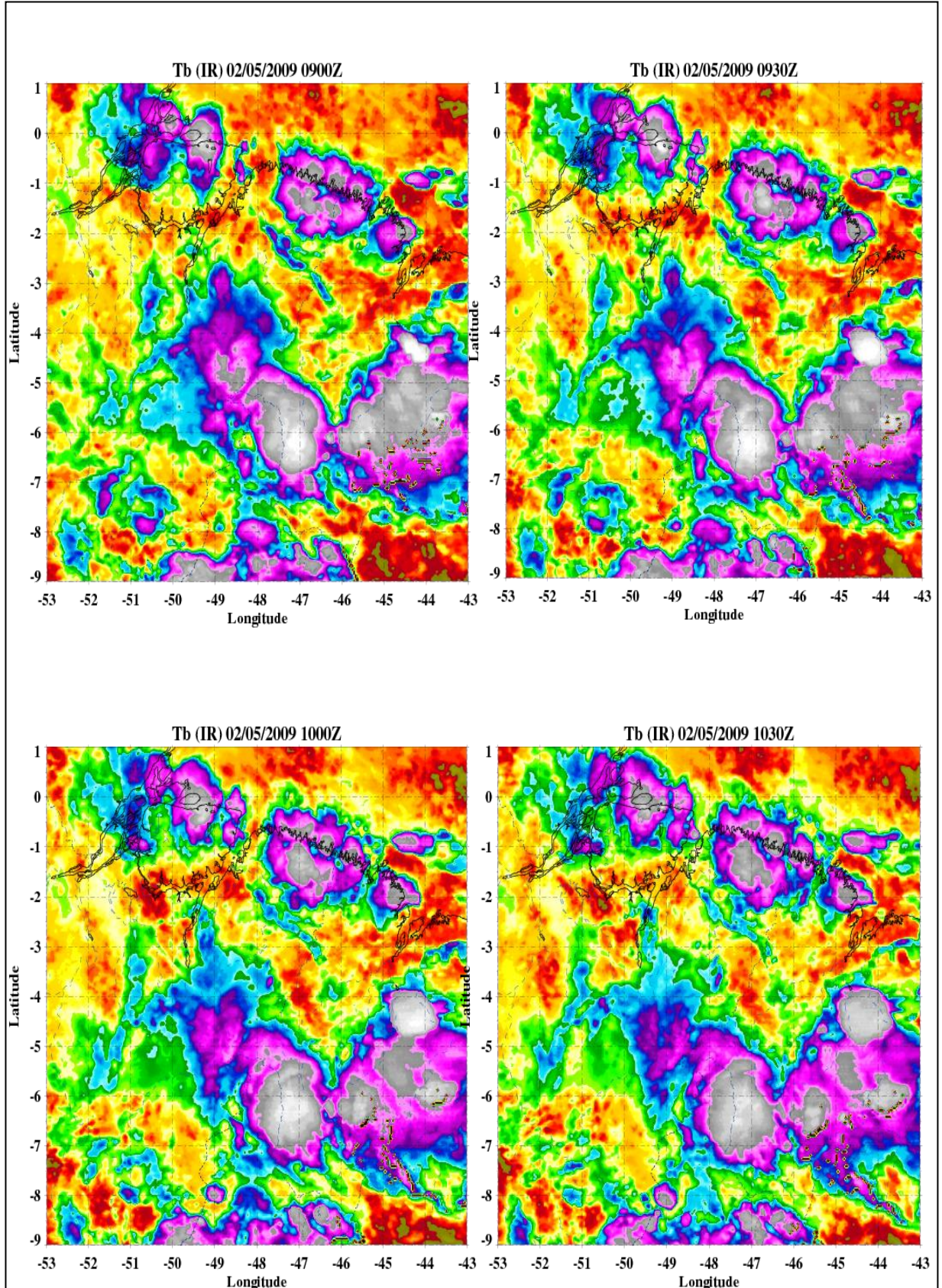
4.5. Imagens do satélite Goes.

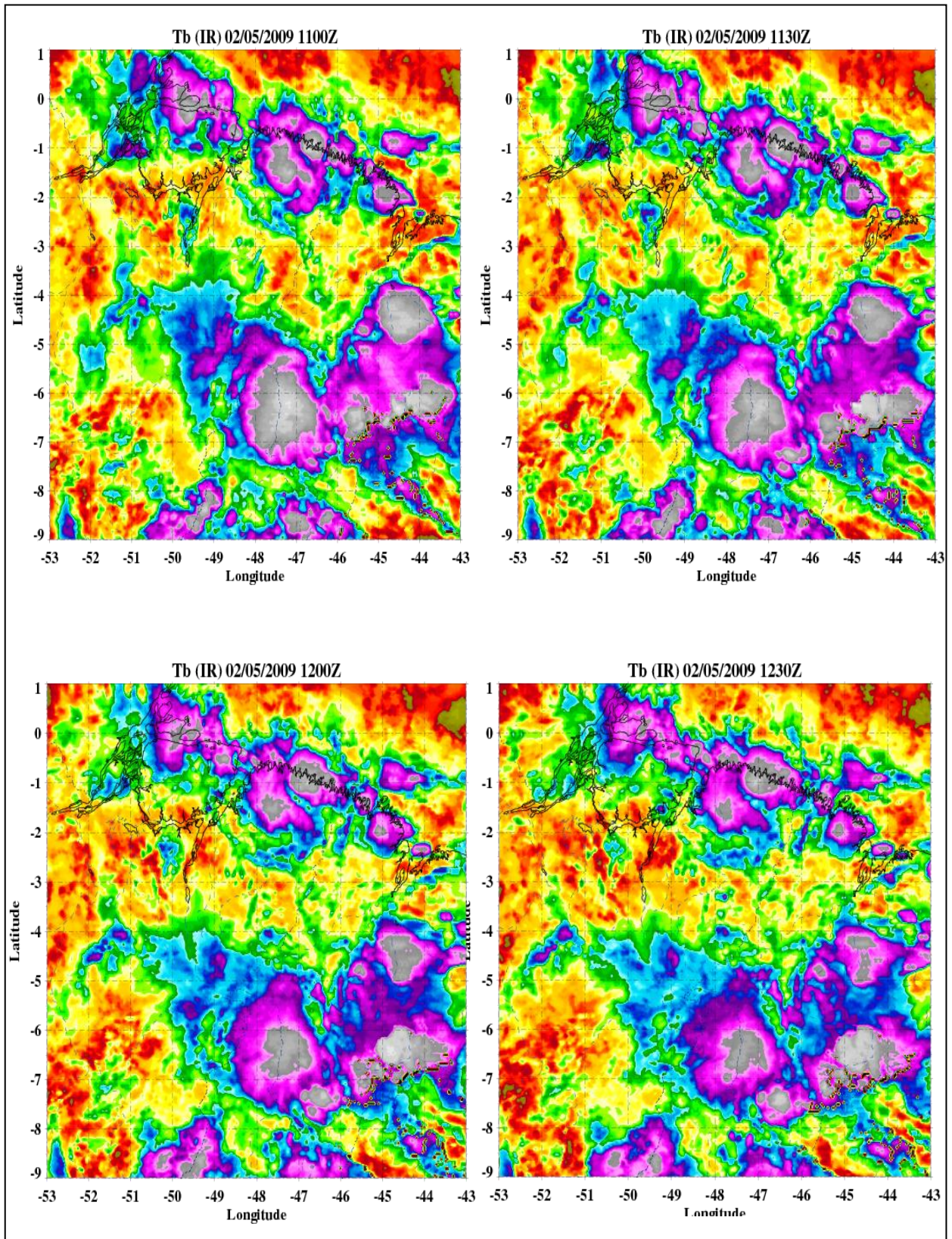
A figura 09 apresenta a distribuição espacial da temperatura de brilho sobre a região norte do Pará e Maranhão entre às 0900Z e 1230Z. Nota-se ao norte do Pará e do Maranhão a formação de Linhas de Instabilidade que são sistemas convectivos que são identificados por imagens de satélites como sistemas que possuam de 100 a milhares de quilômetros de extensão.

São formados por um conjunto de nuvens cumulonimbus organizados em forma de linha e, possuem um tempo de duração que pode variar horas ou até dias. Apresentam precipitação convectiva, associada às correntes ascendentes e descendentes de escala convectiva e, precipitação estratiforme, associada as correntes descendentes de mesoescala (HOUZE, 1993).

Os aglomerados mais convectivos apresentam organizações de atividades convectivas, que teve início em torno das 1100Z estendendo-se até 1830Z. Uma possível explicação é que os SCMs no final da tarde e início da noite, quando as primeiras células se desenvolvem em uma região com condições favoráveis à convecção, os efeitos locais, tais como topografia e fonte de calor localizada, exerceram um papel fundamental, e o sistema foi fortalecido, devido atuação da ZCIT esta localizada e atuante sobre o litoral do Maranhão, pois durante o horário de ocorrência do evento, a atmosfera em baixos níveis encontra-se mais instáveis, o fluxo de calor e umidade da região passa a fornecer condições necessárias para que esse sistema cresça.

Figura. 9- Imagens realçadas de temperatura de TB das nuvens (°C) no canal infravermelho do satélite GOES durante o dia 02 de maio das 0900Z às 1230Z.





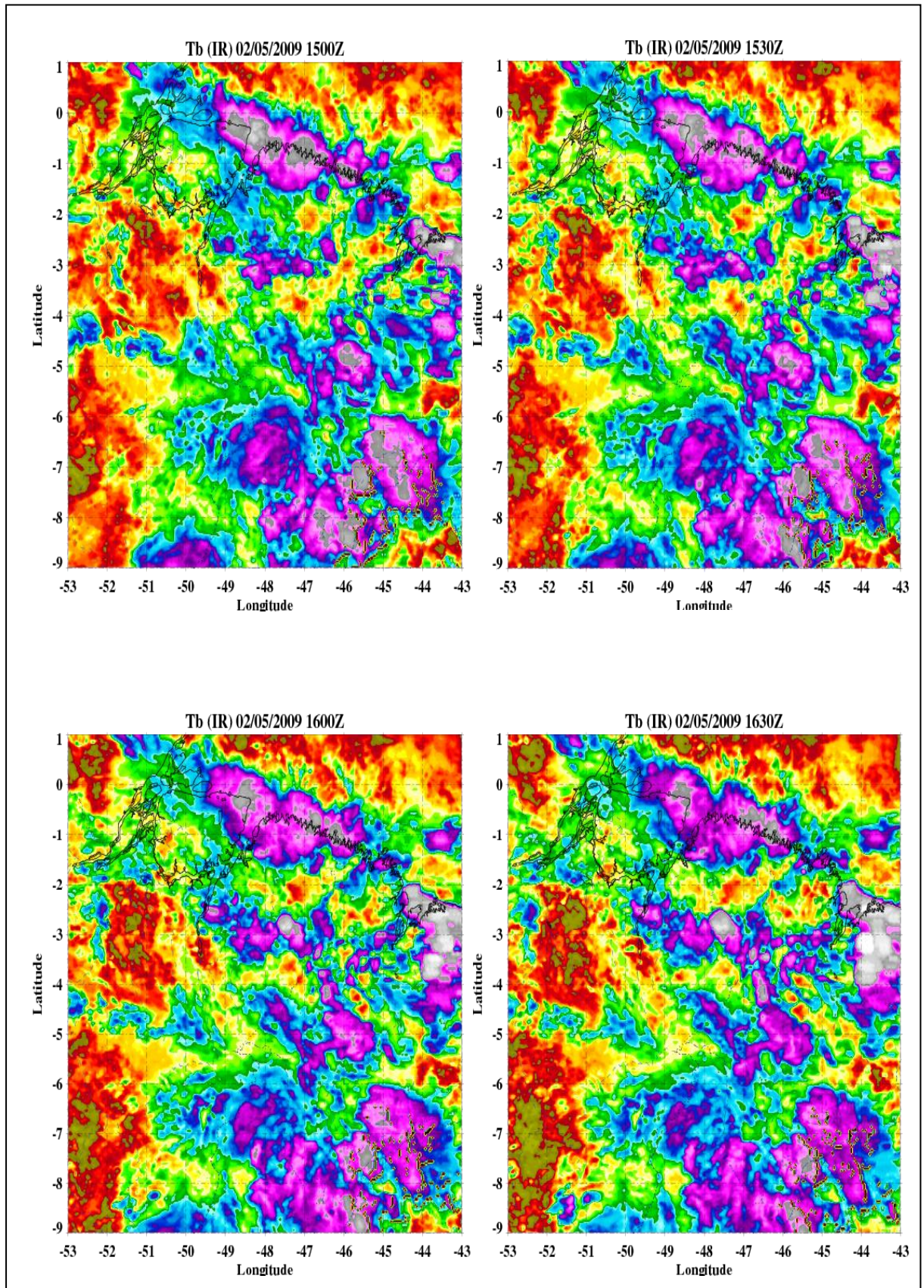
Fonte: Autor.

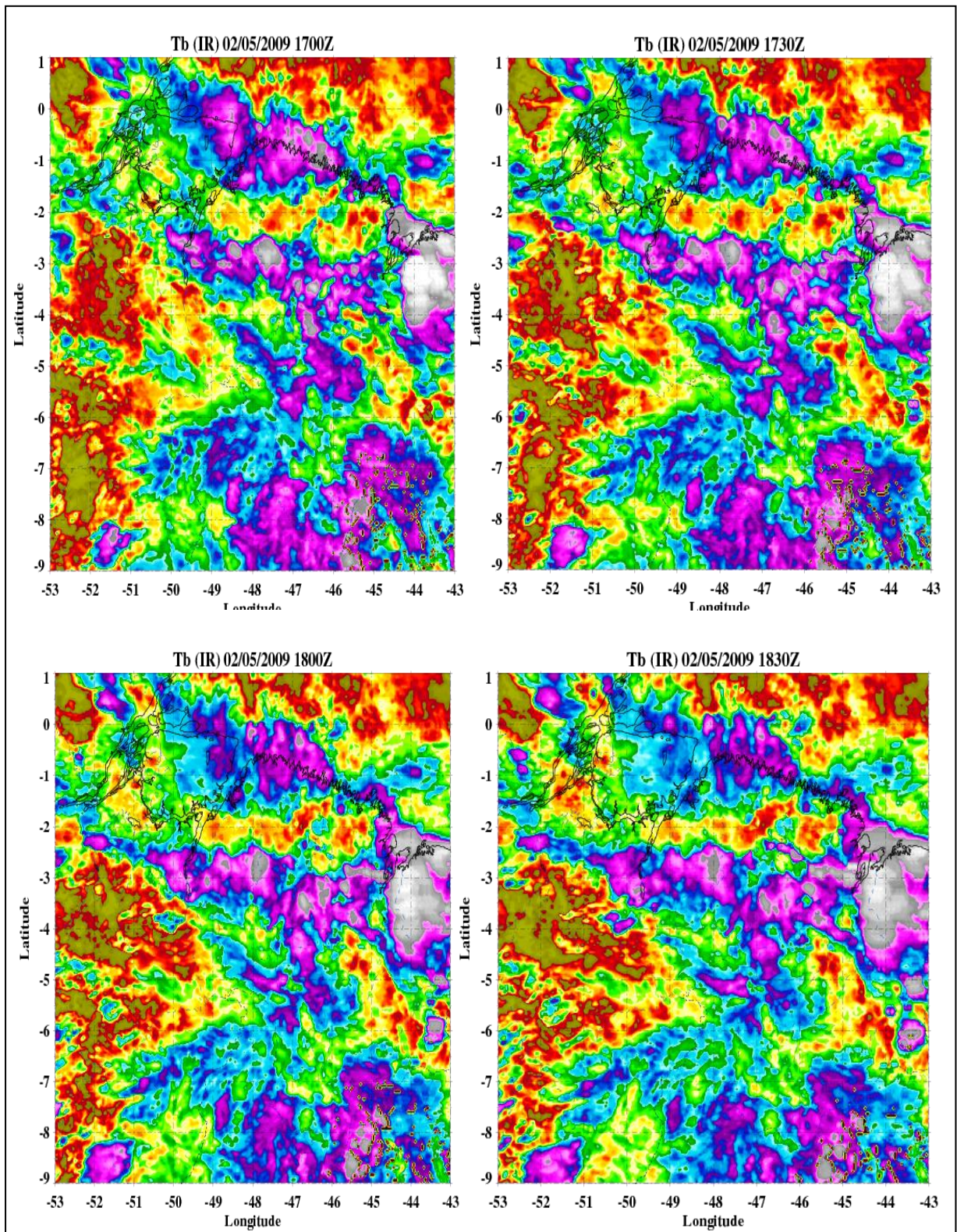


A figura 10 apresenta a distribuição espacial da temperatura de brilho sobre o norte do Pará e Maranhão, observado no horário das 1500Z às 1830Z. A formação de aglomerados de SCMs, que provocaram grandes tempestades, especialmente na parte Norte e Nordeste do Estado do Maranhão, há também a presença do SCMs, bem configurado.

As áreas em cinza indicam regiões com a presença de nuvens do tipo Cumulonimbus muito profundos, com núcleo apresentando temperaturas menores do que -65°C , responsáveis pelas fortes chuvas. Observou-se um Li, que vai do estado do Maranhão até a região nordeste da Ilha do Marajó e segue se deslocou para dentro do continente.

Figura. 10: Imagens realçadas de temperatura de TB das nuvens (°C) no canal infravermelho do satélite GOES durante o dia 02 de maio das 1500Z às 1830Z.





Fonte: Autor.



5. CONCLUSÕES

O resultado da análise para o período do dia, pelos dos dados do sistema precipitante provenientes do *Precipitation Measuring Missions* (PMM/TRMM) mostra que a tempestade, foi causada por um Sistema Convectivo de Mesoescala (CCMs e LIs, correspondem a uma categoria extrema SCMs, tais como a supercélula que é um tipo de tempestade) pois, o mesmo apresentou forma e T_b compatíveis ao que define um SCM.

Os resultados mostram a evolução de dois sistemas precipitantes, LIs e SCMs, na região de estudo. Na Amazônia as tempestades estão associadas, principalmente, às condições locais, LIs e CCMs, onde provocam muita PRP. Uma característica marcante da convecção é sua organização em diversas escalas espaciais. Observam-se desde células isoladas, de poucas centenas de metros, até grandes aglomerados convectivos, com ciclos de vidas da ordem de dias e composto de diferentes tipos de nuvens, os chamados SCMs. As LIs foram definidas por diversos autores, entre eles Huschke (1959) que as define como sendo uma banda de atividade convectiva organizada, não necessariamente contínua. Já os SCMs são definidos a partir de características físicas observadas através de imagens de satélite (MADDOX, 1980).

Este SCM era uma Li principalmente devido a sua forma que eram de CB's alinhados a costa. O evento ocorreu durante o período noturno, (horário em que a atmosfera em baixos níveis encontra-se mais estável, o fluxo de calor e umidade da região passa a fornecer condições necessárias para que esse sistema cresça), possuindo propagação de leste para oeste na região amazônica, e se desenvolvendo devido às condições favoráveis à convecção e a Zona de convergência intertropical (ZCIT), que intensificaram a precipitação intensa de 154,9 mm, principalmente na capital do estado do Maranhão. Além disso, notou-se que as mais baixas temperaturas ($-80^{\circ} < T_b < -70^{\circ}\text{C}$) dos topos dos SCMs que atingiram a região de estudo estavam relacionadas com a mais intensa precipitação durante a atuação do sistema formado no litoral que causou a forte chuva, no dia 02 de maio de 2009 na cidade de São Luís no Maranhão.

REFERÊNCIAS

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A F.; NOBRE C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanálise**, São José dos Campos, v. 4, n.11, p. 34-40, Nov. 1989.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, n.11, p. 3163-3174, Nov. 1995.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v.5, n.6, p.36-45, 1990.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal Royal Meteorology Society**, v. 102, n. 435, p. 77-92, 1977.

HUSCHKE, R. E. Glossary of meteorology. Boston, MA. **American Meteorological Society**, n 638, p 59-65, 1959.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMATICOS (CPTEC). **Divisão de satélites e sistemas ambientais** Disponível em: [HTTPS://http://satelite.cptec.inpe.br/repositorio6/goes10/web/ams_realcada_baixa/2009/05/S11615584_200905021830.jpg](https://http://satelite.cptec.inpe.br/repositorio6/goes10/web/ams_realcada_baixa/2009/05/S11615584_200905021830.jpg). Acesso em: 03 de Setembro de 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. (INMET). **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <https://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> . Acesso em: 06 de Setembro de 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas do Brasil 1961 – 1990**; Andrea Malheiros Ramos Luiz André Rodrigues dos Santos Lauro Tadeu Guimarães Fortes Organizadores; edição revista e ampliada Brasília - DF, 2009. p 171- 180.

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 04, p. 488 - 498, Abr. 1980.

KOUSKY, V. E. ; KAYANO, M. T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. **J. Climate**, v 7, p, 1131-1143, 1994.

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

MADDOX, R.A. Mesoscale convective complexes. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 61, p. 1374-1387, 1980.

MOHR, K. I.; FAMIGLIETTI, J.S.; ZIPSER, E.J. The contribution to tropical rainfall with respect to convective system type, size, and intensity estimated from the 85-GHz ice scattering signature. **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, n. 5, p. 596-606, 1999.

NESBITT, S. W.; ZIPSER E. J.; CECIL, D. J. A Census Of Precipitation Features In The Tropics Using Trmm: Radar, Ice Scattering, And Lightning Observations. **Journal Climate**, v. 13, N.23, p. 4087-4106, 2000.

SOUZA, C.C. A. et al. Análise de sistemas convectivos de mesoescala em Soure/Marajó em julho de 2013. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 18., 2014, **Anais...** Recife – PE, SBMET, 2014. p. 05-07.

SOUZA, E. B. de et al. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, p. 111-124, 2009.

SUN, W. Y.; ORLANSKI, I. Large mesoscale convection and sea breeze circulation. Part. I: linear stability analysis. **J. Atmos. Sci.**, v. 38, p. 1675-1693, 1981.

UNIVERSITY OF UTAH PMM SCIENTIA. **Mesoscale Convective Systems (MCSs)**. Disponível em: < <http://trmm.chpc.utah.edu/>. Acesso em: 08 de Setembro de 2015.

RIBEIRO, A; VICTORIA, R. L; FERREIRA, A. R; NOVA, N. A. V; MARTINELLI, L. A; MORTATTI, J. Análise do Regime Pluviométrico da Região Amazônica a partir de Dados de Onze Localidades. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v 11, n 12, p. 25–32, 1996.

HOUZE, R.A. Mesoscale convective systems. In: _____. **Cloud dynamics**. [S.I.]: Academic Press Inc., 1993. v.53, p. 334-404.

NICOLINI, M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: characteristics and temporal variability. **Journal of Climate**, v. 17, n. 12, p. 2261-2280, 2004.

HASTENRATH, S; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. Quartely **Journal of the Royal Meteorological Society**, v.103, n. 435, p 77-92, 1977.

HASTENRATH, S.; LAMB. **Climatic atlas of the tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans**. [S.I.]: University of Wisconsin Press, p.1977. 177

KOUSKY, VERNON. E. Diurnal rainfall variation in the Northeast Brazil. **Monthly weather review**, v 108, n 4, p 488-498, 1980

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, p. 2464-2479, 1996

SOUZA, E.B. de et al. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.