Universidade Federal do Pará | Faculdade de Meteorologia | Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LAIZA MINELLI RODRIGUES LIMA

PRECIPITAÇÃO SEVERA EM BÉLEM NO DIA 13 DE FEVEREIRO DE 2013: UM ESTUDO DE CASO

N° 330

BÉLEM – PARÁ

DEZEMBRO/2014

LAIZA MINELLI RODRIGUES LIMA

PRECIPITAÇÃO SEVERA EM BÉLEM NO DIA 13 DE FEVEREIRO DE 2013: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Meteorologia da Universidade Federal do Pará- UFPA, em cumprimento ás exigências para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. MSc. José Carvalho de Moraes

.

Belém

Dezembro/2014

LAIZA MINELLI RODRIGUES LIMA

PRECIPITAÇÃO SEVERA EM BÉLEM NO DIA 13 DE FEVEREIRO DE 2013: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de curso apresentado á Faculdade de Meteorologia do instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará-UFPA, em cumprimento ás exigências para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Data de aprovação____/____/____

Conceito:_____

Banca examinadora:

_____

José Carvalho de Moraes – Orientador

Mestre em Meteorologia

Universidade Federal do Pará

_____

Dimitrie Nechet

Especialista em Meteorologia Tropical

Universidade Federal do Pará

_____

Renata Kelen Cardoso Câmara

Mestra em Ciências Ambientais

Universidade Federal do Pará

Dedico minha formação acadêmica a duas pessoas maravilhosas, Rondinelle Sousa e Lairton Lima onde vocês estiverem esta vitória também é de vocês muito obrigada.

AGRADECIMENTOS

Nossa como tenho a quem agradecer.

Não poderia ser diferente. Tenho que começar dizendo um muito obrigado aos meus pais, Varlene pereira e José Haroldo Rodrigues. Obrigado pelo amor incondicional, pela dedicação, pelo incentivo e, principalmente, pela paciência.

Meus irmãos e tios que tanto me deram apoio. Vocês foram de fundamental importância.

A tia Nilza por ter me cedido sua casa para eu morar e me ajudou em tudo o que precisei ao longo desta caminhada.

Agradeço ao meu futuro Marido, Serge Lewula o qual Deus colocou em meu caminho para eu ter uma razão para seguir com alegria, pois ele me presenteou com uma filha maravilhosa.

Agradeço a minha cunhada Yara por ter cuidado da minha filha para que eu terminasse o meu Tcc Obrigada.

Ao meu orientador, José carvalho pela dedicação e pelos ensinamentos durante a execução deste trabalho.

Aos amigos de turma: por me ajudarem quando precisei, a vocês devo um agradecimento muito especial, principalmente pela convivência, pela amizade e paciência.

A todos os meus amigos, com os quais passo momentos de muita alegria.

Aos amigos de sempre, Gabriele, Nathalia, Jéssica e verena. Vocês já fazem parte da minha vida há bastante tempo e, estão sempre ao meu lado. Vocês são 10.

A gradeço ao SIPAM- Belém por fornecimento os dados Meteorológicos que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao professor Antônio Carlos Lola da costa pela oportunidade de trabalhar com ele e pela sua compreensão muito obrigada.

Ao corpo docente da faculdade de meteorologia por me repassarem o seu conhecimento e pela paciência sem vocês não teria chegado até aqui muito obrigada.

RESUMO

A cidade de Belém possui clima tipicamente tropical, quente e chuvosa. O regime de precipitação possui dois períodos um chuvoso de dezembro a maio com mês mais chuvoso março com média de 447,1 mm e um período menus chuvoso de junho a novembro com o mais seco outubro com média de 114,6mm. As precipitações são predominante convectiva chegando a forte tempestade no período chuvoso, neste trabalho procura-se identificar a ocorrência de tempestade severas através de imagens de radar, satélite, cartas sinóticas e de radiossondas. Dentre as tempestades selecionadas no período de 2003 a 2013 optou-se para estudo de caso a ocorrida no dia 13/02/2013 com o total de 132,5mm. Observamos nas imagens de satélite que o sistema sinótico atuante foi um Vórtice Ciclone de Altos Níveis que causou bastante precipitação na região norte do Pará. Os índices de instabilidades: K, CAPE, Total totals e Showalter, observado na radiossonda representaram exatamente o que estava ocorrendo no horário da chuva. As imagens do Radar mostraram que a precipitação concentrou-se na parte sul do Pará.

Palavras-Chave: Tempestade. Vórtice Ciclone de Altos Níveis. Radar Meteorológico. Belém-Pa.

ABSTRACT

The city of Belém has typically tropical climate, hot and wet weather. Precipitation regime has two rainy periods from December to May with rainiest month March with media 447.1 mm and a rainy menus period from June to November with the driest October with media 114,6mm. Precipitation is predominantly convective reaching severe storm in the rainy season; this paper seeks to identify the occurrence of severe storm through radar images, satellite, synoptic maps and radiosondes. Among the selected storms from 2003 to 2013 was chosen for the case study occurred on 02.13.2013 with a total of 132,5mm. We observed in the active synoptic satellite system was a Cyclone Higher Levels Vortex that caused quite precipitation in northern Pará images. The instability indices: K, CAPE, Total totals and Showalter, observed in radiosonde represented exactly what was going on rain hours. The Radar images showed that the precipitation concentrated in the southern part of Pará.

Key-words: STORM. Vortx High Level Cyclonic. Meteorological Radar. Belém-Pa.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 01- Área de cobertura do radar meteorológico do SIPAM – Bélem.....18

Figura 02- antena tranmissora receptora.....19

Figura 03- Diagrama Skew-T/log-P da sondagem feita em Belém no dia 13/02/2013 às 00:00Z.....25

Figura 04-Diagrama Skew-T/log-P da sondagem feita em Belém no dia 13/02/2013 às 12:00Z.....26

Figura 05- Observação da tempestade do dia 13/02/2013 as 00:45 UTC pelo Radar do SIPAM Belém.....29

Figura 06- Observação da tempestade do dia 13/02/2013 as 18:20 UTC pelo Radar do SIPAM Belém.....30

Figura 07- Observação da tempestade do dia 13/02/2013 pelo satélite GOES 12.....31

Figura 08**:** Análise da carta sinótica de 250 hPa da 00Z do dia 13/02/2013.....32

Figura 09: análise da carta sinótica de 850 hPa da 00Z do dia 13/02/2013.....33

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -Classificação dos radares meteorológicos por Banda e Função.....19

Tabela 02- seleção das maiores precipitações no período e disponibilidade de dados.....23

Tabela 03- Dados Meteorológicos da estação SBBE do dia 13/02/2013 das 0000z às 2300z em código METAR.....24

Tabela 04 Probabilidade de formação tormentas com o Índice K.....27

Tabela 05: Probabilidade de formação tormentas com o Índice CAPE.....27

Tabela 06: Probabilidade de formação tormentas com o Índice TT.....27

Tabela 07: Probabilidade de formação tormentas com o Índice Showalter.....28

Tabela 08 – Índices de instabilidade calculados na sondagem do dia 13/02/2013, as 00:00Z na estação SBBE 82193.....28

Tabela 09– Índices de instabilidade calculados na sondagem do dia 13/02/2013, as 12:00Z na estação SBBE 82193.....28

LISTA DE ABREVIATURAS

AB – Alta da Bolívia

ASAS- Alta Subtropical do Atlântico Sul

ºc- Graus celsus

CAPE- convective avaiable potential energy

CB- Cumulunimbus

CMA-Centro de monitoramento da Amazônia

CPTEC- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CT- Cross-Total

dBz- Refletividade medida pelo Radar

ET- evapotranspiração de referência mensal

g- Grama

GOES- Geostatinary Operational Envirommontal Satellites (Geoestacionário Operacional Ambiental)

GPT- Grupo de Previsão de Tempo

hPa- Unidade usada para medir a pressão (hecto Pascal)

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ITCZ- Intertropical Convergence Zone (Zona de Convergência Intertropical)

JBN- Jatos de Baixos Níveis

K- Índice de instabilidade

Kg- Quilograma

Km- Quilometro

mm- Milímetro

MT- Mato Grosso

METAR– Meteorological Aerodrome Report (Informação Meteorológica de Aeródromo). Realizada de hora em hora.

N- Norte

P- Precipitação

PA- Pará

PR-Radar de Precipitação

PRP-Precipitação

RJ- Rio de janeiro

RO-Rondônia

S- Sul

SBBE- Sigla da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) do aeródromo de Belém-Pa

SHF- Super High Frequency (Super Alta Freqüência)

SIPAM- Sistema de Proteção da Amazônia

SP- São Paulo

T- Temperatura

Td-Temperatura do ponto de orvalho

TT- Total Totals – Índice de Instabilidade

UTC- Universal Coordinated Time

VCAN-Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

VT-Vertical Total

W- West (Oeste)

Z-Tempo universal Coordenado

ZCIT- Zona de Convergência Intertropical

82193- Números que identificam a Estação de superfície de Belém

%- Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 15

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA..... 20

3 MATERIAS E MÉTODOS..... 22

4 RESULTADOS E DISCURSÃO..... 25

4.1 ANALISES DAS RADIOSSONDAS PARA O DIA 13/02/13**..... 25**

4.1.1 Analises dos índices de instabilidade do dia 13/02/13..... 27

4.1.2 Analises das imagens do radar para o dia 13/02/2013..... 29

4.1.3 Analises das imagens de satélite para o dia 13/02/2013..... 31

4.1.4 Analises das cartas sinóticas para o dia 13/02/2013..... 32

5 CONCLUSÃO..... 34

REFERÊNCIAS..... 35

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia possui como característica principal o clima quente e úmido e chuvas abundantes, entretanto, estas condições podem sofrer grandes modificações quando influenciada diretamente por sistemas de grande escala. (COSTA, 2003).

A região norte, localiza-se na faixa equatorial caracteriza-se por altas temperaturas e elevados índices pluviométricos. As precipitações são predominantemente convectivas. As altas temperaturas reinantes estão associadas à intensa radiação solar incidente na região (VIANELLO, 2000).

A cidade de Belém, capital do Estado do Pará, situada a 01° e 23’ S e 048° e 29’ W, é uma cidade com, alta temperatura, umidade relativa do ar, e alta pluviosidade, chuvosa durante o ano inteiro. Os meses mais chuvosos são fevereiro e março com valores médios mensais acima de 400 mm, e os meses menos chuvosos são outubro e novembro com valores médios mensais em torno de 100 mm Os principais mecanismos que explicam o regime das chuvas é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) resultante da convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, que é caracterizada por ventos fracos e precipitações intensas (VIANELLO; ALVES, 1991), isto explica a alta pluviosidade dos meses de fevereiro e março, quando a ZCIT está no hemisfério sul.

Em Belém as precipitações se concentram no final da tarde e início da noite, acompanhadas de vento forte e forma inclinada, segundo (NECHET, 1993), a mais comum é a precipitação convectiva, que é aquela causada pelo aquecimento diferencial da superfície, onde a parte mais aquecida ocorre o movimento vertical ascendente e a menos aquecida movimento vertical descendente, o que caracteriza a célula convectiva, possui as seguintes características: intensidade forte a moderada, abrangendo pequenas áreas, curta duração, isoietas concêntricas, e ás vezes acompanhadas de ventos fortes e trovões. Precipitações típicas de regiões tropicais e associadas com sistemas frontais.

Segundo Escobar (2007), denomina-se índice de instabilidade o valor numérico que permite expressar a instabilidade da atmosfera. Os índices são muito importantes em relação a

técnicas de previsão de tempo já que têm a vantagem de serem fáceis de calcular e são mais úteis quando são combinados objetiva ou subjetivamente com outros dados e situações sinóticas.

De acordo com Lima (2005), um aspecto extremamente relevante a ser abordado, quando se fala em previsão da gênese de tempestades e consequentemente formação de trovoadas, é a informação que pode ser extraída dos índices de instabilidade. Esses índices são calculados a partir de variáveis termodinâmicas, de forma que representem áreas preferenciais para a formação de tempestades e trovoadas. Eles foram desenvolvidos para latitudes médias, e poucos foram aplicados para latitudes tropicais, inclusive tratando-se de Brasil. Cada um desses índices possui valores típicos e extremos que denotam áreas de maior risco quanto à ocorrência de sistemas convectivos que produzem tempo severo. Os índices de instabilidade mais utilizados em centros de previsão de tempo, auxiliando os previsores em determinarem áreas preferenciais para a formação de tempestades, são: índice K, índice dos totais (TT – t*otal total*), índice Showalter – IS, além da energia potencial convectiva disponível (CAPE – c*onvective avassale potential energy*). Esses índices são utilizados com frequência nos centros de previsão operacional que dão atenção especial a tempestades e fenômenos de mesoescala em geral.

O radar, do inglês Radia Detection And Ranging (Detecção e Telemetria pelo Rádio), é um equipamente que permite detectar objetos a longas distâncias através da emissão e recepção ondas eleotromagnéticas.

O primeiro radar foi construído em 1904, por Christian Hülsmeyer na Alemanha. De imediato não foi muito divulgado nem muito utilizxado, uma vez que na época ainda não havia muita tecnologia nem usuario, somente em 1934 Pierre David desenvolveu sistemas mais precisos para emissão e recepção de ondas eletromagnéticas.

Em 1935, foi instalado o primeiro sistema de Radiotelemetria no navio Normandie com o objetivo de localizar e prevenir a aproximação de obstáculos.

No início da Segunda Guerra Mundial (1939), Watson Watt, melhorou e desenvolveu novas tecnologias, utilizando o sistema de telemetria fixa e rotatória.

Os radares foram muito importantes na previsão de ataques inimigos, pois os ingleses sabiam com precisão a distância, velocidade e direção do ataque, tendo tempo de dar o alarme para a população se proteger, diminuindo imensamente as baixas civis, apesar do bombardeio constante efetuado pelos alemães.

Atualmente os radares são muito utilizados em varias atividades cotidianos como.

1 – Na Aeronautica, tanto tráfego aéreo monitorando o tráfego e taxiamento de aeronaves, como no serviço de proteção ao voo, identificando e localizando nuvens de tempestades.

2 - Na marinha, os radares são utilizados para a navegação, detectando e monitorando obstáculos ou outros navios que possam oferecer riscos até distâncias de 200 km, aproximadamente.

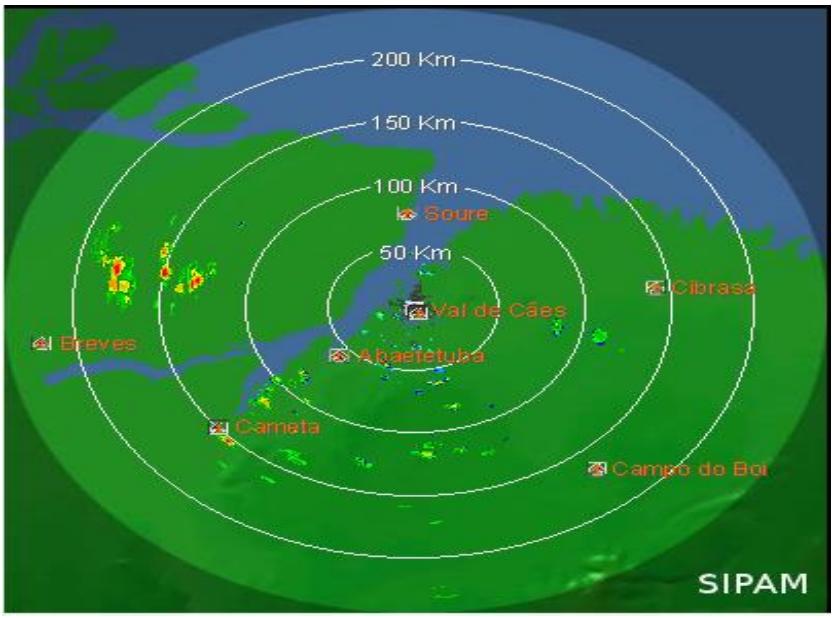
3 – No Exército, as força terrestre, posuem radares de Patrulha aérea, com alcance de até 300 km, radares de aquisição de alcance até 100 km, de tiro e perseguição de mísseis terra-ar, anti-artilharia, para reconstituição das trajetórias dos projéteis, para localização das peças de artilharia com alcance de até 10 km, e, radares de vigilância terrestre para detectar alvos móveis e regulagem de tiro de alta precisão.

4 – No transito de veiculos, tanto nas estradas como nas ruas das grandes cidades grande parte do tráfego de veiculos é monitorado por radares.

5 - Na Meteorologia. Redes de radares meteorológicos estão espalhadas por uma vasta área em vários países do mundo. Possuem longo alcance e hoje são de suma importância para o monitoramento da atmosfera, facilitando assim atividades como a agricultura, aeronáutica, entre outras. Eles detectam com precisão os movimentos das massas de ar, dando subsídios aos meteorologistas para prevenir desde geadas, vendavais e chuvas de granizo, até tempestades.

RADAR METEOROLOGICO

Figura 01: Área de cobertura do radar meteorológico do SIPAM - Bélem



Fonte: SIPAM (2014).

O principio de funcionamento do radar, ou seja, transmissão e recepção de ondas eletromagneticas foram utilizadas na meteorologia.

Um radar meteorológico é um tipo de radar utilizado, entre outras aplicações, na localização de precipitação, no cálculo de seu movimento, na estimativa de seu tipo (chuva, neve, granizo, etc.) na previsão de sua intensidade e posição futura, estimativa da estrutura da nuvem, (área e altura da nuvem). Todo isso numa área de visualização ou **(**vigilância**)** de 400 km de raio e área de processamento de 250 km de raio. Radares meteorológicos modernos são, em sua maioria, radares_Doppler, capazes de detectar o movimento das gotículas de chuva, além da intensidade da precipitação. Ambos os tipos de dados podem ser analisados para determinar a estrutura de tempestades e seu potencial de causar um tempo severo.

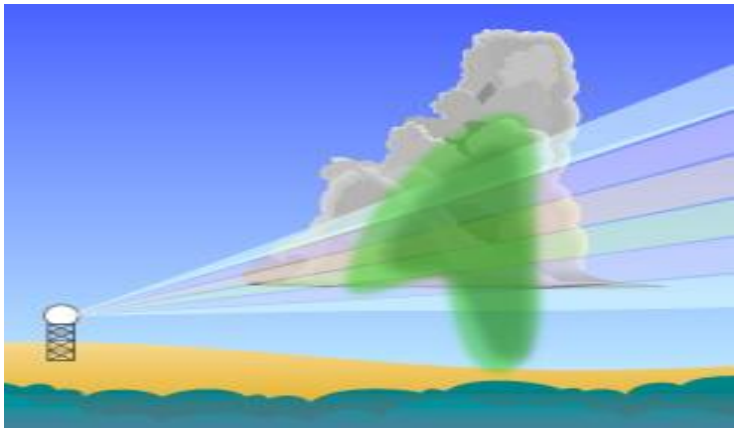
Para aplicação em meteorologia existem várias bandas de radares, faixas de comprimento de ondas, cada uma com aplicação especifica, segundo tabela abaixo.

Tabela 01 - Classificação dos radares meteorológicos por Banda e Função.

RADAR METEOROLÓGICO					
Banda	**Freq:(f)**	**(MHz)**	**Comp (λ)**	**(cm)**	**Furnace**
L	0,39	1,55	76,9	19,3	**Precipitação Forte**
S	1,55	5,2	19,3	5,77	**Precipitação**
C	3,9	6,2	7,69	4,83	**Nuveen's Convective**
X	5,2	10,9	5,77	2,75	**Precipitação Moderate**
K	10,9	36	2,75	0,83	**Precipitação e novenas**
Q	36	46	0,83	0,65	**Precipitação e novenas**
V	46	56	0,65	0,53	**Nuveen's**

Fonte: SIPAM (2014)

Figura 02: antena transmissora receptora.



Fonte: SIPAM (2014)

Um radar é composto por uma antena transmissora receptora de sinais para Super Alta Freqüência (SHF), a transmissão é um pulso eletromagnético de alta potência, curta período e feixe muito estreito. Durante a propagação pelo espaço, o feixe se alarga em forma de cone, até atingir ao alvo que está sendo monitorado, sendo então refletido, e, retornando para a antena, que neste momento é receptora de sinais.

Resumidamente o sistema funciona da seguinte forma:

O pulso gerado no transmissor é disparado contra a antena que o envia ao espaço. O sinal *bate* no alvo, (nuvem, chuva etc.) e retorna em forma de eco. Neste momento é captado pela mesma antena, pois o transmissor está desligado. Pois, se estivesse ligado, devida alta

potência, o receptor não receberia o pulso refletido, e sim o pulso emitido, o pulso de retorno e processado e enviado ao visor, display.

2 REVISÃO LITERARIA

Segundo Molion (1987) Nos trópicos o parâmetro meteorológico mais importante é a precipitação, pois é o que apresenta a maior variação em termos de mudanças sazonais. A precipitação pluviométrica anual varia intensamente de um local para o outro.

Estudos observacionais mostram que a Amazônia Brasileira apresenta uma grande variabilidade de precipitação no tempo e espaço que está associada à influência de diferentes sistemas atmosféricos nas de mexo-escala, sinótica e macro que interagem entre si (VITORINO, 2002).

Segundo Lisboa (1997), o período mais chuvoso da região Amazônica ocorre entre os meses de janeiro e maio, alcançando uma média anual de 2500 mm; já o período menus chuvoso vai de setembro a novembro. A umidade relativa média anual é de cerca de 80% e a direção do vento é predominante de nordeste (NE).

Os principais mecanismos que explicam o regime das chuvas dentro do contexto de escala global são: o resultado da combinação da atuação predominante da Zona de Convergência Intertropical - ITCZ, resultante da convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, que é caracterizada por ventos fracos e precipitações intensas (Vianello; Alves, 1991).

A precipitação abundante ocorre na estação úmida de dezembro a maio e a menos chuvosa de junho a novembro (FIGUEROA; NOBRE, 1990). O clima de uma região é determinado por fatores, denominados controles climáticos, que atuam tanto na escala global como na regional. Os mais importantes são a circulação geral da atmosfera.

Segundo Santos (1993), as chuvas da tarde em Belém são de origem convectiva, com formação local cujo desenvolvimento das células começa durante o período da manhã.

A distribuição das chuvas durante o ano, em termos médios em Belém, definiu a ocorrência de dois períodos de chuva: chuvoso e de estiagem. Todavia, ao longo do tempo foi

possível, em alguns anos, ocorrer ainda os períodos seco e de transição. De acordo com Bastos (2000), as principais características desses períodos são:

Período chuvoso - Definido como período em que, em uma sequência de meses, o total pluviométrico mensal é maior ou igual a evapotranspiração de referência, com ocorrência de excedentes hídricos. É resultante da atuação de vários Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos 21mecanismos formadores de chuva, sendo os mais conhecidos: Zona de Convergência Intertropical – ZCI, brisas marítimas, sistemas frontais oriundos do sul do continente e extensa cobertura florestal atuando como fonte de calor latente de evaporação. Esse período apresenta duração média de 10 meses estendendo-se de dezembro a setembro.

Período de estiagem - Período em que o montante mensal das chuvas está abaixo da evapotranspiração sem, todavia, evidenciar deficiências hídricas. Em geral, ocorre entre outubro e novembro.

Período seco - Ocorre quando o total pluviométrico mensal está muito abaixo da evapotranspiração de referência, provocando deficiência hídrica. Adota-se como indicador para esse período a relação $P < ET/2$, onde: P é igual ao total pluviométrico mensal e ET é igual a evapotranspiração de referência mensal. Sob condições médias e na maioria dos anos não se registra esse período em Belém.

Período de transição - Ocorre após o período seco, quando as chuvas começam a aumentar, todavia o montante mensal, em geral, alcança nível pouco abaixo ou levemente acima da evapotranspiração de referência, sem causar excedente hídrico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar essas características físicas da atmosfera foram inicialmente selecionadas as maiores precipitações ocorridas no período de janeiro de 2003 a março de 2013, (tabela-02). Em seguida, fez-se a coleta de informações de radiossondas, Radar e imagens de satélite meteorológicas e linhas de corrente. Os dados de radiossondas do aeroporto de Belém foram obtidos do site do INMET (2013). E as imagens de satélite e linha de corrente disponíveis no site do CPTEC/IMPE do satélite GOES 12 no canal T. Realçado (CPTEC, 2013). As imagens de Radar foram cedidas pelo Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM, 2014).

Das radiossondas foram analisadas através do Diagrama do Set.-T/Log-P e a lista, para verificar as instabilidades e calcular os índices.

As imagens de satélites foram utilizadas para avaliar os sistemas meteorológicos de larga escala, dos dias e horas de ocorrência das maiores precipitações.

As linhas de corrente de superfície e altitude analisaram as atividades sinóticas que estavam atuando nos dias de tempestades.

As imagens de Radar foram utilizadas para acompanhar o deslocamento do e desenvolvimento até a dissipação das tempestades.

Das vinte e nove (29) precipitações severas selecionadas no período estudado como mostra a tabela abaixo, o dia com melhores condições de estudo de caso foi o dia 13/02/2013, por ter todos os dados necessários para análise das tempestades e por terem apresentado grande quantidade de precipitação acima dos 100 mm.

Tabela 02- seleção das maiores precipitações no período e disponibilidade de dados.

Dias	Precipitação	Radiossonda	Imagens de Sat.	Radar	Status
03/05/2009	74,9	Não	Sim	Não	Não
07/10/2005	74,4	Não	Sim	Não	Não
03/01/2007	72,5	Não	Sim	Não	Não
02/12/2007	73,7	Não	Sim	Não	Não
14/07/2008	78,4	Não	Sim	Não	Não
20/01/2009	72,2	Não	Sim	Não	Não
16/03/2009	77,6	Sim	Sim	Não	Não
26/04/2009	78,6	Sim	Sim	Sim	Sim
16/05/2010	76,2	Sim	Sim	Sim	Sim
07/08/2010	72,4	Sim	Sim	Não	Não
09/07/2012	75,3	Sim	Sim	Não	Não
20/03/2013	77,1	Sim	Sim	Sim	Sim
02/03/2006	89,2	Não	Sim	Não	Não
19/03/2006	85,3	Não	Sim	Não	Não
12/12/2006	84,3	Não	Sim	Não	Não
28/01/2007	87,4	Sim	Não	Não	Não
14/04/2011	82,4	Sim	Sim	Não	Não
21/04/2006	96,7	Não	Não	Não	Não
22/04/2007	98,2	Sim	Não	Sim	Não
03/03/2013	92,1	Sim	Sim	Sim	Sim
22/01/2011	97,8	Sim	Sim	Sim	Sim
25/04/2005	200,8	Não	Sim	Não	Não
01/04/2009	131,4	Sim	Sim	Sim	Sim
07/05/2010	101,6	Sim	Sim	Sim	Sim
24/04/2011	100,3	Sim	Sim	Sim	Sim
13/02/2013	161,2	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: INMET (2014)

Como mostra a tabela acima os melhores dias com melhores condições de estudo de caso são 16/05/10 e 13/02/13 por apresentarem todos os dados de Radiossonda, Radar e Satélite e também grande quantidade de precipitação. Optamos por estudar o caso do dia 13/02/2013 por ser mais recente e ter a Precipitação (PRP) maior (132,5mm). A tabela 03 mostra os dados horários obtidos na estação do SBBE codificados no METAR.

Tabela 03: Dados Meteorológicos da estação SBBE do dia 13/02/2013 das 00:00z às 23:00z em código METAR.

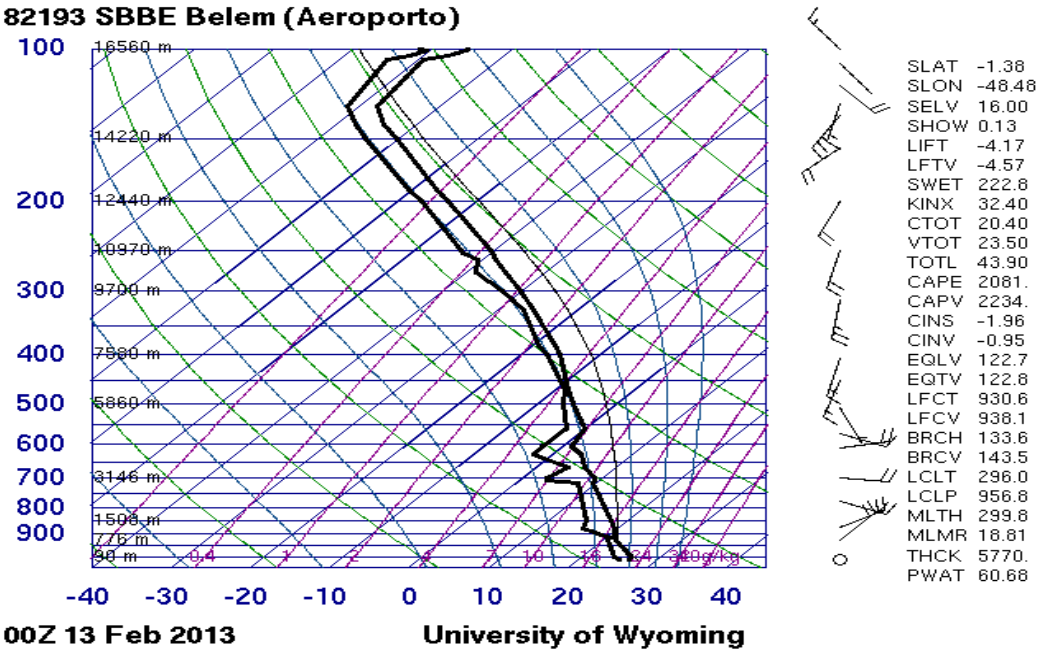
Data	Mensagem (METAR_SPECI)		
13/02/2013	SBBE	130000Z	METAR SBBE 130000Z 11002KT 9999 -RA BKN017 FEW025TCU BKN100 25/23 Q1010 =
13/02/2013	SBBE	130100Z	METAR SBBE 130100Z 11003KT 9999 SCT030 FEW035TCU BKN100 25/23 Q1011=
13/02/2013	SBBE	130200Z	METAR SBBE 130200Z 16006KT 9999 -RA FEW004 BKN030 BKN100 24/22 Q1011 =
13/02/2013	SBBE	130300Z	METAR SBBE 130300Z 08002KT 9999 SCT020 BKN100 23/22 Q1011 =
13/02/2013	SBBE	130400Z	METAR SBBE 130400Z 00000KT 9999 FEW005 SCT020 BKN100 24/22 Q1011 =
13/02/2013	SBBE	130420Z	SPECI SBBE 130420Z 36003KT 4000 -RA SCT005 BKN020 BKN100 24/22 Q1011 =
13/02/2013	SBBE	130500Z	METAR SBBE 130500Z 32007KT 9999 FEW007 BKN020 BKN100 23/22 Q1010 =
13/02/2013	SBBE	130600Z	METAR SBBE 130600Z 04003KT 9999 FEW010 SCT020 BKN100 24/22 Q1010 =
13/02/2013	SBBE	130700Z	METAR SBBE 130700Z 31006KT 9999 SCT010 SCT020 BKN100 24/22 Q1009 =
13/02/2013	SBBE	130800Z	METAR SBBE 130800Z 31006KT 9999 SCT010 BKN020 BKN100 24/21 Q1009 =
13/02/2013	SBBE	130900Z	METAR SBBE 130900Z 32007KT 9999 -RA BKN020 BKN100 24/21 Q1010 =
13/02/2013	SBBE	130940Z	SPECI SBBE 130940Z 14009KT 2500 RA SCT010 BKN020 BKN100 21/19 Q1011 =
13/02/2013	SBBE	131000Z	METAR SBBE 131000Z 15006KT 1600 R06/1500 TSRA BKN007 FEW025CB OVC100 21/19 Q1011=
13/02/2013	SBBE	131100Z	METAR SBBE 131100Z 17007KT 2500 -TSRA BKN006 FEW025CB OVC100 21/20 Q1013 =
13/02/2013	SBBE	131200Z	METAR SBBE 131200Z 16005KT 1000 R06/0900 +TSRA BKN005 FEW025CB OVC100 21/20 Q1014=
13/02/2013	SBBE	131300Z	METAR SBBE 131300Z 28003KT 3500 -TSRA BKN006 FEW025CB OVC100 21/20 Q1014 RERA=
13/02/2013	SBBE	131400Z	METAR SBBE 131400Z 24005KT 5000 -RA SCT010 BKN100 22/20 Q1013 RETS=
13/02/2013	SBBE	131500Z	METAR SBBE 131500Z 15002KT 7000 -RA SCT010 BKN100 23/21 Q1014=
13/02/2013	SBBE	131535Z	SPECI SBBE 131535Z 08008KT 4000 -RA BKN006 BKN100 23/21 Q1014=
13/02/2013	SBBE	131600Z	METAR SBBE 131600Z 05007KT 2000 RA BKN007 OVC100 21/19 Q1013=
13/02/2013	SBBE	131700Z	METAR SBBE 131700Z 06003KT 3500 -RA BKN008 OVC100 21/19 Q1012 RERA=
13/02/2013	SBBE	131720Z	SPECI SBBE 131720Z 01002KT 6000 -RA BKN013 OVC100 21/19 Q1012=
13/02/2013	SBBE	131800Z	METAR SBBE 131800Z 05005KT 9999 SCT020 OVC100 22/20 Q1011=
13/02/2013	SBBE	131900Z	METAR SBBE 131900Z 04007KT 9999 SCT020 BKN100 23/20 Q1010=
13/02/2013	SBBE	132000Z	METAR SBBE 132000Z 02006KT 9999 SCT020 BKN100 23/19 Q1010=
13/02/2013	SBBE	132100Z	METAR SBBE 132100Z 07005KT 9999 SCT018 BKN100 23/19 Q1010=
13/02/2013	SBBE	132200Z	METAR SBBE 132200Z 10004KT 9999 SCT016 BKN100 23/19 Q1010=
13/02/2013	SBBE	132300Z	METAR SBBE 132300Z 05004KT 9999 FEW015 SCT100 22/19 Q1009=

Fonte: REDEMET (2013)

4 RESULTADOS

4.1 - ANÁLISE DA RADIOSSONDA PARA O DIA 13/02/2013.

Figura 03-Diagrama Skew-T/log-P da sondagem feita em Belém no dia 13/02/2013 às 00:00Z.



FONTE: WEATHER (2013)

UMIDADE

A rádio sondagem das 00:00 UTC mostra um perfil de atmosfera bastante úmida em toda sua extensão, com perfil diferença de temperatura de, T – T.d., menor que 6°C, exceto na camada ente 700 e 600 há que uma pequena diminuição de umidade, voltando a aumentar a umidade chegando a saturação, T = T.d. no nível pouco acima dos 500 há no restante da atmosfera continua a grande umidade, com razão de mistura em torno de 5g/kg.

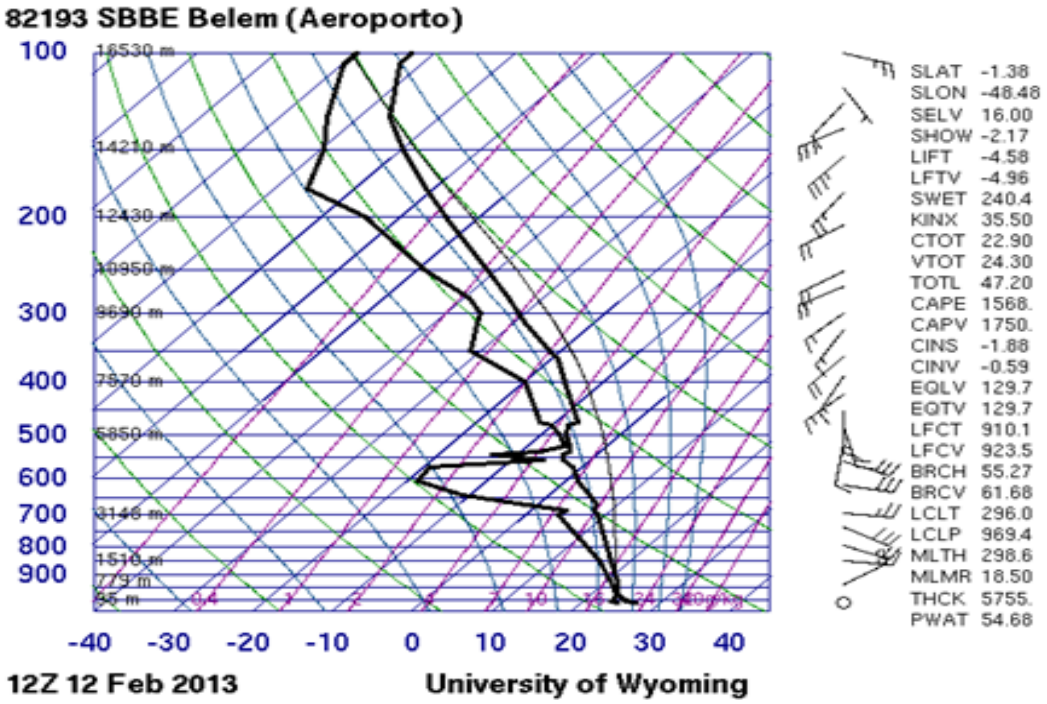
TEMPERATURA

A taxa de variação vertical da temperatura na camada mais baixa, até 500 há, é de 5,11°C/km que caracterizando uma atmosfera condicionalmente instável. Na camada acima de 500 há a taxa de variação vertical da temperatura é de 9,11°C/km indicando uma atmosfera instável. Na camada entre 650 a 550 há observa-se uma inversão térmica do tipo radiativa.

VENTO

Nos baixos níveis, abaixo de 600 há, a direção do vento é predominantemente de ESTE, acima dos 600hPa a direção muda, ficando de SUL e mantendo a intensidade de 20knot. Acima dos 200 há a direção fica de SUDOESTE,

Figura 04: Diagrama Skew-T/log-P da sondagem feita em Belém no dia 13/02/2013 às 12:00Z



FONTE: WEATHER (2013).

UMIDADE

A rádio sondagem das 12:00 UTC mostra um perfil de atmosfera parcialmente úmida na camada acima de 550 há, com perfil diferença de temperatura de, T – T.d., menor que 10°C, exceto na camada ente 800 e 550 há que mostra uma grande diminuição de umidade, voltando a aumentar a umidade chegando a saturação, T = T.d. em torno de 500hPa no restante da atmosfera continua parcialmente úmida, com razão de mistura em torno de 5g/kg.

TEMPERATURA

A taxa de variação vertical da temperatura na camada mais baixa, até 500 há, é de 5,47°C/km que caracterizando uma atmosfera condicionalmente instável. Na camada acima de 500 há a taxa de variação vertical da temperatura é de 7,53°C/km indicando uma atmosfera parcialmente instável. Na camada entre 500 a 450 há observa-se uma inversão térmica do tipo radiativa.

VENTO

Nos baixos níveis, abaixo de 600 há, a direção do vento é predominantemente de ESTE, com intensidade 30 knob acima dos 600hPa a direção muda, ficando de SUDOESTE e diminuindo intensidade de 20knot até o nível 150 há.

4.2 ANÁLISE DOS ÍNDICES DE INSTABILIDADE**.**

Os índices de instabilidade termodinâmicos mais utilizados nos CMA são tratados neste trabalho como variáveis preditas serão para a previsão de tempestades severas, e serão descritos a seguir: no entanto eles não são um indicativo de 100% que as tempestades irão se formar.

O Índice K [°C] é uma medida do potencial de instabilidade baseado na variação vertical de temperatura, no conteúdo de umidade na baixa troposfera e na extensão vertical da camada úmida.

Tabela 04: Probabilidade de formação tormentas com o Índice K.

Valor de K	Probabilidade de tormentas
K<20	Nenhuma
20 < K < 25	Tormentas isoladas
25 < K < 30	Tormentas amplamente dispersas
30 < K < 35	Tormentas dispersas
35 < K < 40	Muitas tormentas

Fonte: twister (2014)

A Energia Potencial Convectiva Disponível (Convective Avalia-lhe Potencial Energy), o **CAPE** [J kg-1] mede a energia potencial disponível para a convecção.
A tabela apresenta os valores de referência para o CAPE e o potencial convectivo associado. Em geral valores acima de 1000 J kg-1 são indicadores de convecção profunda.

Tabela 05: Probabilidade de formação tormentas com o Índice CAPE.

CAPE	Potencial convectivo
0 a 1000	Marginalmente instável
1000 a 2500	Moderadamente instável
2500 a 4000	Acentuadamente instável
>4000	Extremamente instável

Fonte: twister (2014)

O índice Total-Total (TT) é utilizado para identificar potenciais áreas com desenvolvimento de tormentas convectivas. É o resultado da soma dos índices convectivos Cross-Total (CT) e Vertical Total (VT).

Tabela 06: Probabilidade de formação tormentas com o Índice TT

Valor de TT	Atividade convectiva
< 44	Potencial fraco
44 até 50	Tormentas moderadas
50 até 55	Tormentas fortes
< 55	Tormentas muito fortes

Fonte: twister (2014)

O índice Showalter (S) é calculado através da diferença entre a temperatura do ar (médio) no nível de 500 há e a temperatura de uma parcela que sobe adiabaticamente desde o nível de 850 há até o nível de 500 há.

Tabela 07: Probabilidade de formação tormentas com o Índice Showalter

Valor de S	Probabilidade de Tormentas
3 até 1	Possíveis tormentas (precisa de forte gatilho)
0 até – 3	Instável - Prováveis tormentas
- 4 até – 6	Muito Instável (potencial para tormentas fortes)
< - 6	Extremadamente Instável (potencial para tormentas violentas)

Fonte: twister (2014)

Tabela 08: Índices de instabilidade calculados na sondagem do dia 13/02/2013, as 00:00Z na estação SBBE 82193 e os valores limiares destes índices para ocorrência de tempo severo segundo Nascimento (2005) e Silva Dias (2000).

ÍNDICE	SBBE 13/02/2013	LIMITE
K	32.40	>40
Total (TT)	43.90	>50
Showalter (SHW)	0.13	<0
CAPE	2081	>2500

Fonte: Autora (2014).

As análises dos índices de instabilidade da tabela 08 para as 00Z do 13/02/2013 apresentou os seguintes resultados: K indicou tempestades dispersas, ou seja, formação de CDBs esparsos, O TT indicou potencial fraco, Showalter apresentou- se instável com prováveis tormentas, CAPE moderadamente instável.

Tabela 09: Índices de instabilidade calculados na sondagem do dia 13/02/2013, as 12:00Z na estação SBBE 82193

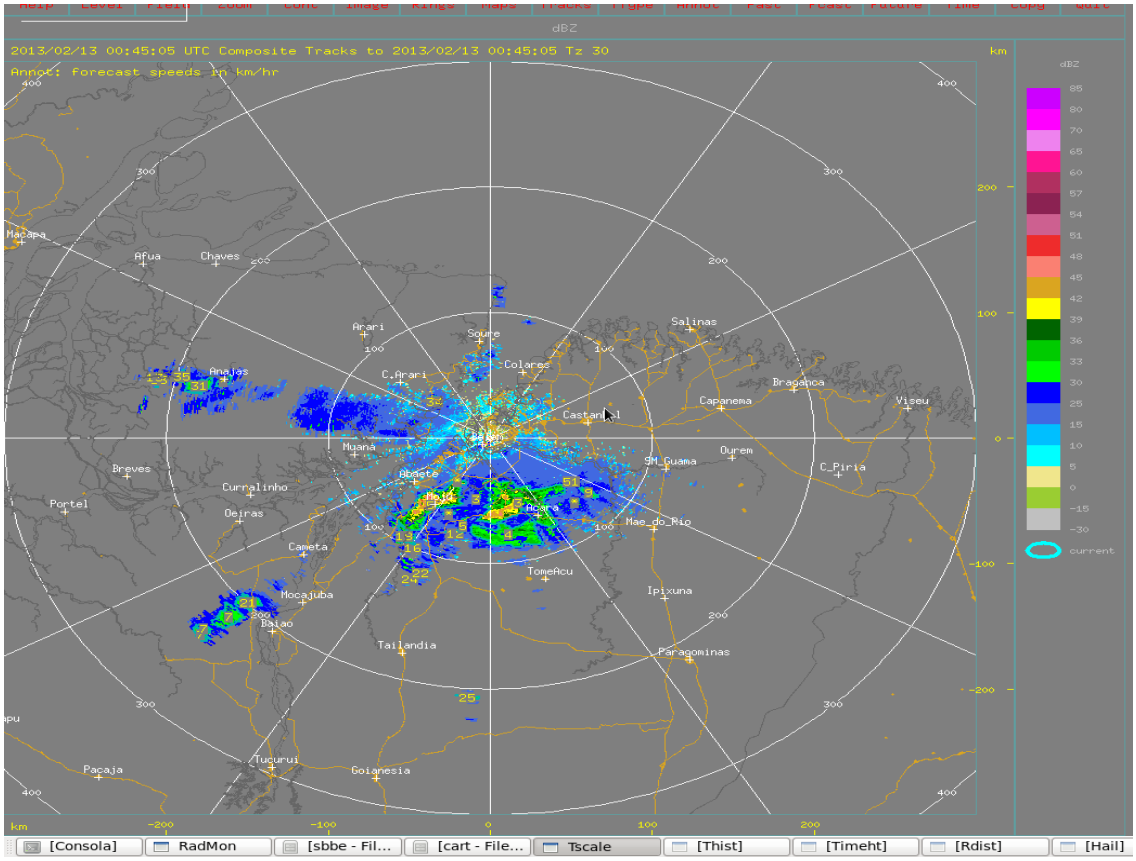
ÍNDICE	SBBE 13/02/2013	LIMITE
K	37.60	>40
Total (TT)	43.30	>50
Showalter (SHW)	0.21	<0
CAPE	1568	>2500

Fonte: Autora (2014).

A análise dos índices de instabilidade para da tabela 09 das 12Z do 13/02/2013 apresentaram os seguintes resultados: K indicou muitas tormentas, O TT indicou potencial fraco, Showalter apresentou- se instável com prováveis tormentas, CAPE moderadamente instável.

4.1.2 Análises do radar para o dia 13/02/2013.

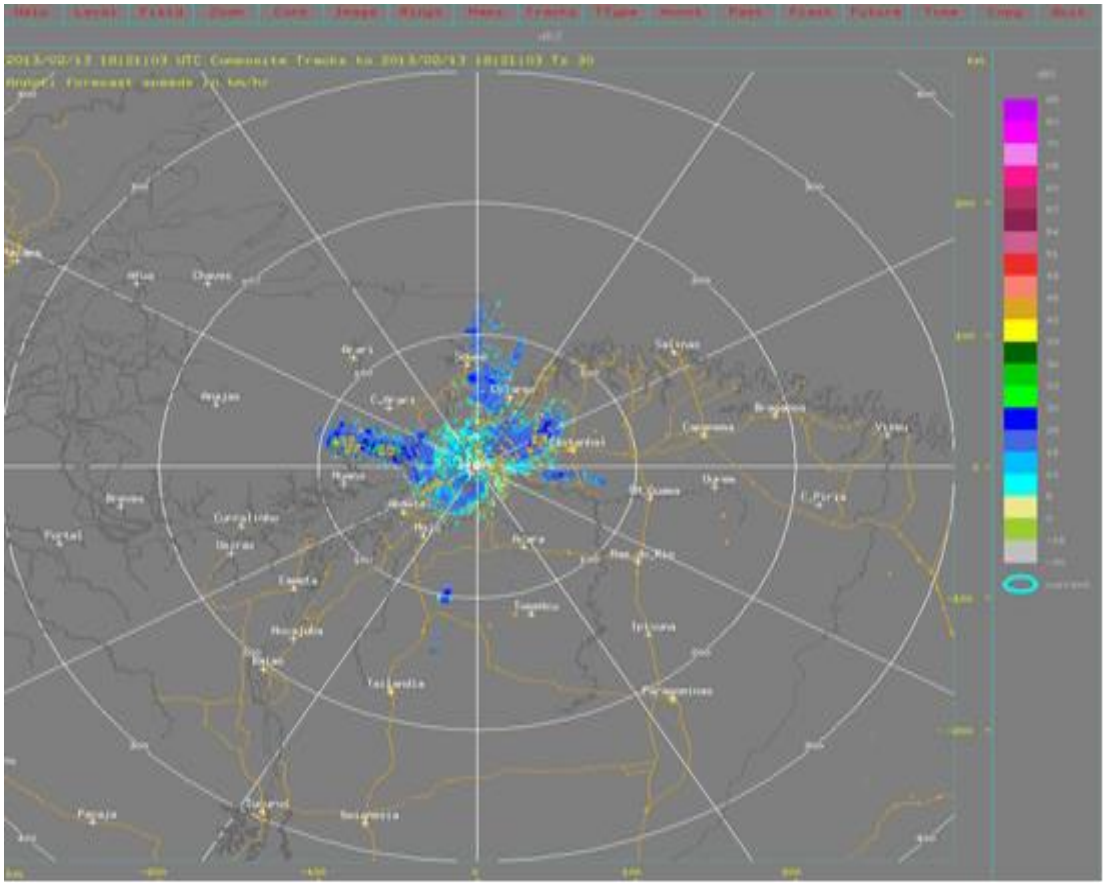
Figura 05: Observação da tempestade do dia 13/02/2013 as 00:45 UTC pelo Radar do SIPAM-Belém.



Fonte: SIPAM-BELÉM (2014)

Afigura 05 da imagem do radar das 00:45hs mostrou que a maior parte da precipitação concentra-se na área do primeiro círculo de abrangência, de 100km de raio, com intensidade variando de 5 a 45 dez, com maior intensidade na região sul da área mencionada. Em outras imagens do radar podemos observar que o aglomerado possui uma área de 7.854 $km^{2.}$

Figura 06: Observação da tempestade do dia 13/02/2013 as 18:20 UTC pelo Radar do SIPAM-Belém.

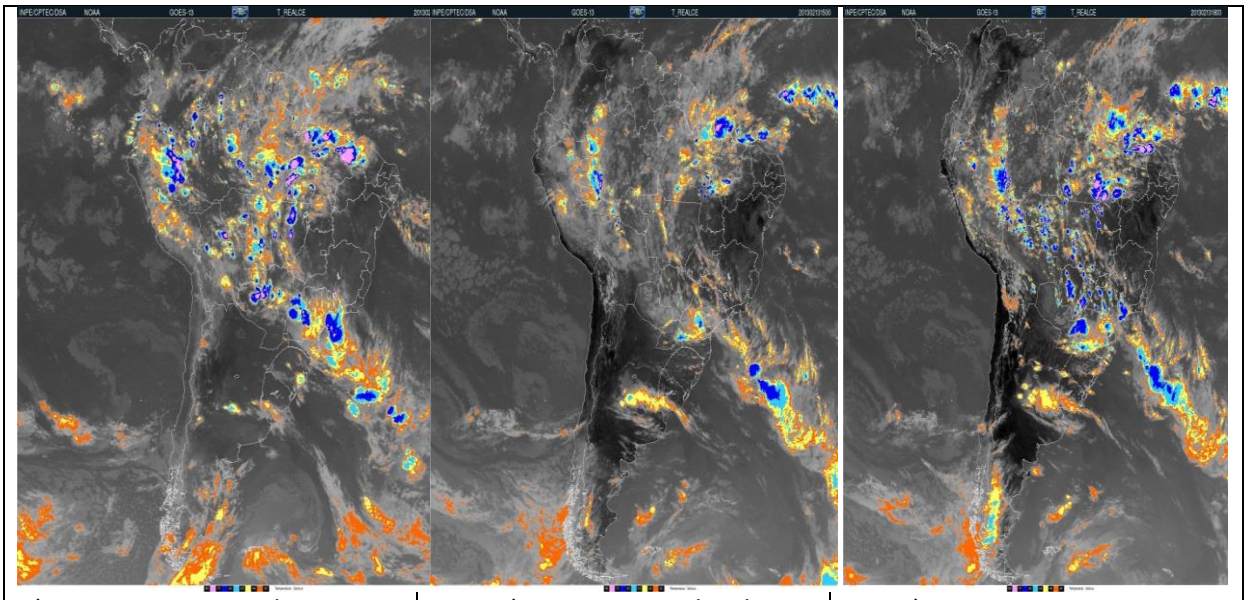


Fonte: SIPAM-BELÉM (2014)

A figura 06 da imagem do radar das 18:20 UTC mostrou que a maior parte da precipitação está concentrada na área em torno do radar, área metropolitana de Belém, com intensidade variando de 5 km C a 48 km, com maior intensidade na região central da imagem. Pela a imagem podemos avaliar que o aglomerado convectivo que causou a precipitação severa possui uma área equivalente em torno de 7.854 km^2 (πr^2 $3{,}1416x50^2$).

4.1.3 Análises das imagens de satélite para o dia 13/02/2013.

Figura 07: Observação da tempestade do dia 13/02/2013 pelo satélite GOES 12**.**



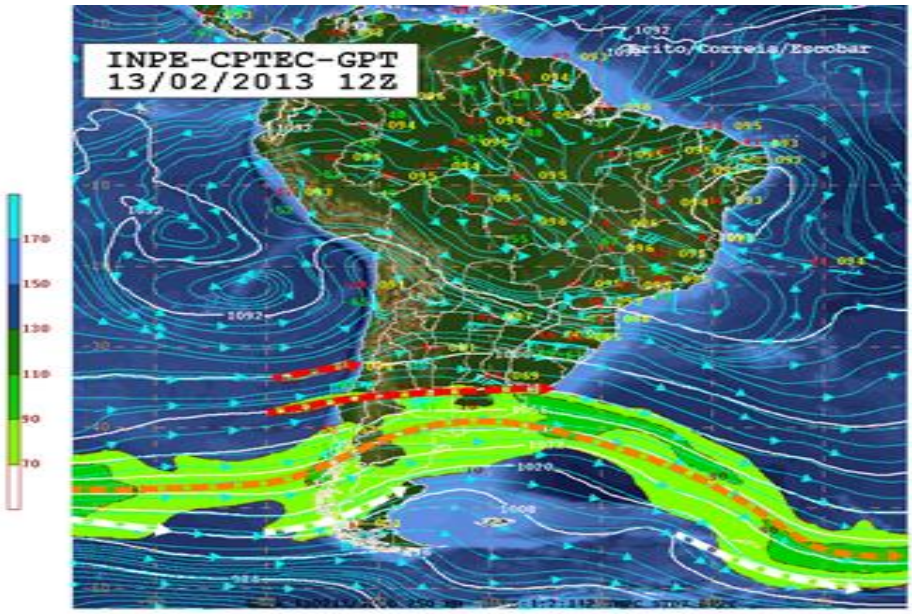
A)00 Z OU 06:00 Local	B)12 Z OU 09:00 local	C)18 Z OU 15:00 LOCAL

Fonte: CPTEC (2013).

A análise das imagens de satélite observada das 00Z, 12:00 e 18: 00 Z do dia 13/02/2013 nota-se o deslocamento de um cavado no Atlântico nota-se também uma circulação ciclônica fechada (VCAN) em aproximadamente 40°S/40°W. Uma frente fria atua entre o oeste e leste da Argentina e se acopla a uma baixa pressão, associada ao padrão bar clínico. Outra frente fria atua no sul do Chile. Observa-se a presença da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), posicionado a leste de 30°W. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) tem núcleo alongado posicionado em aproximadamente 30° s/91°W. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscila entre 01°S e 03°N sobre o Atlântico e entre 03°N e 05°N sobre o Pacífico.

4.1.4 Análises das cartas sinóticas para o dia 13/02/2013

Figura 08**:** Análise da carta sinótica de 250 há da 00Z do dia 13/02/2013



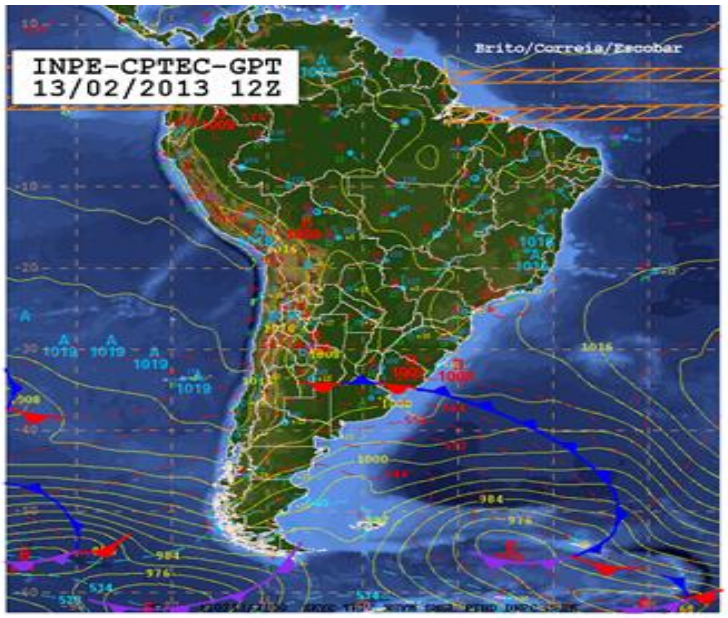
Fonte: INPE (2013), CPTEC (2013).

Na análise da carta sinótica de 250 há da 00Z do dia 13/02, observa-se a presença de um sistema anticíclico sobre o Pacífico, associada a Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS). Entre RO, MT e a Bolívia notam-se outro sistema anticíclico, com a circulação mais definida em relação à análise do dia anterior, associada à Alta da Bolívia (AB), que estende uma crista até SP e RJ, além de deixar o escoamento difluente no setor norte do continente e entre SP e PR, devido sua interação com outras circulações presentes.

Entre o leste da Região Nordeste e o Atlântico ao longo de 10° s aproximadamente, nota-se uma circulação ciclônica fechada (VCAN) e uma circulação levemente ciclônica na Região Sul do Brasil. Outro cavado, mais significativo, é visto com eixo ao sul de 30°S entre o continente e o Atlântico, Este sistema apresenta maior baroclinia ao sul de 40°S, onde é contornado pela corrente de jato polar e favorece um sistema frontal em superfície.

A instabilidade gerada por este sistema é alinhada pelo setor oeste e norte do continente, justificada pela defluência no escoamento. Além disso, o escoamento em baixos níveis também auxilia para este alinhamento da instabilidade. As correntes de jato atuam acopladas em boa parte do domínio ao sul de 35°S.

Figura 09: análise da carta sinótica de 850 hPa da 00Z do dia 13/02/2013



Fonte: INPE (2013), CPTEC (2013)

Na análise da carta sinótica de 850 há da 00Z do dia 13/02/2012, nota-se o escoamento confluente desde a região tropical próxima ao Amapá (AP) e nordeste do Pará (PA), sendo canalizado pelos Andes e seguindo até a Região Sul do Brasil. Entre o sul de São Paulo (SP) e o PR o escoamento é oriundo do Atlântico, associado apenas à Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Estes dois escoamentos apresentam ventos significativos em alguns pontos, principalmente o primeiro, e favorecem a convergência de umidade, que dá suporte termodinâmico à instabilidade alinhada entre o Sul do país, oeste e norte do continente, além de parte de SP e do PR. Esta instabilidade é gerada também pelo cavado e defluência nos níveis acima já comentados. Ainda, este escoamento converge em direção a uma circulação ciclônica sobre o Atlântico (cavado).

Ao sul de 35° s observa-se o reflexo do cavado frontal visto nos níveis acima. Na faixa leste da Região Nordeste observam-se algumas barbelas de vento mais significativo, o que auxilia a formação de nebulosidade baixa e chuva entre fraca e moderada em alguns pontos desta Região. Nota-se a isoterma de 0°C ao sul de 50° s, indicando que o ar com característica polar fica restrito a latitudes mais altas.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar as condições atmosféricas predominantes (no ponto de vista termodinâmico e Sinótico) durante o sinistro meteorológico ocorrido de 0h até às 16h do dia 13/02horas, horário local, em Belém-PA, além de definir o tipo de fenômeno que provocou tal tempo severo.

A estação de superfície SBBE 82193 reportou 132,5 mm, com registro, através de mensagens METAR, na estação mencionada registrou máximos de vento de 37 km/h apenas. As imagens do satélite GOES-12 mostraram o deslocamento de um cavado no Atlântico nota-se também uma circulação ciclônica fechada (VCAN). Pela análise termodinâmica pode-se concluir que mesmo com uma camada de inversão térmica próxima a superfície, a atmosfera estava instável o suficiente para a organização de instabilidade convectiva. Os índices de instabilidade atingiram o valor sugerido para ocorrência de tempo severo, valores que, somados com as condições dinâmicas presentes, foram suficientes para a instabilidade se organizar e se fortalecer. Na análise das imagens de Radar observou-se que a tempestade concentrou-se mais na região sul da cidade atingindo uma área em torno de 7.854 km^2.

REFERÊNCIAS

BASTOS,T.X. **Aspectos agroclimáticos do dendezeiro na Amazônia Oriental**. In: VEIGAS, I de J. M.; MULLER, A. A. A Cultura do dendezeiro na Amazônia. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.48-60.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – CPTEC. Previsão de Tempo. Tempo. 1995. **Boletim Técnico**. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtml>**.** Acesso em: 15 dez. 2013.

COSTA. A.C.L.; FERREIRA DA COSTA. R.; COSTA. A.C.L. **Projeto LBA/ESECAFLOR em Cauanã**: Características, Atividades e Resultados. CCT_005. Belém: Estação Cientifica Ferreira Penna – Dez anos de Pesquisas na Amazônia, 2003.

ESCOBAR, G.; ANDRADE, K. **Climatologia dos índices K e Total Totals (TT) parao Sul e Sudeste do Brasil**. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia,Belém, PA, 2007.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. Precipitations distribution over Central and Waste Tropical South America. Clima alise- **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 5, n. 6, p. 36- 45, 1990.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados de precipitação Belém -PA, no período de 2003 a 2013**. Disponível em:<http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 01 dez. 2013.

LIMA, Daniele, R.O. **O uso do índice K como indicador de chuvas intensas** – O caso Maceió, 18 de janeiro de 2004. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

LISBOA, P. L. B. Estação Cientifica Ferreira Pena/ECPn In: LISBOA, P. L. B. (Org.) **Caxiuanã**. Belém: MPEG, 1997. 446 p., cap. III-Estação ECFPn, P. 23-49

MARENGO, J. Interananual variability of surface climate in the Amazon Basin. **Internacional jornal of climatology**, n. 12, p. 853-863, 1992.

MOLION L.C.B. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: Mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p.117, 1987.

NASCIMENTO, E. L. **Previsão de tempestades convectivas severas**: teoria e aplicações básicas. Nota Técnica. Curitiba-PR: Instituto Tecnológico SIMEPAR, 2006. 40 p.

NECHET, D. Analise da precipitação em Belém-PA, de 1896 a 1991. **Bol. Geo. Teor**., v. 23, n. 45-46, p. 150-156, 1993.

REDE DE METEOROLOGIA DO COMANDO DA AERONÁLTICA – REDMET. **Consulta de mensagem meteorológica**. 1994. Disponível em:< http://www.redemet.aer.mil.br/consulta_msg/consulta_de_mensagem.php?ID_REDEMET=f522b7d8ef71668b7e74e138ba02338b>. Acesso em: 20 de fev. 2014.

SANTOS, A. R.A. **Análise das tendências da chuva e das temperaturas extremas na região de Belém (PA)**. 1993. 124f. Dissertação (Mestrado) – ESALQ.

SILVA DIAS, M. A. **Índices de Instabilidade para a Previsão de Chuvas Tempestades Severa**. São Paulo: USP. Departamento de Ciências Atmosféricas/IAG, 2000.

Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM). **Departamento de Meteorologia**. Acesso em: dez 2013 a jan. 2014

Universidade de Wyoming: Disponível em:<http://weather. uwyo.edu>. Acesso em: 20 fev. 2014.

VIANELLO, R. L.; **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, MG, 2000. 449p.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A. R. **Meteorologia e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991. 449p.

VITORINO, M.I. **Analise das oscilações intrasazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes utilizando a Analise de Ondoletas**. 2002. Tese (Doutorado em Meteorologia) – IMPE, São José dos Campos, 2002.