



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

N.º de ordem: MET – UFAL – MS – 116.

EDWANS SILVA CORDEIRO

**ANÁLISE SINÓTICA DOS EVENTOS COM TROVOADAS PARA O ESTADO DE
ALAGOAS DENTRE O PERÍODO DE 15 ANOS (1998-2012).**

Maceió – Alagoas

Novembro, 2014

EDWANS SILVA CORDEIRO

**ANÁLISE SINÓTICA DOS EVENTOS COM TROVOADAS PARA O ESTADO DE
ALAGOAS DENTRE O PERÍODO DE 15 ANOS (1998-2012).**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientadores: Prof^ª. Dra. Natalia
Fedorova
Prof. Dr. Vladimir Levit

Maceió – Alagoas

Novembro, 2014

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

C794a Cordeiro, Edwans Silva.
Análise sinótica dos eventos com trovoadas para o estado de Alagoas dentre o período de 15 anos / Edwans Silva Cordeiro. – 2014.
87 f. : il. tabs. e gráfs.

Orientadora: Natalia Fedorova.
Coorientador: Vladimir Levit.
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2014.

Bibliografia: f. 76-81.
Apêndices: f. 82-86.
Anexos: f. 87.

1 Tempo (Meteorologia) - Alagoas. 2. Sistemas sinóticos. 3. Índices de instabilidade. I. Título.

CDU: 551.596.5(813.5)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-116.

**“Análise Sinótica dos Eventos com Trovoadas para o Estado de Alagoas
dentre o período de 15 anos (1998-2012)”**

Edwans Silva Cordeiro

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dra. Natalia Fedorova
(Orientadora)

Prof. Dr. Vladimir Levit
(Orientador)

Prof. Dra. Maria Luciene Dias de Melo
(Membro Interno)

Prof. Dr. Manoel Alonso Gan
(Membro Externo – CPTEC/INPE)

Novembro/2014

AGRADECIMENTOS

Deus, primeiramente.

À minha família pelos ensinamentos da vida, amor e dedicação.

Aos meus amigos de Mestrado que durante esta jornada estiveram sempre unidos não só na sala de aula, mas também nos momentos de descontração, estudos, seminários.

A todos os meus amigos “irmãos” do Laboratório de Sinótica – UFAL, em especial à minha amiga Thaise Gomes, por me ajudar nos momentos mais difíceis desta dissertação.

A equipe Aeroespacial, pela amizade, paciência, ajuda, palavras de conforto e orientação que me proporcionaram neste período dividido entre trabalho e dissertação.

Em especial aos meus orientadores, Vladimir Levit e Natalia Fedorova principalmente pela paciência, auxílio e apoio durante a realização de minha dissertação.

A todos os demais Professores do Instituto de Ciências Atmosféricas da UFAL que contribuíram no meu aprendizado e desenvolvimento pessoal durante meu mestrado.

À banca examinadora, pelas contribuições.

À CAPES por me proporcionar auxílio financeiro em todo este período de curso.

“O mundo não está em seus livros e mapas. Ele está lá fora.”

(Gandalf, The White)

RESUMO

Alagoas é extremamente afetada por diversos tipos de fenômenos adversos e trovoadas é um deles. A previsão deste fenômeno tem bastante significância no ramo pessoal, econômico e cultural. Com esse objetivo, o estudo dos sistemas sinóticos associados às trovoadas faz-se necessário. Para isto, dados do Departamento do Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e dados do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) foram utilizados na busca sobre a frequência das trovoadas. Também foram aplicados dados de reanálise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e do satélites GOES 8 do Centro de Previsão de Tempo de Estudos Climáticos (CPTEC) e GOES 12 do National Climatic Data Center (NCDC) e gerados diversos campos sinóticos utilizando o software Grid Analysis and Display System (GrADS). O estudo sinótico das trovoadas foi feito para todos os 212 casos encontrados dentre o período de 15 anos (1998 a 2012). A frequência das trovoadas revelou sua maior ocorrência para o ano de 2008, apresentando 21 casos. Entretanto, também exibiu sua menor ocorrência para o ano de 2012, apresentando apenas 04 casos. Além disto, foi observado que os meses em que mais se verificou eventos com trovoadas, foram os meses de Janeiro, Fevereiro e Março. Para identificação e análise dos sistemas sinóticos, foram geradas imagens de Linhas de Corrente em todos os níveis da atmosfera juntamente com imagens de satélite. Ao todo foram encontrados cerca de cinco sistemas sinóticos associados às trovoadas em Alagoas, dos quais: Cavados em Altos Níveis, Zona Frontal, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e Vórtice Ciclônico de Médios Níveis (VCMN). De fato, os sistemas que mais apresentaram casos com trovoadas foram VCAN e Cavados em Altos Níveis. O estudo sobre o posicionamento da trovoadas em cada sistema sinótico apresentou destaque no trabalho. Neles foram observados que a maior parte encontrou-se à Retaguarda do Cavado. Para o VCAN as trovoadas posicionaram-se à Noroeste, Norte e Nordeste. No entanto, foram apresentados exemplos de casos com trovoadas referentes a cada sistema sinótico identificado. Por fim, a análise dos índices de instabilidade também apontou grande importância, pois mostrou a intensidade do fenômeno adverso para cada evento. Os índices CAPE+ e LI apresentaram as maiores médias em todos os casos com Cavado em Altos Níveis ($1374,4 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e $-4,6$), VCAN ($1319,6 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e $-4,5$) e ZCIT ($1479,1 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e $-5,2$). Entretanto as menores médias indicaram fraca trovoadas em eventos com Zona Frontal ($1030,8 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e $-3,8$) e VCMN ($409,5 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e $-2,0$). Todos os dados obtidos juntamente com outras análises serão utilizados no aprimoramento de séries climatológicas e sinóticas para a previsão de trovoadas em Alagoas.

Palavras - chave: Descargas elétricas. Sistemas Sinóticos. Índices de Instabilidade.

ABSTRACT

The Brazilian state of Alagoas is extremely affected by a sort of different kind of adverse phenomenon, one of them is what we called thunderstorm. The prediction of this adverse phenomenon carries a lot of interest from all the segments of the society. The study of the adverse phenomenon synoptic systems was done in this paper. For this purpose, data from the Airspace Control Department (DECEA) and also data from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite was used to find out the number of incidence of the thunderstorm. It also used reanalysis data from the National Centers for Environmental Prediction (NCEP); GOES 8 satellite, owned by the Centro de Previsão de Tempo de Estudos Climáticos (CPTEC) and GOES 12 by the National Climatic Data Center (NCDC). A large number of synoptic maps were done using the Grid Analysis and Display System (GrADS) software. The synoptic study was done for all the 212 cases found in the last 15 years, between 1998 and 2012. The amount of thunderstorm in the year of 2008 was the highest of all this period, with 21 cases, on the other hand, the year of 2012 show the fewer number of cases, with only 04. In this study, was observed that January, February and March, were the months with more incidence of this phenomenon. For the identification and eventual analysis of the synoptic system, were used streamlines images, in all the atmosphere levels, with satellite images. In this study, was identified at least five synoptic systems associated with thunderstorm in Alagoas: Trough at Upper Levels, Intertropical Convergence Zone (ITCZ), Upper Tropospheric Cyclone Vortex (UTCV) and Middle Tropospheric Cyclone Vortex (MTCV). In fact, UTCV and Trough at Upper Levels, were the systems with more incidence of thunderstorm. The focus of this paper was the location of the thunder in each synoptic system. It was demonstrated that the Rearward of the Trough at the Upper Levels was the area with more incidence. Analyzing the UTCV, was found the thunderstorm were more common in the North, Northwest and Northeast. Nevertheless, were presented in this paper, examples of thunderstorm in each one of the synoptic systems. The instability indices analysis also showed to be a relevant topic, because it demonstrated the adverse phenomenon intensity in each event. For the Trough at the Upper Levels, the CAPE+ and LI indices have the highest medium values (1374,4 J·Kg⁻¹ e -4,6), UTCV (1319,6 J·Kg⁻¹ e -4,5) and ITCZ (1479,1 J·Kg⁻¹ e -5,2). However, Front Zone events (1030,8 J·Kg⁻¹ e -3,8) and MTCV (409,5 J·Kg⁻¹ e -2,0) presents the lowers averages of thunderstorm. All the data provide from this work will be used to make an upgrade in the climatological and synoptic series for the thunderstorm prediction in Alagoas.

Key-words: Electrical Discharge. Synoptic Systems. Instability Indices.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Número total de trovoadas registradas por ano. Fonte: Gin; Guedes, 2000.	21
Figura 2 - Número total de trovoadas registradas por mês. Fonte: Gin; Guedes, 2000.....	21
Figura 3 - Eixo de confluência (área circundada) dos ventos alísios de sudeste com os de nordeste (ZCIT). Fonte: Apostila do Curso de Meteorologia da FUNCEME, 1998.	24
Figura 4 - Diagrama esquemático da nebulosidade associada aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN). Fonte: Autor.....	26
Figura 5 - Duração dos VCMN, por faixa, para todo o período de análise. Fonte: SANTOS, 2012.....	27
Figura 6 - Tempo na superfície associada com uma frente fria (a) e (c); diagrama esquemático indicando a posição mais ao norte das frentes frias que influenciam as chuvas no NEB (b). Fonte: Autor.	28
Figura 7 - Mapa do Estado de Alagoas, região a ser estudada neste trabalho. Fonte: Autor...	30
Figura 8 - Regiões com informação (em azul) e sem informação (em branco), produzida pelo sensor LIS para o dia 01 de abril de 2010 (a) e imagem ampliada para o mesmo dia (b) e (c). Fonte: NASA, 2014.	32
Figura 9 - Exemplos de sistemas sinóticos encontrados através do campo de Linhas de Corrente: (a) Cavado, (b) Crista, (c) Circulação Ciclônica e (d) Anticiclone. Fonte: NCEP, 2014.....	36
Figura 10 - Exemplo de Linhas de Corrente associado a um VCAN intenso observado. Fonte: Autor.	37
Figura 11 - Exemplo de Linhas de Corrente associado à ZCIT encontrada no nível de 1000 hPa. Fonte: NCEP, 2014.	37
Figura 12 - Exemplo de Linhas de Corrente associado ao VCMN observados em (a) 700 hPa, (b) 600 hPa, (c) 500 hPa, (d) 400 hPa e (e) 300 hPa. Fonte: NCEP, 2014.	38
Figura 13 - Fluxograma de previsão das trovoadas divididas em três partes: Climatologia, Sinótica e Termodinâmica. Siglas: al-c (alísios com circulação ciclônica), T (curva de temperatura), Td (curva de umidade), VCAN e CJNEB. Fonte: BRITO, 2008.....	39
Figura 14 - Número de eventos com trovoadas ocorrentes em todos os meses, dentre o período de 15 anos (1998-2012). Fonte: Autor.....	45

Figura 15 - Sistemas sinóticos encontrados em todos os eventos com trovoadas. Fonte: Autor.	47
Figura 16 - Número de eventos com trovoadas encontrados para cada sistema sinótico. Fonte: Autor.	47
Figura 17 - Número de eventos com trovoadas referentes ao posicionamento de seus sistemas sinóticos com circulação aberta. Fonte: Autor.	48
Figura 18 - Exemplos de alguns casos com trovoadas e suas respectivas posições em relação ao Cavado em Altos Níveis apresentando-se na (a) Vanguarda do Cavado e Retaguarda da Crista, (b) Vanguarda do Cavado, (c) Retaguarda do Cavado e Vanguarda da Crista, (d) Ret aguarda do Cavado, (e) Eixo do Cavado. FONTE: Autor.	49
Figura 19 - Número de eventos com trovoadas referentes ao posicionamento de seus sistemas sinóticos com circulação fechada. Fonte: Autor.....	50
Figura 20 - Posicionamento das trovoadas em relação aos seguintes sistemas sinóticos: (a) VCAN e (b) Cavado em Altos Níveis. Fonte: Autor.....	50
Figura 21 - Imagem de Satélite no canal IR do dia 08 de Abril de 1998 (a) às 17:45 Z e (b) imagem do satélite TRMM com localização exata da trovoadas às 17:42 Z. Fonte: NCDC/NOAA e TRMM, 2014.	52
Figura 22 - Linhas de corrente às 18 Z para o dia 08 de Abril de 1998 em (a) 1000, (b) 500 e (c) 300 hPa. Fonte: Autor.....	53
Figura 23 - Perfil Vertical Simulado para Maceió, às 18 Z do dia 08 de Abril de 1998. Fonte: Autor.	54
Figura 24 - Imagens de Satélite no canal (a) IR às 14:45Z, (b) WV e (c) IR Realçado às 16Z para o dia 19 de Janeiro de 2010. Fonte: NCDC/NOAA e CPTEC/INPE, 2014. .	55
Figura 25 - Linhas de Corrente em (a) 1000 hPa às 12Z, (b) 1000 hPa às 18Z, (c) 500 hPa às 12Z, (d) 500 hPa às 18Z, (e) 300 hPa às 12Z e, (f) 300 hPa às 18Z para o dia 19 de Janeiro de 2010. Fonte: Autor.	56
Figura 26 - Perfil Vertical Simulado para Maceió nos horários de 12Z e 18Z do dia 19 de Janeiro de 2010. Fonte: Autor.	58
Figura 27 - Imagens de Satélite no canal IR (a) às 21Z do dia 14 de Março de 2008, (b) 00Z do dia 15 de Março de 2008 e (c) TRMM indicando a localização exata da trovoadas às 23:30Z para o dia 14 de Março de 2008. Fonte: NCDC/NOAA e TRMM, 2014.....	59

Figura 28 - Linhas de Corrente em (a) 1000 hPa, (b) 500 hPa e, (c) 300 hPa para o dia 15 de Março de 2008 às 00Z. Fonte: Autor.....	60
Figura 29 - Perfil Vertical Simulado para Maceió no horário das 00Z do dia 15 de Março de 2008. Fonte: Autor.....	61
Figura 30 - Imagem de Satélite no canal IR realçada às 23Z para o dia 20 de Outubro de 2010. Fonte: CPTEC/INPE, 2014.	62
Figura 31 - Linhas de Corrente em (a) 1000 hPa, (b) 500 hPa e, (c) 300 hPa às 00Z para o dia 21 de Outubro de 2010. Fonte: Autor.	63
Figura 32 - Perfil Vertical Simulado para Maceió no horário das 00Z do dia 21 de Outubro de 2010. Fonte: Autor.....	64
Figura 33 - Imagens do Satélite (a) TRMM e (b) imagem do satélite no canal IR Realçado para o dia 21 de Abril de 2006, às 14:45Z. Fonte: TRMM e NCDC/NOAA, 2014.	65
Figura 34 - Linhas de Corrente em (a) 1000 hPa, (b) 500 hPa e, (c) 300 hPa para o dia 21 de Abril de 2006, às 12Z. Fonte: Autor.....	66
Figura 35 - Perfil Vertical Simulado para Maceió no horário das 12Z do dia 21 de Abril de 2006. Fonte: Autor.....	67
Figura 36 - Imagem de Satélite no canal IR às 00Z do dia 19 de Novembro de 2006. Fonte: NCDC/NOAA, 2014.....	68
Figura 37 - Linhas de Corrente em (a) 1000 hPa, (b) 700 hPa, (c) 600 hPa, (d) 500 hPa, (e) 400 hPa e (f) 300 hPa para o dia 19 de Novembro de 2006 à 00Z. Fonte: Autor... ..	69
Figura 38 - Perfil Vertical Simulado para Maceió no horário das 00Z do dia 19 de Novembro de 2006. Fonte: Autor.	70
Figura 39 - Fluxograma climatológico dos eventos com trovoadas. Fonte: Autor.	72
Figura 40 - Fluxograma sinótico dos eventos com trovoadas. Siglas entre parênteses: C (Ciclônico); EQ (Entrada Quente); NW (Noroeste); N (Norte); NE (Nordeste); RT (Retaguarda). Fonte: Autor.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequência de trovoadas pelos dados do satélite TRMM, que são os valores mostrados sem parênteses, e pelos dados do Aeroporto Zumbi dos Palmares, valores entre parênteses, em um período de 10 anos (1998-2007). Fonte: Brito, 2008c.	33
Tabela 2 - Índice LI. (Fonte: National Weather Service Weather Forecast Officem 2014). ...	41
Tabela 3 - Índice CAPE. (Fonte: DUARTE et al., 2002).	43
Tabela 4 - Frequência e soma de trovoadas em um período de 15 anos (1998 à 2012), utilizando dados do Aeroporto Zumbi dos Palmares e dados do Satélite TRMM.	45
Tabela 5 - Média e soma anual da frequência de trovoadas registrado pelo satélite TRMM com os registrados pelo DECEA nos últimos 15 anos.	46
Tabela 6 - Eventos com trovoadas e horários de ocorrência do mesmo, escolhidos para análise detalhada.	51
Tabela 7 - Valores médios dos índices de instabilidade CAPE+ e LI, para cada sistema sinótico estudado.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL –	Alagoas
AN –	Altos Níveis
AZP –	Aeroporto Zumbi dos Palmares
CAPE –	Convective Available Potential Energy
CJ –	Corrente de Jato
CJNEB –	Corrente de Jato no Nordeste Brasileiro
CPTEC –	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CT –	Centro
DECEA –	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
E –	Este
EQ –	Entrada Quente
EX –	Eixo
GOES –	Geostationary Operational Environmental Satellites
GrADS –	Grid Analysis and Display System
INPE –	Instituto de Pesquisas Espaciais
LI –	Lifted Index
LIS –	Lightning Imaging Sensor
N –	Norte
NCAR –	National Center for Atmospheric Research
NCDC –	National Climatic Data Center
NCE –	Nível de Convecção Espontânea
NCEP –	National Centers for Environmental Prediction
NE –	Nordeste
NEB –	Nordeste Brasileiro
NEq –	Nível de Equilíbrio
NOAA –	National Oceanic and Atmospheric Administration
NW –	Noroeste
O –	Oeste
RT –	Retaguarda
S –	Sul
SE –	Sudeste
SW –	Sudoeste
TRMM –	Tropical Rainfall Measuring Mission
VCAN –	Vórtice Ciclônico em Altos Níveis
VCMN –	Vórtice Ciclônico em Médios Níveis

VG – Vanguarda
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical
ZF – Zona Frontal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Trovoadas.....	18
2.1.1	Ciclo de vida de uma trovoada.....	19
2.1.1.1	Formação	19
2.1.1.2	Desenvolvimento	19
2.1.1.3	Dissipação	20
2.2	Climatologia das trovoadas.....	20
2.3	Sistemas sinóticos associados às trovoadas do NEB.....	21
2.3.1	Cavados béricos.....	22
2.3.2	Zona de Convergência Intertropical – ZCIT.....	23
2.3.3	Vórtice Ciclônico em Altos Níveis – VCAN.....	24
2.3.4	Vórtice Ciclônico em Médios Níveis – VCMN.....	26
2.3.5	Zona frontal.....	27
3	METODOLOGIA	30
3.1	Área em estudo.....	30
3.2	Levantamento dos eventos com trovoadas	31
3.2.1	Dados do Aeroporto Zumbi dos Palmares	31
3.3	Estudo comparativo dos dados do DECEA e do satélite TRMM sobre a frequência das trovoadas.....	32
3.4	Dados de Reanálises do National Centers for Environmental Prediction do National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR)	33
3.5	Utilização do Software GrADS.....	34
3.6	Análise sinótica através de diferentes campos sinóticos	35
3.6.1	Análise sinótica através do Campo de Linhas de Corrente	35
3.7	Sistemas sinóticos encontrados em estudos anteriores	38

3.8	Análise sinótica através de imagem de satélite	40
3.9	Análise dos Perfis Verticais e Índices de Instabilidade	40
3.9.1	Análise e descrição dos Índices de Instabilidade	41
3.9.1.1	Índice de Levantamento (Lifted Index – LI)	41
3.9.1.2	CAPE+	42
4	RESULTADOS	44
4.1	Estudo da frequência das trovoadas	44
4.2	Sistemas sinóticos nos eventos com trovoadas	46
4.3	Posicionamento das trovoadas nos sistemas sinóticos	48
4.4	Exemplos de casos com trovoadas para cada sistema sinótico	51
4.4.1	Cavado em Altos Níveis	51
4.4.2	Vórtice ciclônico em altos níveis	54
4.4.3	Zona de Convergência Intertropical	58
4.4.4	Zona frontal.....	61
4.4.4.1	Zona frontal com circulação ciclônica nos alísios	61
4.4.4.2	Zona frontal e ZCIT	64
4.4.5	Vórtice ciclônico em médios níveis	67
4.5	Índices de instabilidade nos eventos com trovoadas	70
4.6	Fluxograma do sistema de trovoadas.....	71
5	CONCLUSÕES.....	74
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE A.....	82
	ANEXO A	87

1 INTRODUÇÃO

A expressão “trovoada” é utilizada como um termo técnico, onde apresenta a presença de nuvens Cumulonimbus descarregando fenômenos de grande intensidade, tais como precipitação intensa, descargas elétricas, rajadas, formação de gelo em altos níveis, granizo e turbulência.

As descargas elétricas, associadas à trovoada, são manifestações extremas da instabilidade atmosférica e um dos fenômenos meteorológicos mais devastadores. Condicionam o funcionamento de numerosas atividades socioeconômicas e podem até causar a perda de vidas humanas. As trovoadas geralmente podem se formar e se desenvolver em qualquer localização geográfica particular, talvez com mais frequência em áreas localizadas em latitudes médias, quando o ar quente e úmido se choca com o ar mais frio.

Existem quatro tipos de tempestades: oriundas de uma única célula; em conjunto com outras células; através de linhas de instabilidade e; por super células. Trovoadas de super células são as mais fortes e as mais associadas à fenômenos meteorológicos severos. Trovoadas desprovidas de precipitações podem causar incêndios florestais através do calor gerado a partir do relâmpago nuvem-solo que os acompanha. Em geral, as tempestades exigem três condições para a sua formação: 1) Umidade; 2) Massa de ar instável; 3) Força de elevação (liberação de calor). (WIKIPEDIA, 2014)

Todas as tempestades, independente do tipo, passam por três fases: 1) Fase inicial; 2) Fases de desenvolvimento e; 3) fase de dissipação. Na fase inicial observam-se as massas de ar sendo elevadas para o ar superior. Nesta fase existem nuvens do tipo Cumulus e a partir daí começa a haver convergência de ar através do processo de convecção, onde se cria uma área de baixa pressão, dando início ao temporal. Na fase de desenvolvimento, o ar aquecido continua a aumentar até atingir uma área de ar mais quente elevando-se ainda mais. Quando atinge certo limite, o ar é forçado a se espalhar para fora, dando à nuvem uma característica forma de “bigorna”. Desde então, forma-se Cumulonimbus e a partir daí, precipitações intensas começam a cair, e outros fenômenos adversos também passam a atuar. Na fase de Dissipação, o temporal é denominado por correntes descendentes. Nuvens Cirrus começam a aparecer e então toda trovoada dissipa-se. (WIKIPEDIA, 2014)

Quanto à ocorrência das trovoadas para o Nordeste Brasileiro, há certa carência de estudos voltados a este tema, em especial para o estado de Alagoas. As trovoadas atuam de diversas maneiras em diferentes locais, por isto, deve-se fazer uma abordagem mais ampla e detalhada para a entender o comportamento da atmosfera na região do NEB.

Alguns estudos anteriores voltados às precipitações intensas e trovoadas no NEB foram elaborados, onde houve estudos sobre a frequência e análise de casos com trovoadas, para o estado de Alagoas. Todavia, faz-se necessário uma contribuição detalhada destes estudos. Portanto, estudar a frequência das trovoadas, analisando-as desde estudos anteriores até o presente e verificar o comportamento das mesmas, bem como todos os eventos encontrados dentro do Estado são os objetivos principais neste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo de revisão bibliográfica expõe alguns conceitos e teorias relevantes ao tema do estudo. Ao decorrer do capítulo serão desenvolvidos de acordo com a literatura da área, temas como: Trovoadas, Ciclo de Vida de uma Trovoada, Climatologia das Trovoadas e Sistemas Sinóticos Associados às Trovoadas do NEB.

2.1 Trovoadas

Trovoada constitui uma situação meteorológica a qual é caracterizada pela presença de descargas elétricas juntamente com efeitos de som acústicos na atmosfera, conhecidos por trovão.

Para que a trovoada possa ocorrer, é necessário que exista elevação de ar úmido em uma atmosfera instável. Uma atmosfera instável acontece quando o ar quente ascende de tal forma que fique mais quente que o ar ambiente. Vale salientar que a elevação do ar quente é um mecanismo que tenta restabelecer a estabilidade. Do mesmo modo, o ar mais frio tende a descer enquanto mantiver mais frio que o ar ambiente. Se esta elevação do ar se torna muito intensa, o ar esfria (adiabaticamente) até temperaturas abaixo do ponto do orvalho e condensa, liberando calor latente que promove o aquecimento do ar e da superfície a elevação do ar, intensificando assim a trovoada.

As trovoadas podem-se formar dentro das massas de ar a partir da elevação do ar por convecção – muito comum no Verão, quando o aquecimento da superfície atinge seu máximo e nas madrugadas de inverno, quando as águas estão relativamente quentes –, por efeito orográfico – a barlavento das montanhas – ou, estar associadas às zonas frontais – sendo mais intensas em frentes frias.

Uma vez que o som e a luz se deslocam através da atmosfera em velocidades distintas, pode-se estimar a distância da trovoada através da diferença de tempo entre o relâmpago e o trovão. A velocidade do som no ar é de aproximadamente 343 m/s. A velocidade da luz é tão elevada (± 300.000 Km/s) que a transmissão da luz pode ser considerada instantânea. Portanto multiplicando a velocidade do som pelo número de segundos de diferença entre o raio e o trovão pode-se obter a distância da trovoada em metros.

2.1.1 Ciclo de vida de uma trovoada

Na vida de uma trovoada, formada a partir de convecção em uma massa de ar, estão presentes 3 fases principais:

2.1.1.1 Formação

Quando as correntes de ar elevam-se e induzem à formação de *Cumulonimbus*. Então, surgem as primeiras cargas de água, porém ainda não ocorrem os relâmpagos. No topo da nuvem ocorre o processo de crescimento dos cristais de gelo e a partir daí, começam a produzir grandes partículas de precipitação.

2.1.1.2 Desenvolvimento

Com o grande crescimento vertical da nuvem, os topos tornam-se achatados e com a forma característica de uma “bigorna”. Isto se dá quando o ar ascendente encontra uma inversão de temperatura estável (por exemplo, o ar mais quente da tropopausa). Os ventos predominantes começam a difundir *Cirrus* a partir do topo das nuvens. Nesta fase os relâmpagos começam a ocorrer em toda extensão das nuvens. No interior das nuvens a turbulência é intensa e irregular, mantendo o equilíbrio entre correntes de ar ascendentes e descendentes. Quando as partículas de precipitação começam a sobrecarregar, contrariando as correntes de ar ascendentes, começam a cair, arrastando o ar em volta consigo.

À medida que as partículas de precipitação caem nas regiões mais quentes da nuvem, há ar seco do ambiente o qual entra na nuvem e pode originar a evaporação dessas partículas. A evaporação, por sua vez, esfria o ar, tornando-o mais denso. Este ar frio cai através das nuvens com a precipitação que forma a corrente de ar descendente que, ao atingir a superfície, pode-se espalhar, formando uma frente de rajada que desloca e substitui o ar mais quente da superfície. Nesta fase a trovoada já produz ventos fortes, relâmpagos, precipitações intensas e até tornados (dependendo do caso).

2.1.1.3 Dissipação

Nesta fase as nuvens começam a enfraquecer e a se dispersar para os lados, em camadas. A partir daí as correntes de ar frias e descendentes tornam-se mais predominantes. O ar frio, por sua vez, substitui o ar mais quente da superfície, enfraquecendo os movimentos ascendentes dentro da trovoadas. Nesta fase, ocorrem as correntes descendentes e fraca precipitação. Sobram apenas nuvens da média e alta atmosfera como *Altostratus* e *Cirrostratus* que podem até contribuir para diminuição do aquecimento da superfície.

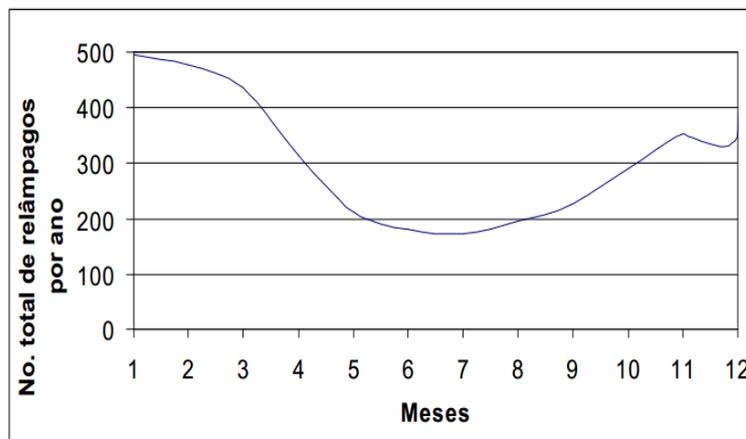
2.2 Climatologia das trovoadas

Segundo Felicio (2005), a ocorrência de trovoadas, em geral, é maior próximo ao Equador, reduzindo sua atuação conforme aumenta a latitude em todo o globo. Na faixa tropical do planeta, a troposfera é mais convectiva. Por necessitarem de grandes gradientes térmicos locais para fomentar a convecção, as trovoadas ocorrem com maior frequência, climatologicamente, sobre os continentes do que sobre os oceanos. Na América do Sul (AS), a região centro-sul (Sul-Sudeste do Brasil, Paraguai e Argentina) e a região ao sul da Amazônia apresentam maior densidade de relâmpagos que ao longo de sua linha equatorial (BRITO et al, 2008).

Existem cerca de 87 estações de superfície distribuídas ao longo de todo o território nacional, sendo que a maior parte delas, produzem informações desde 1950. Desta forma, analisando estes índices pode-se identificar o comportamento das trovoadas no Brasil.

Gin R; Guedes (2000) afirmaram que cerca de 39.000 trovoadas foram observadas no território brasileiro. Segundo os referidos autores, o período de maior atividade de relâmpagos sobre todo território brasileiro ocorre entre os meses de Janeiro e Março com mais de 400 relâmpagos por ano (Figura 1) em função de um forte aumento da atividade convectiva sobre o continente. Neste período a instabilidade atmosférica é intensificada devido à presença de bandas de nebulosidade convectivas que se organizam tanto nos interiores continentais quanto em algumas regiões costeiras principalmente na costa norte - nordeste brasileiro.

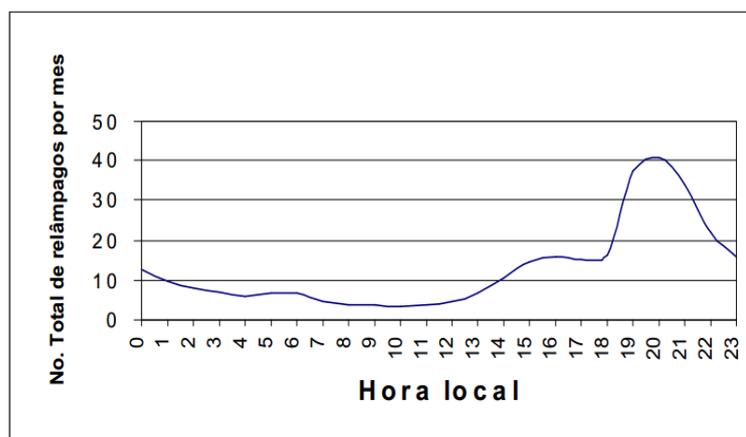
Figura 1 - Número total de trovoadas registradas por ano.



Fonte: Gin; Guedes, 2000.

O horário de maior ocorrência de relâmpagos é entre 19:00 e 21:00 horas local apresentando uma média de mais de 30 relâmpagos por hora para cada mês (Figura 2). Este horário é compatível com os horários de maior atividade convectiva que também foram observados por Guedes e Machado (1997).

Figura 2 - Número total de trovoadas registradas por mês.



Fonte: Gin; Guedes, 2000.

2.3 Sistemas sinóticos associados às trovoadas do NEB

O termo *Sistemas Sinóticos* é empregado para designar um aglomerado de nuvens que interagem entre si, em escala sinótica (1000 a 10.000 km), podendo estar associado a altos índices de precipitação (SILVA, 2009). Uma melhor visualização dos sistemas sinóticos se dá principalmente nas imagens de satélite meteorológico, onde se observa certo número de nuvens que estão ligadas às características particulares de tempo. Essas características resultam da ação de diferentes causas, tais como a circulação da atmosfera, o relevo ou até

mesmo a atuação e evolução das massas de ar. Os sistemas sinóticos formam-se em decorrência do comportamento da circulação atmosférica e atuação de massas de ar, sendo resultantes de movimentos ascendentes do ar úmido, que se expande com a diminuição da pressão com a altitude e o resfriamento. Então, parte do vapor d'água se condensa até formar nuvens (SILVA, 2009).

Segundo Molion; Bernardo (2000), os mecanismos dinâmicos que produzem chuvas no NEB podem ser classificados em mecanismos de grande escala, responsáveis por cerca de 30% a 80% da precipitação observada dependendo do local, e mecanismos de meso e micro escalas, que completam os totais observados. Dentre os mecanismos de grande escala, destacam-se os Sistemas Frontais, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN). Perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios, Complexos Convectivos e Brisas marítima e terrestre fazem parte da mesoescala, enquanto que circulações orográficas e pequenas células convectivas constituem-se fenômenos de micro escala.

Dentre os sistemas sinóticos citados anteriormente, destacam-se ainda Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (KOUSKY; GAN, 1981; RAMIREZ, 1996), Vórtices Ciclônicos em Médios Níveis (ANJOS, 1995; RODRIGUES et al., 2006), Alta da Bolívia, Zona de Convergência do Atlântico Sul (QUADRO, 1994; SATYAMURTY et al., 1998), Linhas de Instabilidade (COHEN, 1989), Cavados Béricos (RODRIGUES, et al., 2008) e Altas Subtropicais (RAMIREZ; FERREIRA, , 2008).

A seguir serão apresentadas as definições de alguns sistemas sinóticos referidos neste trabalho e suas atuações no NEB.

2.3.1 Cavados béricos

O Centro Regional de Meteorologia Tropical da OMM, em Miami, aponta que uma onda tropical é um cavado ou uma máxima curvatura ciclônica nos ventos alísios de leste (SIMPSON, 1968). Essa onda poderia alcançar um máximo de amplitude na baixa ou média troposfera, ela pode ser o reflexo de uma baixa fria em altos níveis (VCAN) ou a extensão de um cavado de latitudes médias voltado para o equador.

Segundo Rodrigues et al, 2008, os cavados béricos atuam no NEB durante qualquer época do ano, e sem nenhum período preferencial (Verão ou Inverno astronômico, por exemplo). No mesmo estudo, observou-se que os cavados ocorrem com maior frequência, às 12 Z, acompanhando quase 50% dos casos observados neste horário. Segundo o referido

autor, isso leva a crer que os mesmos têm alguma relação com o efeito térmico (instabilidade barotrópica).

A maior parte dos cavados atuantes sobre o Estado de Alagoas é observada apenas em baixos níveis (850 mb). Outras vezes, em 15% dos casos, os cavados são observados em médios e altos níveis, onde então se encontram os Vórtices. Geralmente, isso se dá devido à intensidade dos cavados, os quais dão origem aos vórtices, ou também, podem fazer parte dos mesmos.

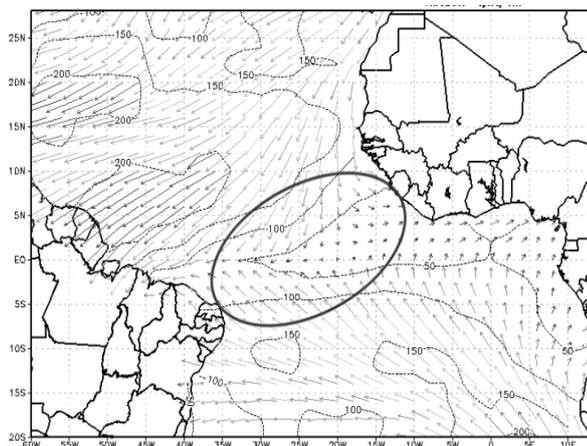
Rodrigues et al (2008) notaram que 87% dos cavados atuantes sobre o Estado se originam nas correntes de ar da Alta Subtropical do Atlântico Sul. O mesmo também aponta que em 63% dos fenômenos adversos, não foram registrados cavados atuantes em Alagoas. Porém, dar-se destaque aos diferentes tipos de fenômenos adversos os quais foram associados aos cavados. Neles, foram registrados tanto fenômenos de atmosfera instável, a exemplo das trovoadas, como aqueles típicos de atmosfera estável, a exemplo de nevoeiros.

2.3.2 Zona de Convergência Intertropical – ZCIT

A posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), no Oceano Atlântico Equatorial, é de extrema importância na determinação da qualidade do período chuvoso da região do Nordeste. É um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) pode ser definida como uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre (Figura 3), formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte com os ventos alísios do Hemisfério Sul, em baixos níveis. A confluência entre essas duas circulações faz com que o ar quente e úmido ascenda e provoque a formação das nuvens, baixas pressões, altas temperaturas da superfície do mar, intensa atividade convectiva e precipitação.

Figura 3 - Eixo de confluência (área circundada) dos ventos alísios de sudeste com os de nordeste (ZCIT).



Fonte: Apostila do Curso de Meteorologia da FUNCEME, 1998.

A ZCIT é o fator mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil. Normalmente ela migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente 14°N entre Agosto e Outubro para posições mais ao sul, aproximadamente 2 a 4°S entre Fevereiro a Abril. Esse deslocamento da ZCIT está relacionado aos padrões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre essa bacia do oceano Atlântico Tropical, conforme já demonstrado em vários estudos (UVO, 1989).

A ZCIT é mais significativa sobre os oceanos, e por isso, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é um dos fatores determinantes na sua posição e intensidade.

2.3.3 Vórtice Ciclônico em Altos Níveis – VCAN

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) possuem um papel importante no regime de precipitação de regiões dos trópicos e extratropicais, além de contribuírem nas trocas de energia entre ambas as regiões (RAMIREZ, 1997). Os vórtices são também importantes mecanismos de intercâmbio estratosfera-troposfera, sendo essenciais para explicar valores anômalos de ozônio troposférico em latitudes médias e subtropicais (HOLTON et al., 1995; KENTARCHOS, 2000).

No Brasil, as regiões mais afetadas pelos VCAN são: Sul, Sudeste e Nordeste (LOURENÇO, 1996). Nesta última região, os sistemas se desenvolvem nas latitudes tropicais do Oceano Atlântico Sul (KOUSKY; GAN, 1981; MISHRA et al., 2001) e de acordo com experiências sinóticas podem ocasionar secas em algumas regiões ou inundações em outras, dependendo da posição sobre a área afetada (SILVA, 2005) e das condições atmosféricas.

O período entre o final dos anos 50 e início dos anos 70 foi marcado pelo desenvolvimento de diversos estudos sobre as características dos VCAN nos subtropicais do Hemisfério Norte (HN). As primeiras discussões a respeito da origem e formação desses sistemas foram feitas por Palmén (1949), Palmer (1951), Simpson (1951).

Palmén (1949) observou VCAN que se originaram quando extensos cavados de ar superior associados a bolsões de ar frios se desprendiam de sua região fonte, permanecendo confinados no lado equatorial da corrente média dos ventos de oeste. Estes ciclones subtropicais estiveram sempre precedidos de ar frio nos altos níveis através da atuação de cavados com grande amplitude no escoamento polar de oeste, representando uma importante ligação para a troca de energia entre regiões tropicais e polares.

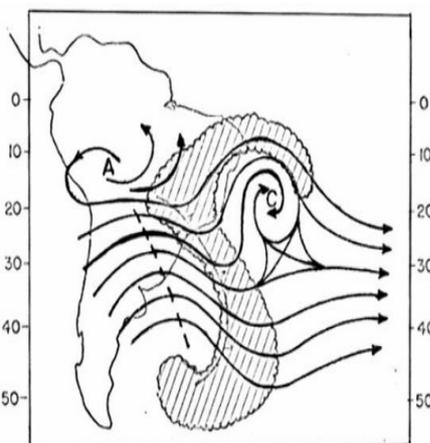
Características similares foram encontradas por Palmer (1951) na região tropical, quando analisava campos de linhas de corrente em duas situações de tempo (Junho de 1946 e março de 1949). Perturbações na forma de onda se estenderam ao sul de 10°N formando circulações ciclônicas fechadas na troposfera superior dos trópicos, que em algumas vezes, permaneceram estacionárias por até duas semanas. Estes sistemas foram denominados de “VCAN de origem tropical” (PALMER, 1951). Palmer sugeriu que a circulação destes sistemas, em algumas vezes, foi semelhante ao dos vórtices desprendidos de latitudes subtropicais, entretanto os vórtices tropicais se formaram por outro processo, já que não envolveram ar polar em nenhum dos seus estágios de vida (PALMÉN et al. (1958) citado por PÁLMEN; NEWTON, 1969).

Tomando como base os resultados obtidos por Palmén (1949) e Palmer (1951), Frank (1970) denominou os VCAN conforme a região de formação: os VCAN que se formam nos subtropicais são tipo *Palmén* e aqueles cuja origem se dá na região tropical são do tipo *Palmer*.

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) que penetram no NEB formam-se no oceano Atlântico, principalmente entre os meses de Novembro à Março, e sua trajetória normalmente é de leste para oeste, com maior frequência entre os meses de Janeiro e Fevereiro, conforme demonstrado por Gan; Kousky (1982). O tempo de vida desses sistemas varia em média, entre 7 a 10 dias (FEDOROVA, 2001).

Os VCAN são um conjunto de nuvens que, observado pelas imagens de satélite, têm a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário. Na sua periferia há formação de nuvens causadoras de chuva e no centro há movimentos de ar de cima para baixo (subsidiência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens (Figura 4).

Figura 4 - Diagrama esquemático da nebulosidade associada aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).



Os VCAN, que estão confinados na alta troposfera acima de 500 mb possuem pouca nebulosidade, enquanto os que atingem níveis mais baixos possuem nebulosidade muito intensa (GAN, 1983), que varia consideravelmente, dependendo da sua intensidade e extensão vertical.

2.3.4 Vórtice Ciclônico em Médios Níveis – VCMN

Vórtice Ciclônico em Médios Níveis ou simplesmente chamado como VCMN, consiste em um sistema com vórtices o qual apresenta circulação ciclônica fechada somente em médios níveis, ou seja, exclusivamente entre 700 – 400 mb. Carvalho (2004) & Rodrigues et al.(2006), analisaram a influência de zonas frontais observadas próximo ao NEB entre os dias 15 a 20 de maio de 2003. Tal sistema estava associado ao VCMN.

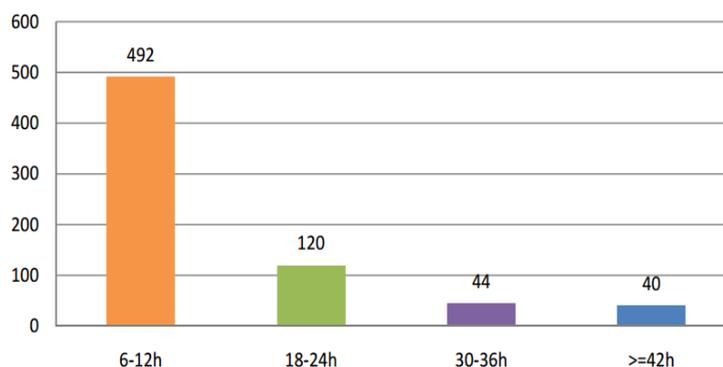
Silva et al. (2011) analisaram a situação sinótica diariamente durante 4 (quatro) anos associada a intensas precipitações em Alagoas. Já Santos (2012) se aprofundou mais no estudo do VCMN e estudou a frequência, duração, distribuição espacial e sazonal do sistema durante 3 anos (2008-2010). Analisando os três anos em conjunto, observou-se que o mês com menor frequência observada foi setembro, com 5,7% dos casos, e as maiores frequências foram registradas em Janeiro, Abril e Agosto com valores superiores a 10,0%. Quanto à sazonalidade, nota-se que as menores frequências de VCMN são observadas na primavera e no inverno (21,3% e 25,9% respectivamente). A estação com maior frequência é o verão 26,6%.

Além disso, concluiu que o VCMN esteve associado a sistemas de grande escala, tais como: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Corrente de Jato Subtropical (CJS).

O referido autor também analisou e contabilizou cada campo de linha de corrente e com isso foi possível definir os níveis preferenciais de surgimento do VCMN. Notou-se que 41% dos VCMN foram observados no nível de 700 mb, 27% no nível de 600 mb, 22% no nível de 500 mb, 7% no nível de 400 mb e apenas 3% deles no decorrer do seu desenvolvimento se estenderam até o nível de 800hPa.

Quanto à duração dos VCMN (Figura 5), Santos (2012) apontou um total de 492 casos com duração entre 6-12 horas, 120 casos com tempo de vida entre 18-24 horas, entre 30-36 horas foram registrados 44 casos e 40 casos com duração igual ou superior a 42 horas de duração.

Figura 5 - Duração dos VCMN, por faixa, para todo o período de análise.

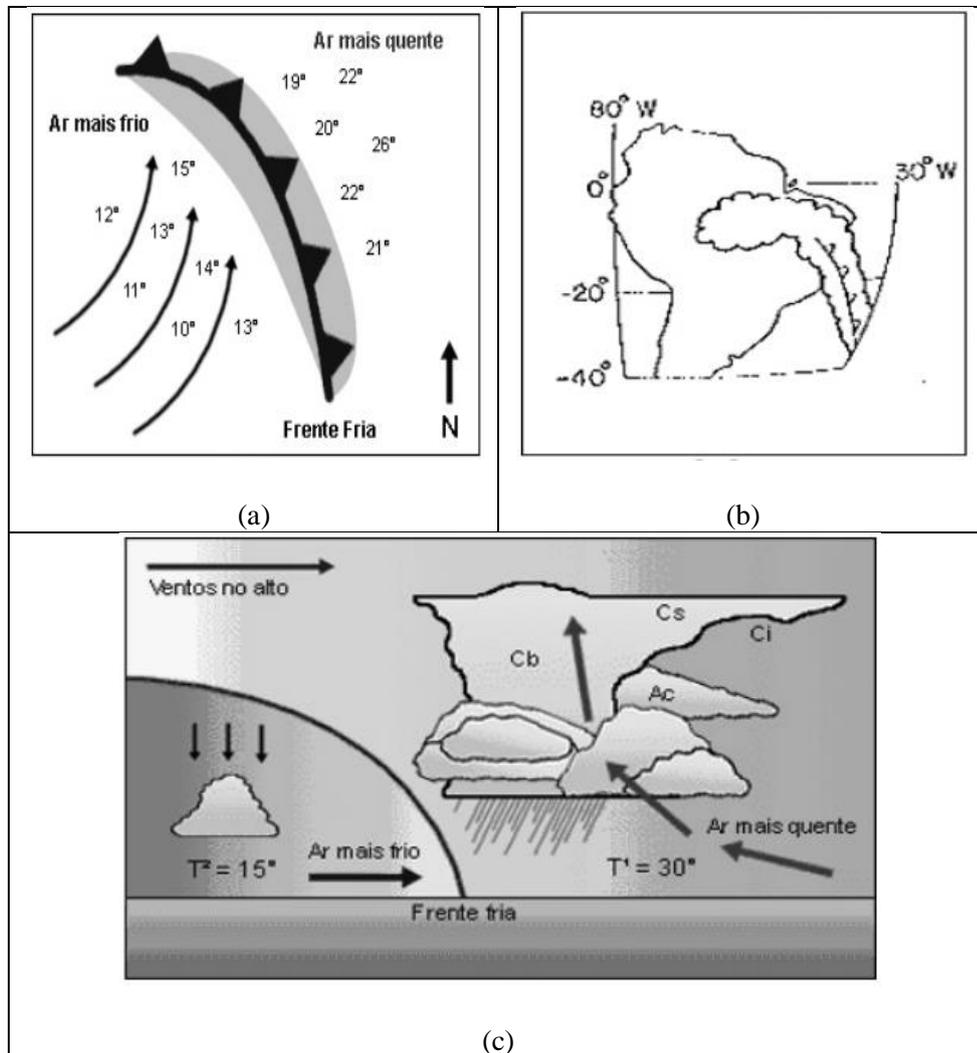


Fonte: SANTOS, 2012.

2.3.5 Zona frontal

Outro importante mecanismo causador de chuvas no NEB está ligado à penetração de frentes frias até às latitudes tropicais (5°S e 18°S). Uma definição básica sobre frentes é que se tratam de bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa). A massa de ar frio penetra por baixo da quente, como uma cunha, e faz com que o ar quente e úmido suba, forme as nuvens e, conseqüentemente, as chuvas (Figura 6).

Figura 6 - Tempo na superfície associada com uma frente fria (a) e (c); diagrama esquemático indicando a posição mais ao norte das frentes frias que influenciam as chuvas no NEB (b).



Para haver forte interação entre os sistemas frontais e a convecção, é necessário que os sistemas frontais apresentem ampla penetração continental, sendo a região entre 15° S e 25° S uma das regiões preferenciais para essas ocorrências. Durante a primavera-verão do HS, os sistemas frontais se posicionam preferencialmente sobre a parte central do continente sul-americano, com seu eixo no sentido NW-SE, de inclinação variável, criando uma zona de convergência de umidade que o qual é denominada Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (MOLION, 2000).

Segundo Molion; Bernardo (2000) a penetração até latitudes equatoriais ocorre mais frequentemente no inverno do Hemisfério Sul, quando o posicionamento médio da ZCIT ocorre em torno de 10° N a 14° N nessa época. Oliveira (1986) verificou que os sistemas

frontais frequentemente se associam e interagem com convecção tropical, apesar de que nem todos os sistemas frontais acontecem com a mesma intensidade.

3 METODOLOGIA

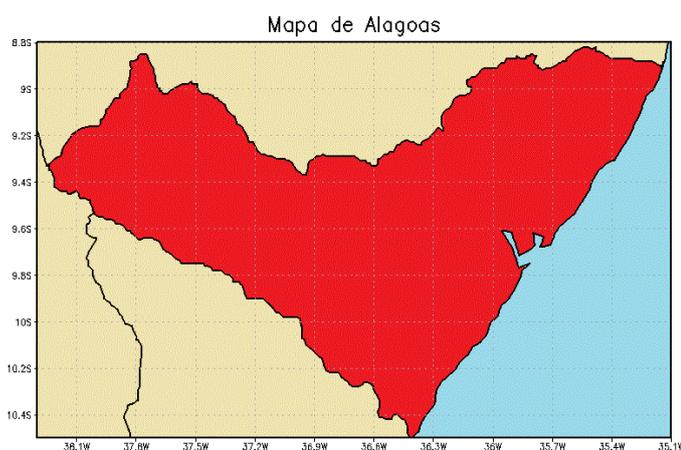
No capítulo referente à Metodologia, serão explicados alguns métodos os quais foram elaborados para o estudo das trovoadas. Portanto, o estudo da área, levantamento da frequência das trovoadas, descrição dos dados e softwares utilizados para confecção de campos sinóticos, bem como a utilização dos mesmos e estudos termodinâmicos se fazem presentes nesta seção.

3.1 Área em estudo

A área a ser abordada neste trabalho trata-se do Estado de Alagoas (Figura 7), o qual situa-se na região do Nordeste do Brasil, com coordenadas $8^{\circ} 12' S$ e $10^{\circ} 12' S$ de Latitude e, $35^{\circ} 09' W$ e $38^{\circ} 13' W$ de Longitude. Possui uma área total de 27.767,661 Km², equivalente a 0,32% do território Nacional e 1,8% da região do NEB. O Estado faz fronteira com os Estados de Pernambuco (Norte e Noroeste), Sergipe (Sul), Bahia (Sudoeste), além do Oceano Atlântico (Leste). O Estado possui 102 municípios e é dividido em três mesorregiões: Agreste Alagoano, Leste Alagoano e Sertão Alagoano (Anuário Estatístico de Alagoas, 2011).

O Clima no Estado varia conforme suas mesorregiões, onde a maior predominância é de clima Tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa no outono/inverno. Em outras localidades também predomina o clima quente, semi-árido, tipo estepe com estação chuvosa no outono/inverno.

Figura 7 - Mapa do Estado de Alagoas, região a ser estudada neste trabalho.



Fonte: Autor, 2014.

3.2 Levantamento dos eventos com trovoadas

3.2.1 Dados do Aeroporto Zumbi dos Palmares

O levantamento do número de casos com trovoadas e suas respectivas datas com ocorrência das mesmas, foi realizado através do banco de dados dos fenômenos adversos no Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares, localizado na cidade de Maceió, Alagoas. Esses dados foram obtidos do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

DECEA possui uma série de informações meteorológicas que é voltada à aviação civil e militar. Tais produtos são: Cartas Auxiliares; Cartas de Vento; Cartas SIGWX, Imagens de Satélite; Meteograma; Plotagem de METAR; Radares Meteorológicos, dentre outros. Os dados de trovoadas foram registrados por Plotagem de METAR, sendo analisados através de códigos SYNOP e METAR. Tais dados possuem alcance máximo de 20Km de raio do Aeroporto, que está localizado em 09°31'S de latitude e 34°55'W de longitude.

3.2.2. Dados do satélite TRMM.

O sistema TRMM — Tropical Rainfall Measuring Mission — é um satélite da NASA que fornece mais informações tanto para testar quanto para melhorar os modelos. TRMM é particularmente dedicado à identificação de chuvas em regiões tropicais e subtropicais da Terra. Estas regiões compõem cerca de dois terços do total de precipitação na Terra e são responsáveis por conduzir o nosso tempo e sistema climático. Durante mais de doze anos, o satélite TRMM voou entre as latitudes de aproximadamente 30° mais ou menos, de ambos os lados do equador, fazendo 16 órbitas por dia. Os instrumentos de bordo monitoram nuvens, precipitações, fluxo de calor, raios e outros aspectos do ciclo da água.

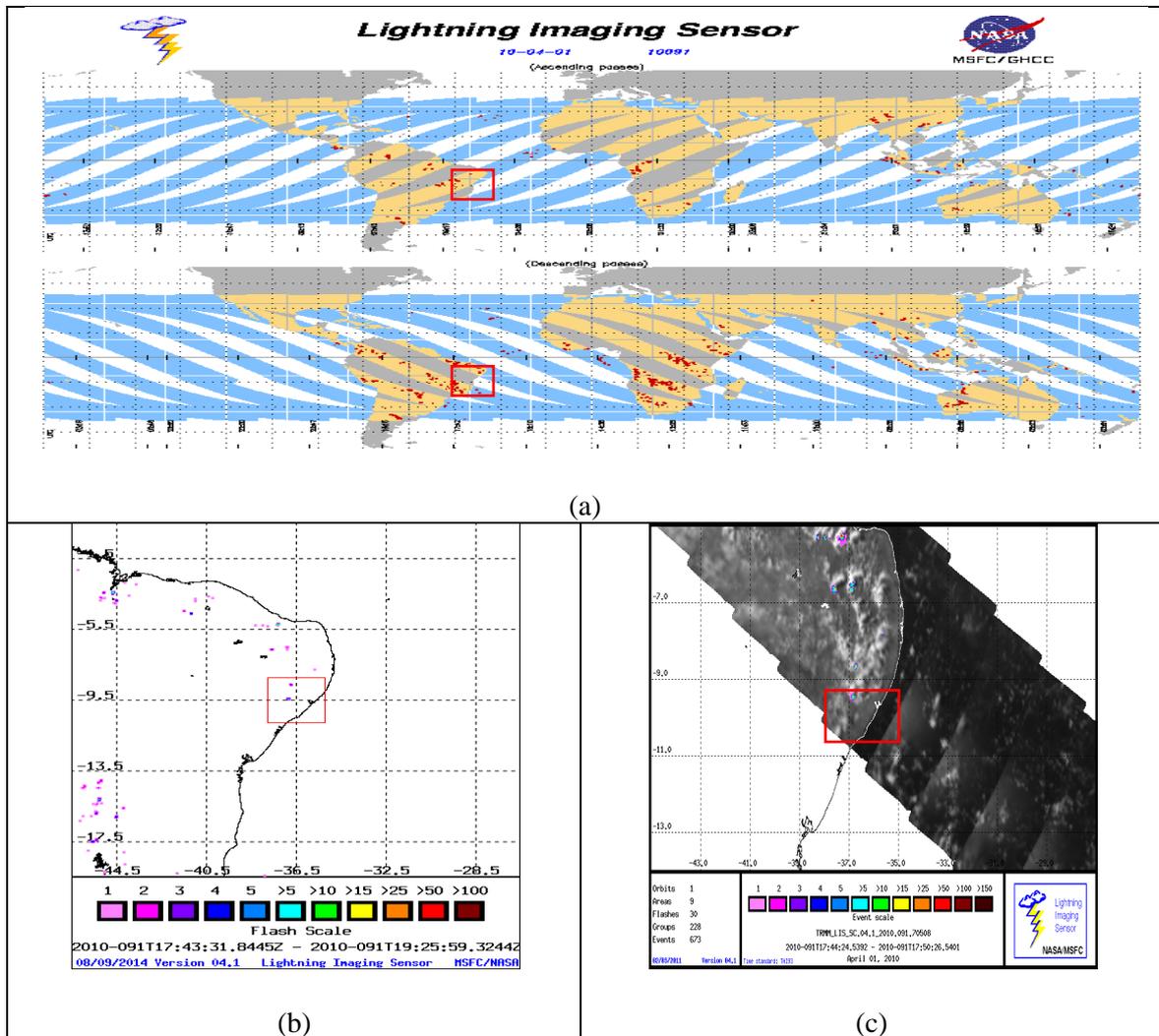
O satélite TRMM tem 5 sensores a bordo, os quais são: 1) Precipitation Radar (PR), 2) TRMM Microwave Imager (TMI), 3) Visible Infrared Scanner (VIRS), 4) Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES), 5) Lightning Imaging Sensor (LIS).

O sensor LIS a bordo do satélite TRMM é um instrumento usado para detectar relâmpagos nas regiões tropicais do globo. O satélite TRMM descreve uma órbita tropical, inclinação com relação ao equador a 350 km de altitude. Com isso, o LIS pode observar a atividade de relâmpagos entre as latitudes de 35° S a 35° N.

A Figura 8 mostra como o fenômeno adverso foi registrado para o estudo. As áreas das faixas ascendentes e descendentes em cor branca não são monitoradas pelo sensor LIS. Já as áreas em cor azul, são faixas que são monitoradas pelo mesmo sensor (figura 8a). Essa figura mostra um exemplo com dados obtidos pelo satélite TRMM para o dia 01 de Abril de 2010, onde foi apontada trovoadas sobre Maceió. As Figuras 8b e 8c mostram imagens ampliadas do

satélite TRMM para o mesmo dia. As áreas em cinza na Figura 8.c são monitoradas pelo sensor LIS e as áreas em branco não são.

Figura 8 - Regiões com informação (em azul) e sem informação (em branco), produzida pelo sensor LIS para o dia 01 de abril de 2010 (a) e imagem ampliada para o mesmo dia (b) e (c).



Fonte: NASA, 2014.

3.3 Estudo comparativo dos dados do DECEA e do satélite TRMM sobre a frequência das trovoadas.

O levantamento do número de casos com trovoadas foi elaborado através dos dados do Aeroporto Zumbi dos Palmares e pelas imagens do satélite TRMM, definidos nos sub-tópicos acima. Tal frequência dos casos teve início através dos resultados apontados por Brito (2008c), os quais são mostrados na Tabela 2. A frequência do fenômeno adverso foi estudada entre os anos de 1998 à 2007, onde os valores apresentados sem parênteses foram registrados pelos dados do satélite TRMM, e os valores entre parênteses foram registrados pelo Aeroporto Zumbi dos Palmares.

Tabela 1 - Frequência de trovoadas pelos dados do satélite TRMM, que são os valores mostrados sem parênteses, e pelos dados do Aeroporto Zumbi dos Palmares, valores entre parênteses, em um período de 10 anos (1998-2007).

Ano/Mês	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
JAN	3(0)	1(0)	5(1)	0(0)	4(0)	4(1)	4(1)	4(0)	0(0)	1(0)
FEV	0(0)	1(0)	3(0)	0(0)	4(1)	5(0)	1(1)	2(0)	1(1)	8(1)
MAR	2(0)	4(0)	0(0)	2(2)	2(1)	2(2)	2(0)	5(1)	5(1)	3(0)
ABR	1(0)	0(0)	0(2)	0(0)	2(0)	2(0)	0(0)	1(0)	5(0)	3(2)
MAI	0(0)	2(0)	2(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	1(0)	2(0)	1(0)
JUN	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	0(0)	0(0)
JUL	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
AGO	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	2(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
SET	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
OUT	0(0)	0(0)	0(0)	2(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
NOV	0(0)	1(0)	1(0)	0(0)	2(0)	0(0)	1(0)	0(0)	0(0)	0(0)
DEZ	0(0)	4(1)	0(0)	7(0)	2(0)	1(0)	1(0)	3(2)	2(0)	1(0)

Fonte: Brito, 2008c.

De acordo com as análises abordadas por Brito (2008 a, b e c), foi observado que em todos os anos as trovoadas permaneceram mais frequentes entre os meses de Dezembro a Abril e se mantendo ausentes, em todos os anos, no mês de Setembro. Estudos anteriores indicaram um número inferior de eventos sinóticos analisados pelo referido autor, sendo estudados apenas 04 (quatro) eventos em todo o período entre 1998 à 2007.

Dentre esses dados meteorológicos observacionais e em conjunto com os resultados apontados por Brito (2008 a, b e c) foram registrados e analisados novos casos referentes às trovoadas para o Estado de Alagoas, agora acrescentando os anos de 2008 à 2012. Além destes, novos eventos foram vistos dentre os anos estudados por Brito (2008 a, b e c). Estes novos casos foram acrescentados, onde serão discutidos no decorrer deste trabalho.

3.4 Dados de Reanálises do National Centers for Environmental Prediction do National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR)

O Projeto Reanálise NCEP/NCAR é um projeto conjunto entre o National Centers for Environmental Prediction (NCEP, ex-"NMC") e do National Center for Atmospheric Research (NCAR). O NCEP/NCAR utiliza um sistema de análise/previsão e realiza a assimilação de dados usando dados desde 1948 até o presente. O grande subconjunto destes dados está disponível a partir do Physical Sciences Division (PSD) em seu formato original diário. Os dados são exportados diariamente em horários disponíveis em 0000Z, 0006Z, 0012Z e 0018Z .

Os dados de Reanálise do National Centers for Environmental Prediction do National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) foram utilizados para construção de diversos campos sinóticos e termodinâmicos como linhas de corrente e magnitude do vento, além de Omega nos três níveis principais da atmosfera, sendo eles: 1000 (baixos), 500 (médios) e 300 hPa (altos) para uma área que compreende (20°N a 50°S) de latitude e (80°W a 20°W) de longitude, todos a cada 6 horas. O Aeroporto Zumbi dos Palmares (AZP) está localizado dentro dessa área.

3.5 Utilização do Software GrADS

Grid Analysis and Display System (GrADS) é uma ferramenta de trabalho interativa que é usada para facilitar o acesso, manipulação e visualização de dados das ciências exatas. O GrADS suporta muitos formatos de arquivos de dados e foi implementado em todo o mundo em uma variedade de sistemas operacionais comumente utilizados onde é distribuído livremente na Internet.

GrADS usa um ambiente de dados 5-Dimensional: as quatro dimensões convencionais (longitude, latitude, nível vertical, e tempo), mais uma dimensão 5 (opcional) para grades que geralmente é implementado, mas concebidos para serem utilizados em conjuntos. Os conjuntos de dados são colocados dentro do espaço de 5-D pela utilização de um descritor de dados de arquivo. Diferentes conjuntos de dados podem ser graficamente sobrepostos, com a correta inscrição espacial e temporal. As operações são executadas de forma interativa, inserindo expressões como Fortran na linha de comando. Um rico conjunto de funções internas é fornecido, mas os usuários também podem adicionar suas próprias funções como rotinas externas escritas em qualquer linguagem de programação.

Os dados podem ser exibidos usando uma variedade de técnicas gráficas: gráficos de linhas e barras, gráficos de dispersão, contornos suavizados, contornos sombreados, vetores de vento, caixas de grade, caixas de grade sombreadas, etc. O GrADS possui uma interface programável (linguagem de script) que permite a análise e visualização de aplicações sofisticadas.

Através do software GRaDS foram plotados inúmeras imagens dos campos sinóticos e termodinâmicos, como Linhas de Corrente, Omega, Pressão, Perfis Verticais, a fim de se elaborar a análise de tais sistemas dentre os casos com trovoadas estudados neste trabalho. Os mesmos foram executados em níveis de pressão e horários diferentes, antes escolhidos através dos dados de entrada do NCEP/NCAR.

3.6 Análise sinótica através de diferentes campos sinóticos

Como parte principal deste trabalho, fez-se necessária a análise dos diferentes campos sinóticos para identificação de sistemas que compõem a atmosfera no momento da trovoadas. É importante frisar que nem todos os campos sinóticos foram mostrados neste trabalho, porém, para análise e identificação dos sistemas, foi imprescindível o estudo dos mesmos.

Os principais campos sinóticos analisados foram Linhas de Corrente (importante na identificação dos sistemas sinóticos) e Ômega (válidos no estudo sobre o comportamento vertical da atmosfera).

3.6.1 Análise sinótica através do Campo de Linhas de Corrente

Linha de Corrente é aquela na qual o vetor velocidade do vento torna-se tangente em cada ponto. As linhas de corrente caracterizam o deslocamento das diversas parcelas de ar em um mesmo período.

Para o vento geostrófico, as linhas de corrente coincidem com as isoípsas nos mapas de geopotencial. As Linhas de corrente levam em consideração não somente a direção do vento, como também a sua velocidade – para velocidade do vento mais forte, as linhas de corrente situam-se mais próximas umas das outras (FEDOROVA, 1999).

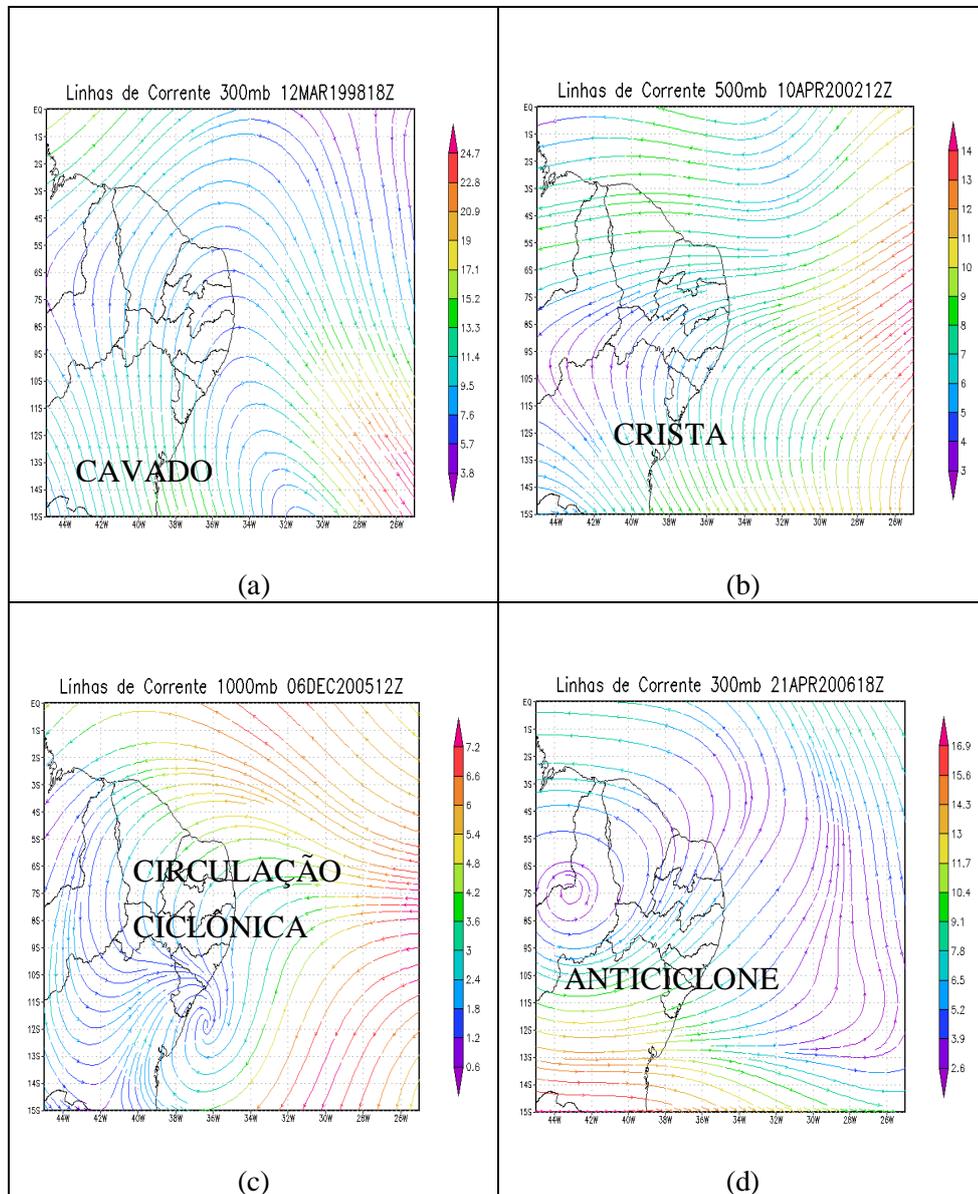
O campo de Linhas de Corrente foi escolhido como campo “padrão” para identificação e análise dos sistemas sinóticos. Os horários para verificação do sistema são àqueles adotados pelo NCEP (ver item 3.4). Os mapas foram plotados levando em consideração os três níveis principais da atmosfera: Baixos, Médios e Altos Níveis. Em baixos níveis, foram construídos mapas em 1000 hPa. Em médios níveis foram construídos mapas de 700 hPa à 400 hPa. E em altos níveis, foram considerados apenas 300 hPa.

Segundo Silva et al. (2011), a construção desses mapas, em cada nível, facilita a identificação dos sistemas sinóticos e de mesoescala associados aos casos de trovoadas em Alagoas, uma vez que através da circulação exposta neles, pode-se notar a atuação de cavados (cristas), ciclones (anticiclones) e a confluência (difluência) dos ventos em cada nível.

Sistemas como Cavados, Cristas, Circulações ciclônicas e Anticiclones foram de fácil identificação, pois puderam ser notados em quaisquer níveis atmosféricos (Figura 9). Entretanto, para sistemas como ZCIT, VCAN e VCMN, houve um limite de observação, pois

se tratam de sistemas sinóticos que ocorrem somente em uma determinada camada da atmosfera.

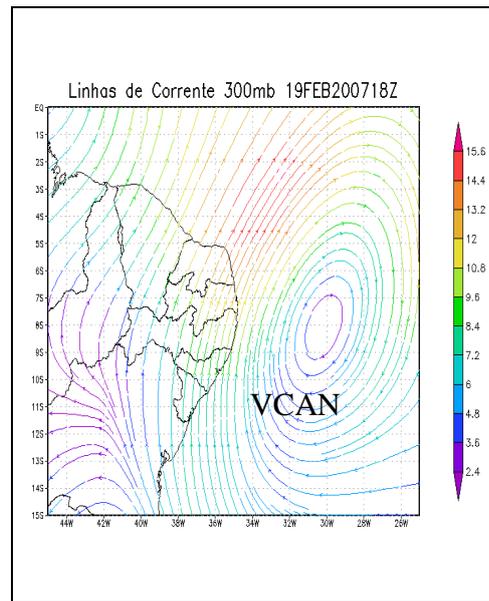
Figura 9 - Exemplos de sistemas sinóticos encontrados através do campo de Linhas de Corrente: (a) Cavado, (b) Crista, (c) Circulação Ciclônica e (d) Anticiclone.



Fonte: Autor, 2014.

Para análise do VCAN, foram considerados campos de linhas de corrente desde 500 hPa até 300 hPa. A princípio o VCAN é observado somente em altos níveis (até pouco mais de 200 hPa), mas quando há casos mais intensos o mesmo pode se estender até 500 hPa. A Figura 10 demonstra um exemplo de VCAN intenso onde foi verificado desde médios níveis até altos níveis.

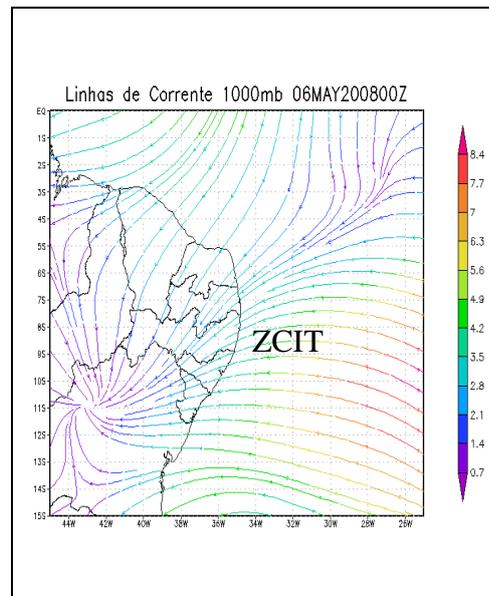
Figura 10 - Exemplo de Linhas de Corrente associado a um VCAN intenso observado.



Fonte: Autor, 2014.

A Zona de Convergência Intertropical também foi observada nas Linhas de Corrente e magnitude do vento. Como já se sabe a mesma só pode ser vista em níveis baixos da atmosfera, logo, as análises associadas a este sistema foram elaboradas somente em 1000 hPa, como mostra o exemplo da Figura 11.

Figura 11 - Exemplo de Linhas de Corrente associado à ZCIT encontrada no nível de 1000 hPa.

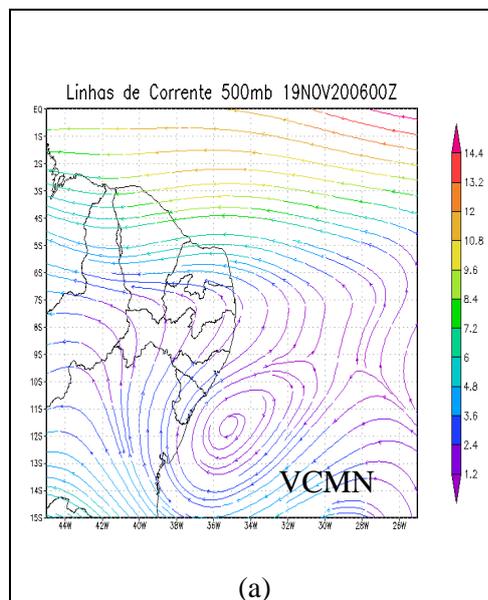


Fonte: Autor, 2014.

Por fim, também foi analisado um sistema considerado pouco estudado na literatura, mas que influência nas precipitações e trovoadas do Estado. Trata-se do VCMN identificado nas imagens de Linhas de Corrente. O que diferencia este sistema do VCAN é o fato do

mesmo estar presente somente em médios níveis, ou seja, desde 700 hPa até cerca de 400 hPa. É importante saber que o VCMN não é observado, em hipótese alguma, em baixos e altos níveis. A Figura 12 mostra bem um exemplo de VCMN onde o mesmo obteve aparição somente em 500 hPa.

Figura 12 - Exemplo de Linhas de Corrente associado ao VCMN observado em 500 hPa.



Fonte: Autor, 2014.

3.7 Sistemas sinóticos encontrados em estudos anteriores

Brito (2008 a, b e c) estudou a ocorrência dos sistemas sinóticos dentre os casos com trovoadas, em um período de 10 anos (1998-2007). Analisando os sistemas sinóticos em baixos níveis predominantes, verificou a existência dos Alísios com curvatura ciclônica em mais de 50% dos dias estudados. Em médios níveis não foi bem definido o sistema sinótico predominante, sendo observada uma crista em 34%, um cavado em 32%, um anticiclone em 19% e um ciclone em 15% dos dias em estudo. Em altos níveis (200 mb) constatou-se que o VCAN e CJNEB predominaram (67 e 64% dos casos, respectivamente), sobre a região NEB, nos dias com trovoadas. Nesse nível, além do VCAN e da CJNEB também foram encontrados anticiclone e crista (21% dos casos).

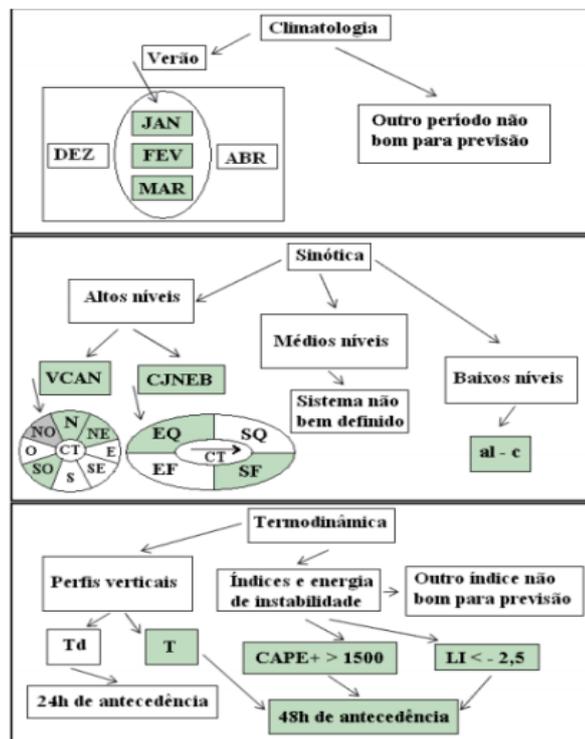
Logo abaixo, foi elaborado por Brito (2011) um fluxograma sobre o método de previsão de trovoadas em função dos resultados das análises realizadas neste trabalho (Figura 13). Com os resultados obtidos, o meteorologista deve realizar três etapas para elaborar a previsão, seguindo os determinados passos: 1) avaliação climatológica; 2) previsão sinótica e por fim 3) previsão termodinâmica.

Primeiramente, deve-se ser obtida uma climatologia das trovoadas para um longo período de dados e, com isso, avaliar o seu comportamento na região. Para Alagoas, como já foram assinaladas anteriormente nas análises anteriores às trovoadas foram mais frequentes no Verão e no mês de Março. Ressalta-se que as trovoadas têm uma atividade maior nos 5 meses do ano, isto é, de Dezembro a Abril.

No segundo passo, deve-se analisar os sistemas sinóticos produtores de descargas elétricas atuantes na região de estudo, observando nos níveis de 200 e 1000hPa, a existência dos seguintes sistemas: 1) nos altos níveis VCAN e 2) Alísios com curvatura ciclônica nos baixos níveis.

Por fim, conjuntamente com previsão climatológica e sinótica, é necessário analisar os perfis termodinâmicos da atmosfera.

Figura 13 - Fluxograma de previsão das trovoadas divididas em três partes: Climatologia, Sinótica e Termodinâmica. Siglas: al-c (alísios com circulação ciclônica), T (curva de temperatura), Td (curva de umidade), VCAN e CJNEB.



Fonte: BRITO, 2008.

Com base neste estudo realizado por Brito (2011), foram feitas novas análises referentes às observações climatológicas e sinóticas das trovoadas. Os estudos foram feitos contendo mais anos de dados, portanto, algumas mudanças foram observadas tanto nas

análises climatológicas como na sinótica, identificando também mais sistemas sinóticos presentes em novos eventos.

3.8 Análise sinótica através de imagem de satélite

Imagens do satélite GOES 8 (Geostationary Operational Environmental Satellites) nos canais principais foram analisados e interpretados em todos os eventos com trovoadas: Canal Infravermelho e Vapor D'água, nos horários próximos à ocorrência do fenômeno adverso.

GOES trata-se de um satélite geostacionário, ou seja, sua órbita lhe permite ficar sempre sobre o mesmo ponto do equador (neste caso, na longitude de 75°W). Em regime normal transmite uma imagem do globo terrestre a cada 3 horas e de um fragmento do continente americano a cada meia hora. O GOES é um dispositivo de 5 canais espectrais sendo um Visível (0,55-0,75 μm), três canais Infravermelhos (3,8-4,0 μm , 10,2-11,2 μm , 11,5-12,5 μm) e o canal de Vapor d'Água (6,5-7,0 μm). No canal Visível, a resolução é 1 km. Nos canais Infravermelhos, a resolução é de 4 km. No canal Vapor d'água, a resolução é de 8 km.

As imagens do satélite GOES foram obtidas a partir do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Os dados de satélites, em diferentes canais foram usados para identificar os sistemas sinóticos e a nebulosidade nos casos de trovoadas, como, por exemplo, para estudar o deslocamento e evolução da mesma nas proximidades do Estado de Alagoas.

Todavia, imagens do satélite GOES 12 também foram extraídas do National Climatic Data Center (NCDC/NOAA), devido à ausência das imagens do satélite GOES 8 através do CPTEC. Dados do satélite do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ajudaram a melhorar a observação à variabilidade do tempo nos dias com fenômeno adverso.

3.9 Análise dos Perfis Verticais e Índices de Instabilidade

A análise termodinâmica da atmosfera, associada à formação das trovoadas, foi realizada através de Perfis Verticais Simulados para a cidade de Maceió. Os perfis verticais simulados foram construídos em um ponto de grade que foi escolhido dentro do Estado de Alagoas em 9,6°S de latitude e 36°W de longitude, através dos dados do NCEP/NCAR, onde a partir daí, são plotados pelo software GRADS. Tais perfis foram gerados em 10 níveis

diferentes (1000, 950, 900, 850, 800, 700, 600, 500, 400 e 300 hPa). Vale salientar que essa simulação foi feita por falta de dados de radiossondagem no Estado de Alagoas. Tais perfis contribuíram principalmente na identificação da instabilidade e umidade da atmosfera, além de apontar valores numéricos dos índices de instabilidade, descritos nos sub-tópicos a seguir.

3.9.1 Análise e descrição dos Índices de Instabilidade

Para avaliar a capacidade potencial da atmosfera no desenvolvimento de tempestades, foram avaliados a partir de Perfis Verticais os seguintes Índices de Instabilidade, considerados por Cordeiro (2013), os mais confiáveis na análise e previsão das trovoadas.

3.9.1.1 Índice de Levantamento (Lifted Index – LI)

O índice de instabilidade por levantamento é definido por GALWAY, 1956 pela Equação 1:

$$LI = T500 - T500'$$

Para a qual:

T500 é a temperatura do ar ambiente em 500 hPa e;

T500' é a temperatura de uma parcela de ar em 500 hPa (ambas em graus Celsius), após ascender via curva adiabática seca e úmida. Após a saturação, a partir da superfície, com a temperatura para o horário em que o perfil é obtido.

Valores negativos de LI indicam condições instáveis, por exemplo, a parcela de ar ascendente é flutuante em níveis médios. O índice LI é uma informação importante para analisar o grau de instabilidade atmosférica, especialmente quando combinada com o CAPE (NASCIMENTO, 2005).

A Tabela 3 apresenta os valores críticos do Índice LI.

Tabela 2 - Índice LI.

Índice LI	Potencial de ocorrência de atividade convectiva
LI > 2	Sem atividade convectiva significativa
0 < LI < 2	Possibilidade de ocorrência de convecção rasa
-2 < LI < 0	Possibilidade de ocorrência de convecção profunda
-4 < LI < -2	Possibilidade de chuvas e trovoadas (porém, pouco severas)
LI < -4	Possibilidade de chuvas torrenciais com trovoadas severas

Fonte: National Weather Service Weather Forecast Officem, 2014.

3.9.1.2 CAPE+

O valor de CAPE, também conhecido como energia de fluatibilidade, corresponde à área entre a curva de temperatura do ambiente (dada pela sondagem) e a curva da adiabática saturada, do Nível de Convecção Espontânea (NCE) até o Nível de Equilíbrio (NE). O NCE é o nível em que a temperatura da parcela torna-se maior do que a do ambiente, o que induz movimentos ascendentes espontâneos da parcela. O NE é o nível, perto do topo da troposfera, em que a parcela tem a mesma temperatura do que a do ambiente e, portanto, não continua em seu movimento ascendente (representa o nível do topo das nuvens).

Quanto maior o CAPE, maior é a diferença entre a taxa de variação vertical de temperatura do ambiente e da parcela, o que implica em um movimento de ascensão da parcela devido à sua fluatibilidade. O valor do CAPE é utilizado na verificação das condições de instabilidade da atmosfera provocada por processos convectivos.

O valor do CAPE pode ser calculado a partir da Equação 2:

$$CAPE = \int_{z=NCE}^{z=NE} g \frac{\Delta\theta_e}{\theta_{es}} dz$$

Para a qual:

NE é nível de equilíbrio (térmico) [m];

NCE é nível de convecção espontânea [m];

g é aceleração da gravidade [m/s²];

Δθ_e é diferença entre a temperatura potencial equivalente da parcela em superfície e a temperatura potencial equivalente saturada do ambiente, em cada nível [°C], dado pela equação:

$$\Delta\theta_e = \theta_{ep} - \theta_{es}$$

θ_{ep} é a temperatura potencial equivalente da parcela em superfície [°C];

θ_{es} é a temperatura potencial equivalente saturada do ambiente, dada pela sondagem [°C].

A Tabela 4 apresenta os valores limites de CAPE, indicando o potencial para o desenvolvimento de tempestades.

Tabela 3 - Índice CAPE.

CAPE	Potencial de Convecção
<300	Baixa ou nenhuma
300-1000	Fraca
1000-2500	Moderada
2500-3000	Forte

Fonte: DUARTE et al., 2002.

Embora esses índices de instabilidade tenham sido originalmente concebidos para as latitudes médias do Hemisfério Norte, eles podem ser úteis para a previsão de sistemas convectivos no Brasil, em particular para a região sul do país. Para as regiões tropicais do país existe a necessidade de utilizá-los como base conceitual.

4 RESULTADOS

Os resultados apresentam algumas análises referentes ao objetivo principal deste trabalho. Nele, será mostrada a frequência das trovoadas dentre o período de 15 anos e seus sistemas sinóticos encontrados. Além disto, será discutido o posicionamento da trovoadas para cada sistema sinótico e então exibir estudos de casos referentes aos mesmos. Para finalizar, será apresentada uma análise termodinâmica utilizando os índices de instabilidade CAPE+ e LI.

4.1 Estudo da frequência das trovoadas

A análise da frequência dos dias com trovoadas foi feita utilizando os dados do Aeroporto Zumbi dos Palmares e dados do satélite TRM. Através desses dados foram estudados os casos com a presença do fenômeno adverso durante os 15 anos atualizados (1998 à 2012).

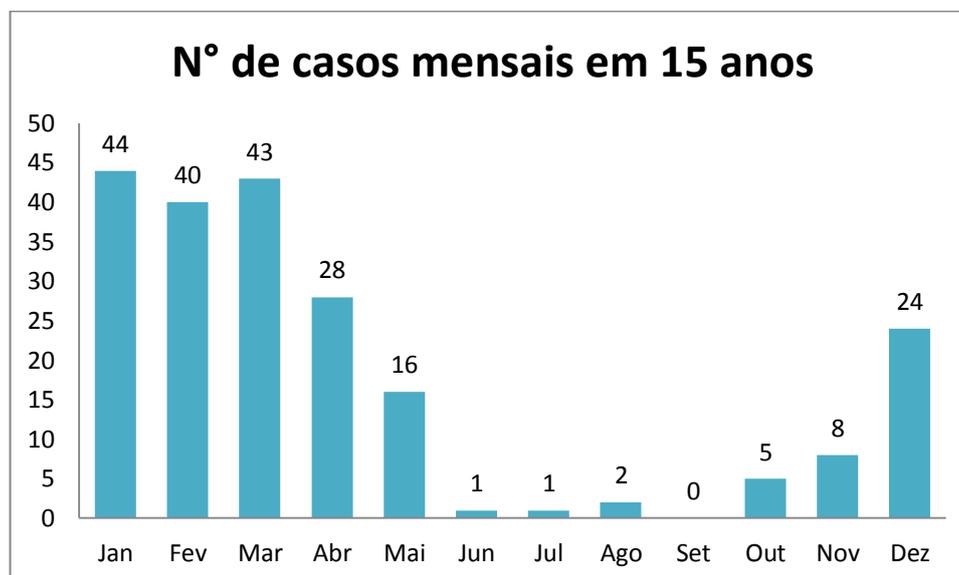
Ao todo, foram encontrados 212 eventos com ocorrência do fenômeno adverso, em um período de 15 anos. A Tabela 4 e a Figura 14 mostram que a trovoadas esteve com maior presença dentre os meses onde predominam as temperaturas mais altas em Maceió, ou seja, em Janeiro, Fevereiro e Março apresentando 44, 40 e 43 casos. Entretanto, meses em que predominam o inverno e a primavera (de Junho à Novembro), a frequência foi menor, especialmente em Setembro em que não se obteve registros de trovoadas.

Tabela 4 - Frequência e soma de trovoadas em um período de 15 anos (1998 à 2012), utilizando dados do Aeroporto Zumbi dos Palmares e dados do Satélite TRMM.

Ano/ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma/ Ano
1998	3		2	1									6
1999	1	1	4		2						1	4	13
2000	5	3			2						1		11
2001			2				1			2		7	12
2002	4	4	2	2							3	1	16
2003	4	5	2	2				2				1	16
2004	5	2	2		1						1	1	12
2005	4	2	5	1	1	1						3	17
2006		4	5	6	2						2		19
2007	1	8	3	6	1							1	20
2008	2	5	8	1	3							2	21
2009		1	1	2	3							2	9
2010	7	1	4	3						3		2	20
2011	5	3	3	4	1								16
2012	3	1											4
Soma/Mês	44	40	43	28	16	2	1	2	0	5	8	24	212 casos

Fonte: TRMM e DECEA, 2014.

Figura 14 - Número de eventos com trovoadas ocorrentes em todos os meses, dentre o período de 15 anos (1998-2012).



Fonte: Autor, 2014.

A Tabela 5 indica os valores da soma e da média anual dos dias com trovoadas registrados pelo satélite TRMM com os registrados pelo DECEA para os 15 anos estudados.

De acordo com os estudos anteriores, os dias com ocorrência de trovoadas sobre o Estado de Alagoas teve um aumento regular durante todo o período. Na Tabela 2 nota-se que o ano de 2008 apresentou o maior número de casos dentre os anos estudados, com uma soma de 21 casos e uma média de 1,7 casos por ano. Porém, não foi possível observar o mesmo para o ano de 2012, pois o mesmo obteve um decréscimo acentuado no número de eventos registrados, identificando apenas 04 (quatro) casos, valor este considerado um dos menores desde 1998 em que apresentou 06 (seis) casos. Portanto, a média para o ano de 2012 consequentemente decresceu ficando somente com 0,3.

Tabela 5 - Média e soma anual da frequência de trovoadas registrado pelo satélite TRMM com os registrados pelo DECEA nos últimos 15 anos.

Ano	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Soma	6	13	11	12	16	16	12	17	19	20	21	9	20	16	4
Média	0,5	1,1	0,9	1,0	1,3	1,3	1,0	1,4	1,6	1,7	1,8	0,8	1,7	1,3	0,3

Fonte: TRMM e DECEA, 2014.

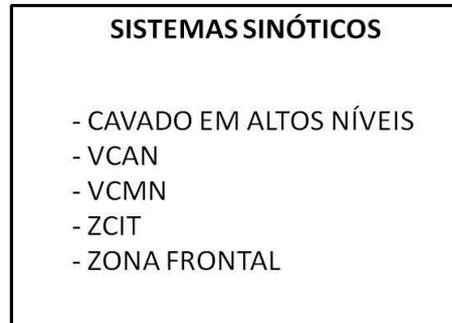
4.2 Sistemas sinóticos nos eventos com trovoadas

Foi feita análise dos sistemas sinóticos que atuaram de forma direta ou indireta no desenvolvimento do fenômeno adverso. Alguns sistemas típicos da atmosfera foram encontrados dentre os dias analisados e, além disso, também foi observado o posicionamento da trovoadas em relação ao sistema sinótico.

Para identificar o sistema atuante e seu posicionamento, foi feito um levantamento dos horários em que ocorreu a trovoadas. Importante frisar que nem todos os eventos apresentaram horários definidos, devido aos erros constantes durante o carregamento dos dados. Portanto, pode-se dizer que em um total de 212 casos, 161 possuem horário da trovoadas e 51 não possuem. Deste modo, todos os 161 eventos foram detalhadamente analisados na busca por sistemas sinóticos causadores de trovoadas em toda Alagoas.

A Figura 15 mostra os sistemas encontrados em todos os 161 dias com trovoadas. Os sistemas mais identificados foram Cavados atuando em Altos Níveis (Sem nenhuma presença de Vórtices ciclônicos); VCAN e ZCIT. Além destes, outros sistemas também foram vistos no momento da trovoadas que até então, são pouco estudados na causa do mesmo. São eles: Zona Frontal e VCMN. Mais adiante serão discutidos exemplos de casos com trovoadas referente ao seu respectivo sistema sinótico.

Figura 15 - Sistemas sinóticos encontrados em todos os eventos com trovoadas.

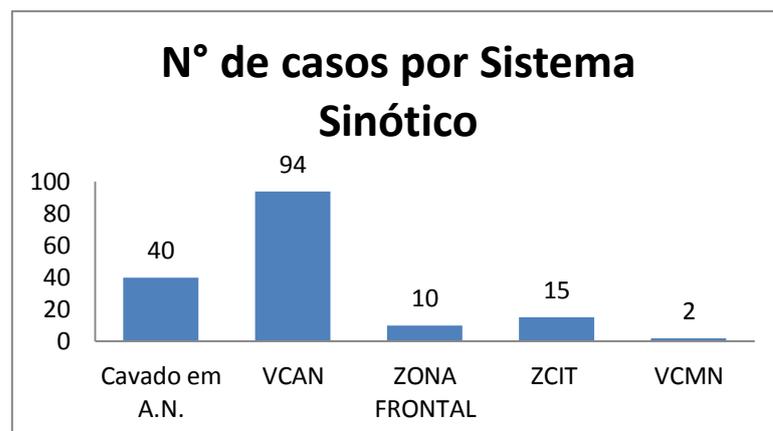


Fonte: Autor, 2014.

Posteriormente foi observado o número de eventos encontrados para cada sistema sinótico. Vale salientar que estes sistemas foram identificados somente no nível indicado, ou seja, não apontando presença do mesmo em outros níveis da atmosfera. A Figura 16 abaixo apresentou maior número de casos com trovoadas na presença de Cavado em Altos Níveis com 40 casos e VCAN com 94 casos; sistemas estes que ocorrem com frequência em casos com trovoadas.

Outros sistemas também foram visualizados durante a presença do fenômeno adverso, porém apresentando poucos casos. São eles, ZCIT com 15 casos; VCMN com apenas 02 casos; Zona Frontal apontando 10 casos.

Figura 16 - Número de eventos com trovoadas encontrados para cada sistema sinótico.



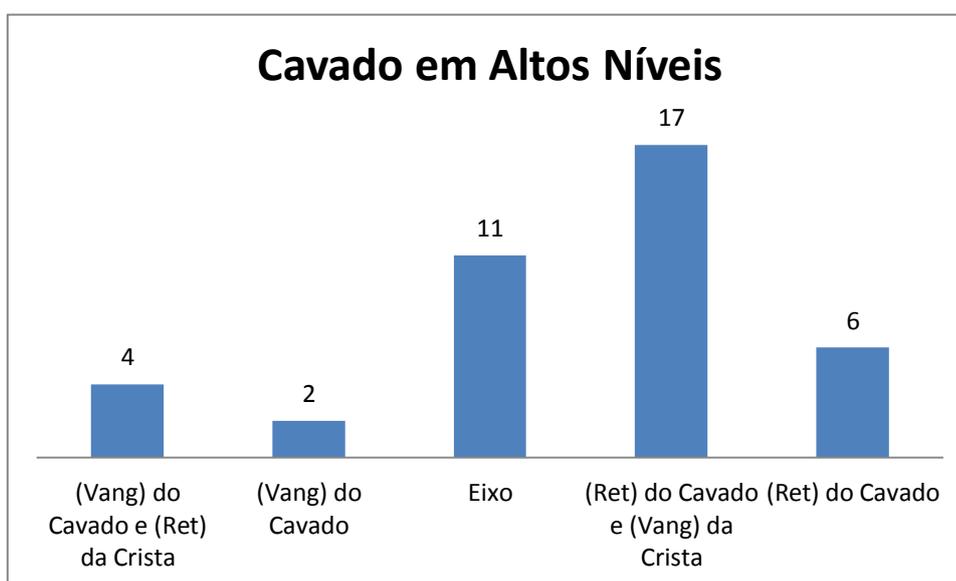
Fonte: Autor, 2014.

4.3 Posicionamento das trovoadas nos sistemas sinóticos

O posicionamento da trovoadas foi verificado em relação ao sistema sinótico atuante. Para isto, foram considerados dois momentos: (1) para sistema de circulação aberta especialmente para Cavado em Altos Níveis e; (2) para sistemas de circulação fechada como os Vórtices Ciclônicos.

A Figura 17 mostrou que, para Cavado em Altos Níveis, a trovoadas localizou-se com maior predominância entre a Retaguarda do Cavado e Vanguarda da Crista, apresentando 17 casos ao total. Para eventos onde apenas mostra a trovoadas à Retaguarda do Cavado, considerado sistema intenso, obteve-se 6 casos. Por outro lado, a menor predominância de trovoadas ocorreu na Vanguarda do referido sistema, apontando apenas 02 casos. Trovoadas localizadas entre a Vanguarda do Cavado e Retaguarda da Crista foram encontradas em apenas 04 casos. Por fim, 11 eventos indicaram trovoadas posicionadas em seu Eixo.

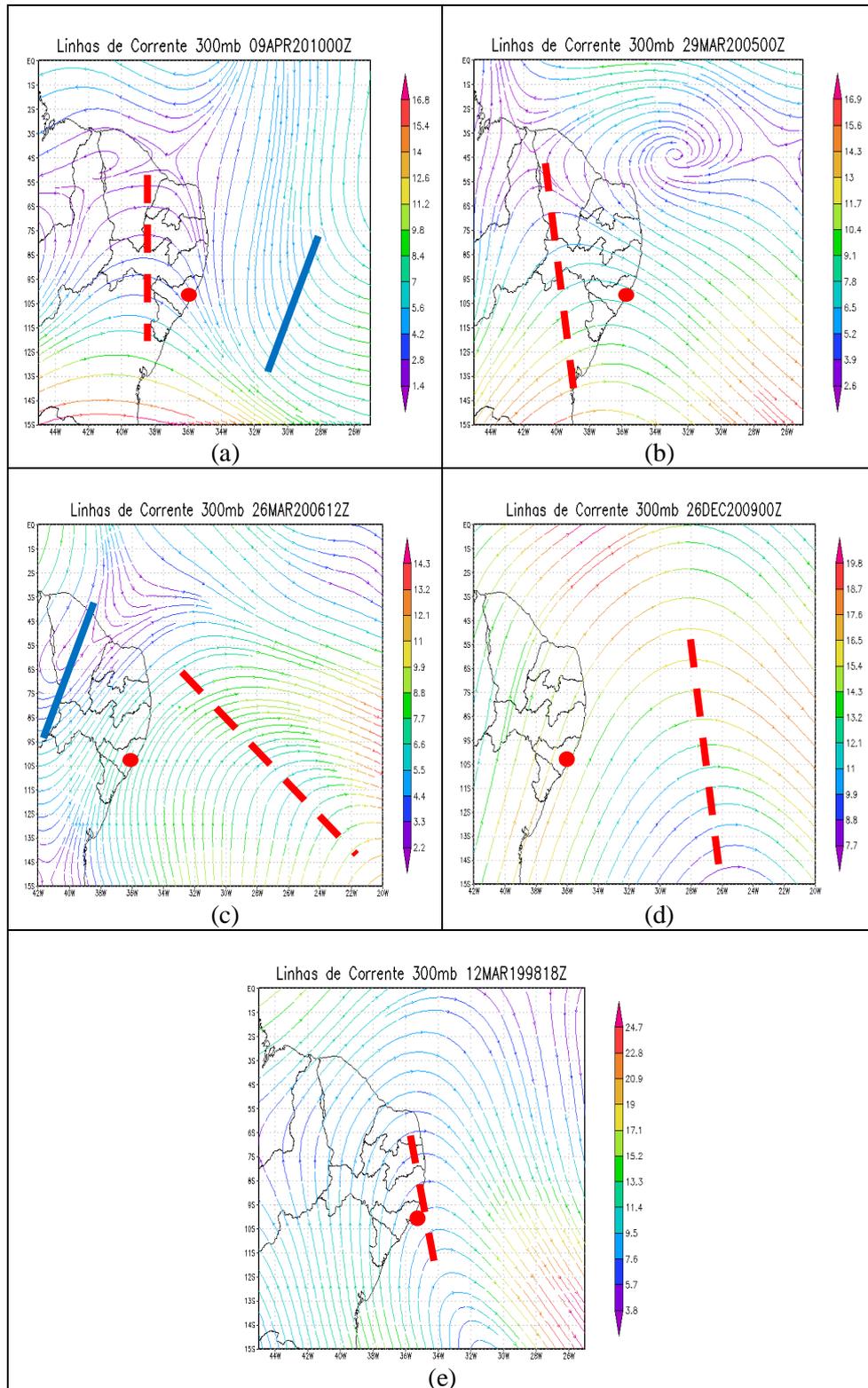
Figura 17 - Número de eventos com trovoadas referentes ao posicionamento de seus sistemas sinóticos com circulação aberta.



Fonte: Autor, 2014.

A seguir, a Figura 18 apresenta exemplos de como o fenômeno adverso atuou com a presença do Cavado em Altos níveis, levando em consideração todas as posições anteriormente citadas.

Figura 18 - Exemplos de alguns casos com trovoadas e suas respectivas posições em relação ao Cavado em Altos Níveis apresentando-se na (a) Vanguarda do Cavado e Retaguarda da Crista, (b) Vanguarda do Cavado, (c) Retaguarda do Cavado e Vanguarda da Crista, (d) Ret aguarda do Cavado, (e) Eixo do Cavado.

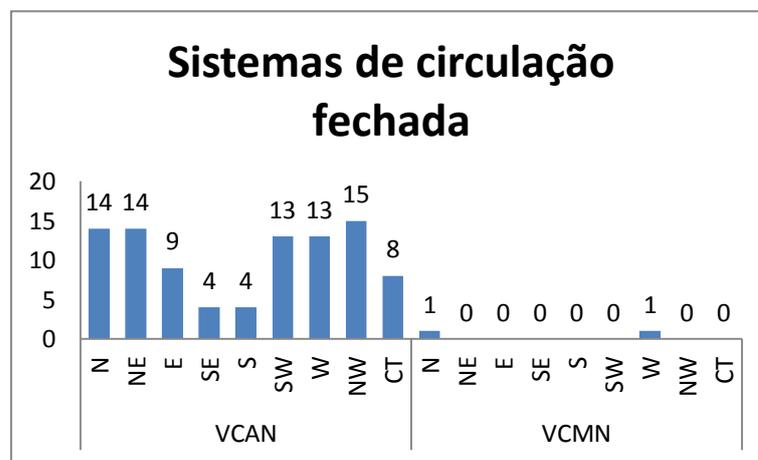


Fonte: Autor, 2014.

Os sistemas sinóticos de circulação fechada, apresentados na Figura 19, apontaram a grande distribuição das trovoadas em todas as regiões do VCAN, sendo sua maior predominância observada à Noroeste com 15 casos, Norte e Nordeste com 14 casos. Em seguida, foram identificados casos a Oeste e Sudoeste do VCAN, ambos apresentando 13 casos. Ainda no mesmo sistema, a trovoadas foi vista à Leste, Centro, Sudeste e Sul apontando 09, 08, 04 e 04 casos, respectivamente.

Para o VCMN foi identificado apenas 02 casos no geral, sendo observada a trovoadas somente à Norte e Oeste, ambos apresentando 01 caso.

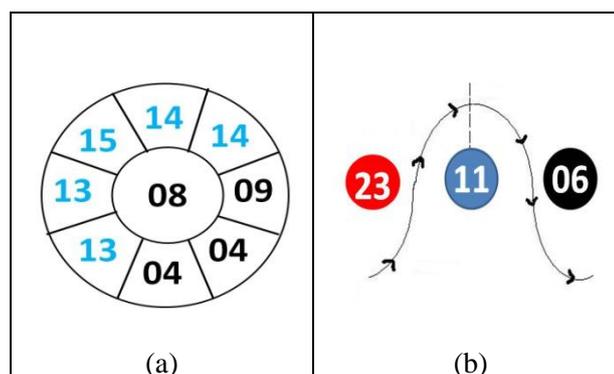
Figura 19 - Número de eventos com trovoadas referentes ao posicionamento de seus sistemas sinóticos com circulação fechada.



Fonte: Autor, 2014.

Para melhor visualização foi elaborado esquemas sobre o posicionamento da trovoadas em relação aos dois sistemas sinóticos mais presentes em dias com trovoadas (Figura 20). O caráter de classificação de cores, quanto a sua posição, foi indicado pela cor Vermelha (acima de 20 casos encontrados), Azul (entre 10 e 19 casos) e Preto (abaixo de 09 casos). Aqueles que não apresentam numeração indicam ausência dos eventos encontrados.

Figura 20 - Posicionamento das trovoadas em relação aos seguintes sistemas sinóticos: (a) VCAN e (b) Cavado em Altos Níveis.



Fonte: Autor, 2014.

4.4 Exemplos de casos com trovoadas para cada sistema sinótico

Como parte da análise, alguns eventos foram escolhidos como exemplo para cada sistema sinótico, sendo assim analisados e discutidos no decorrer deste trabalho. A Tabela 7 indica os sistemas e suas respectivas datas escolhidas juntamente com o horário de ocorrência do fenômeno adverso para estudo de caso.

Tabela 6 - Eventos com trovoadas e horários de ocorrência do mesmo, escolhidos para análise detalhada.

Sistemas Sinóticos	Eventos com trovoadas	Hora da Trovoadas
Cavado em A.N.	08 de Abril de 1998	Entre 17:30 e 19:30 Z
VCAN	19 de Janeiro de 2010	Entre 13 e 15 Z
ZCIT	14 de Março de 2008	Entre 22:00 e 23:40 Z
ZONA FRONTAL	20 de Outubro de 2010	23:00 Z
ZONA FRONTAL + ZCIT	21 de Abril de 2006	14:30 Z
VCMN	19 de Novembro de 2006	00:00 Z

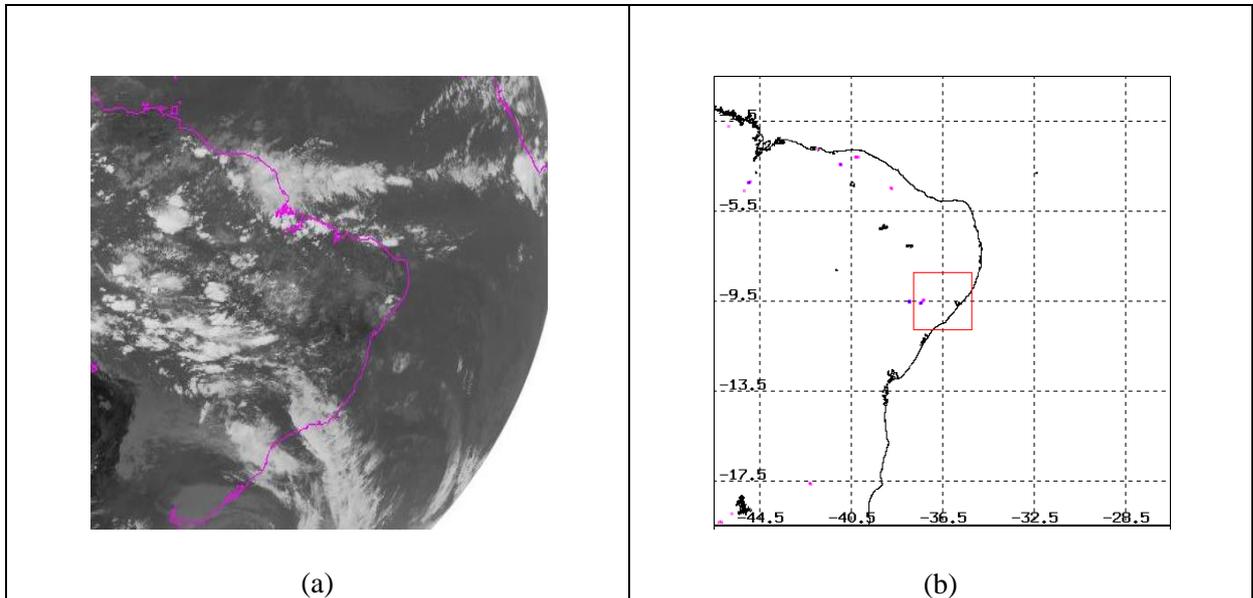
Fonte: Autor, 2014.

4.4.1 Cavado em Altos Níveis

Primeiramente discutir-se-á um sistema sinótico de caráter comum na ocorrência das trovoadas. Dentre todas as classificações apontadas na Figura 18, foi escolhido um evento onde apresentou maior ocorrência de casos, sendo ele na *Retaguarda do Cavado e Vanguarda da Crista*.

O caso escolhido para análise ocorreu no dia 08 de Abril de 1998, entre 17:30 e 19:30Z, aproximadamente. A imagem de satélite no canal IR, às 17:45 Z (Figura 21a), mostra uma nebulosidade local concentrada sobre uma pequena área do litoral nordestino, atingindo principalmente o litoral alagoano. Pela imagem do satélite TRMM (Figura 21b) vê-se a localização da trovoadas onde se predomina a nebulosidade local. Apesar da nebulosidade fraca, a mesma obteve duração de aproximadamente 2 horas, logo, não foi descartada.

Figura 21 - Imagem de Satélite no canal IR do dia 08 de Abril de 1998 (a) às 17:45 Z e (b) imagem do satélite TRMM com localização exata da trovoadas às 17:42 Z.

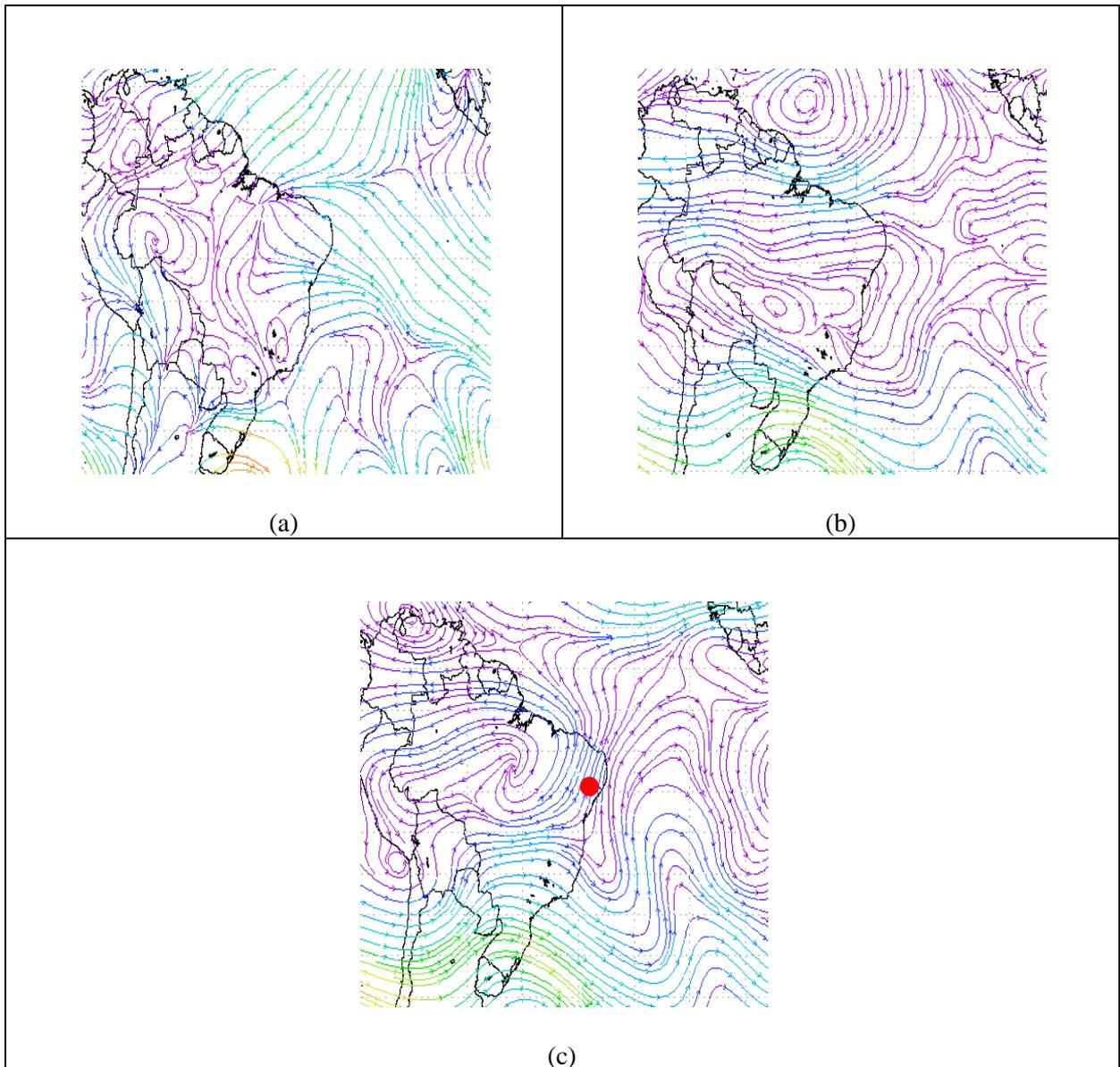


Fonte: NCDC/NOAA e TRMM, 2014.

As imagens de Linhas de Corrente, às 18Z, mostraram que em 1000 hPa (Figura 22a) ocorre apenas a presença de Alísios retos. Em 500 hPa (Figura 22b), observa-se uma crista intensa predominante da Alta da Bolívia, a qual atinge todo o NEB. Sobre o oceano, sistemas não bem definidos passam a atuar. Em 300 hPa (Figura 22c), percebe-se um cavado intenso sobre o Oceano, onde no ponto vermelho (indicado na mesma figura) mostra a trovoadas situada na retaguarda do Cavado e vanguarda da Crista.

Este evento apontou a presença do Cavado em Altos Níveis, sem formação alguma de VCAN (tanto antes, quanto depois de sua aparição), e também, sistemas não bem definidos em níveis mais baixos da atmosfera. Portanto, a nebulosidade fraca aconteceu entre a retaguarda do Cavado e vanguarda da Crista (da AB) em altos níveis. A presença dos alísios em baixos níveis também auxiliou na formação de nuvens para este evento.

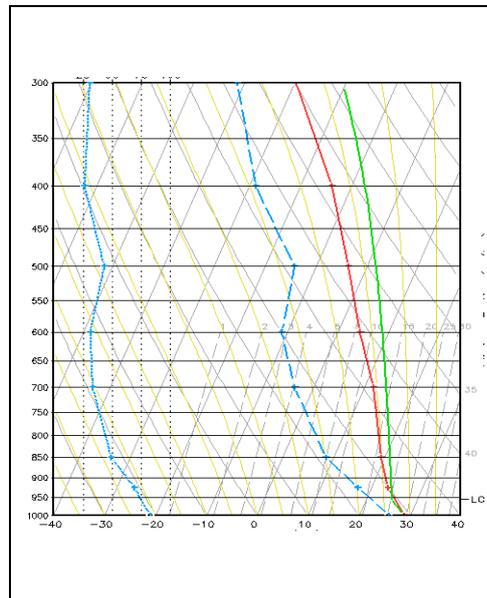
Figura 22 - Linhas de corrente às 18 Z para o dia 08 de Abril de 1998 em (a) 1000, (b) 500 e (c) 300 hPa.



Fonte: Autor, 2014.

O perfil vertical simulado para Maceió, às 18Z, mostrou que a atmosfera esteve mais úmida em baixos níveis, até 925 hPa. Através do perfil percebe-se que a nebulosidade foi de caráter convectivo local, sobre parte da capital alagoana. O índice CAPE+ para esta situação, indicou valor de $1908 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$, apontando a presença de convecção favorável para a formação de trovoadas. Em seguida o índice LI também apresentou valor significativo na ocorrência do mesmo, indicando -6,0.

Figura 23 - Perfil Vertical Simulado para Maceió, às 18 Z do dia 08 de Abril de 1998.



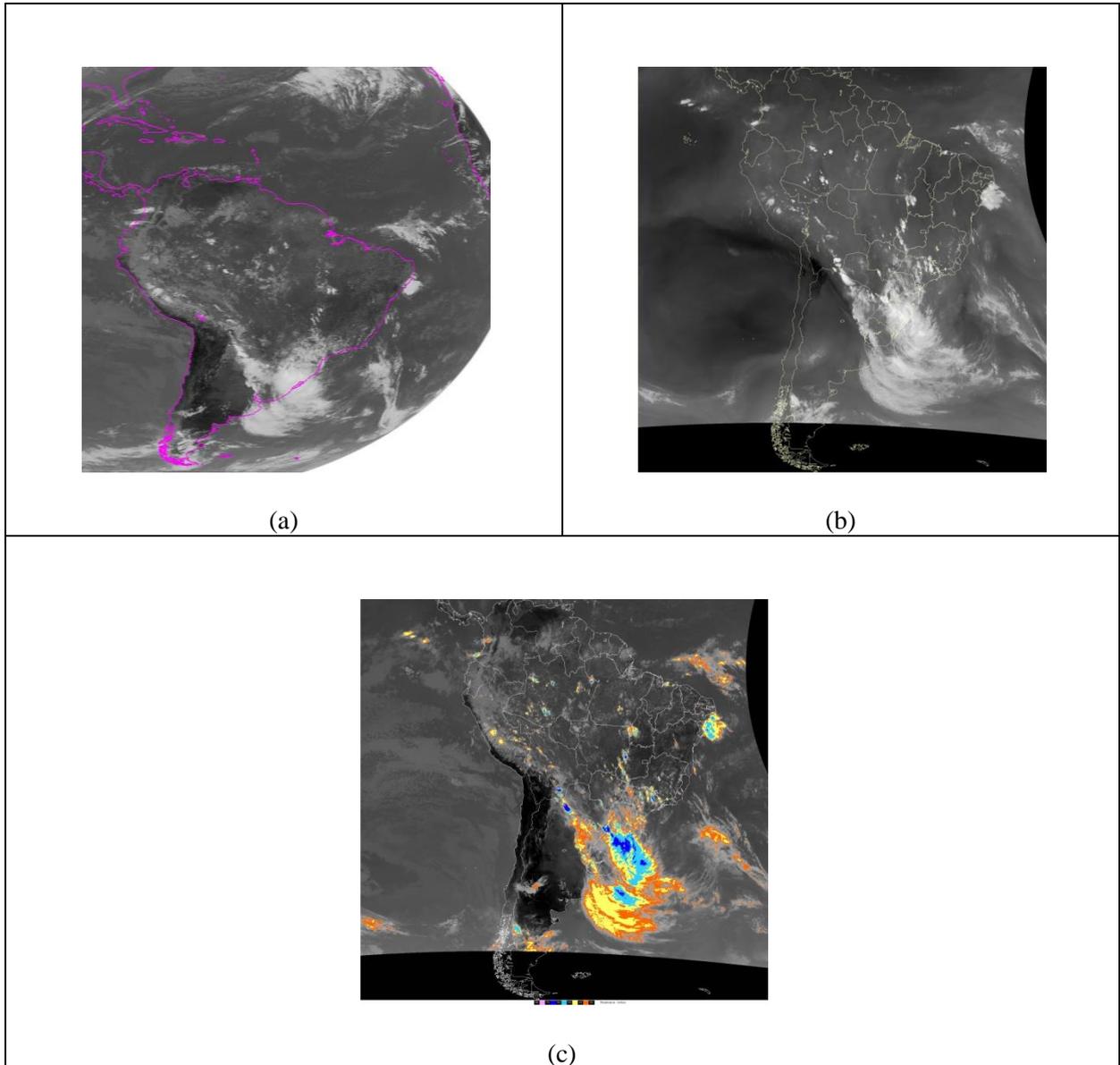
Fonte: Autor, 2014.

4.4.2 Vórtice ciclônico em altos níveis

Existem muitos casos com trovoadas relacionados ao referido sistema sinótico, sendo comum, em determinada época do ano, especialmente no Verão. Contudo, foi escolhido apenas um caso como exemplo, para a seguinte análise.

No dia 19 de Janeiro de 2010, entre as 1300Z e 1500Z, grande parte da população de Alagoas enfrentou prejuízos por conta da forte trovoadas ocorrida (Anexo A). As imagens de satélite, das 1445Z e 1600Z, mostram o momento em que há nebulosidade local sobre o litoral do NEB, a qual acarretou em precipitação intensa e conseqüentemente, trovoadas. A Figura 24 apresenta as imagens de satélite em diferentes canais, na qual a Figura 24c a temperatura no topo da nuvem alcançou -70°C , indicando forte desenvolvimento vertical. A Figura 24A e Figura 24b apenas confirmam a presença de tal nebulosidade, acrescentando também o fator umidade, a qual atingiu grande parte da atmosfera. Para este evento, não houve registros de trovoadas através do satélite TRMM, mas sim através dos dados do DECEA.

Figura 24 - Imagens de Satélite no canal (a) IR às 14:45Z, (b) WV e (c) IR Realçado às 16Z para o dia 19 de Janeiro de 2010.



Fonte: NCDC/NOAA e CPTEC/INPE, 2014.

As imagens de Linhas de Corrente observadas em dois horários distintos, às 12Z e 18Z, registraram a presença do fenômeno adverso ocasionado por um VCAN do tipo Palmer, intenso, com seu centro bem definido sobre o NEB. Em 1000 hPa pode-se notar somente a presença dos ventos alísios com curvatura ciclônica ao final da trajetória, às 12Z (Figura 25a) e, em seguida, alísios com curvatura anticiclônica leve às 18Z (Figura 25b).

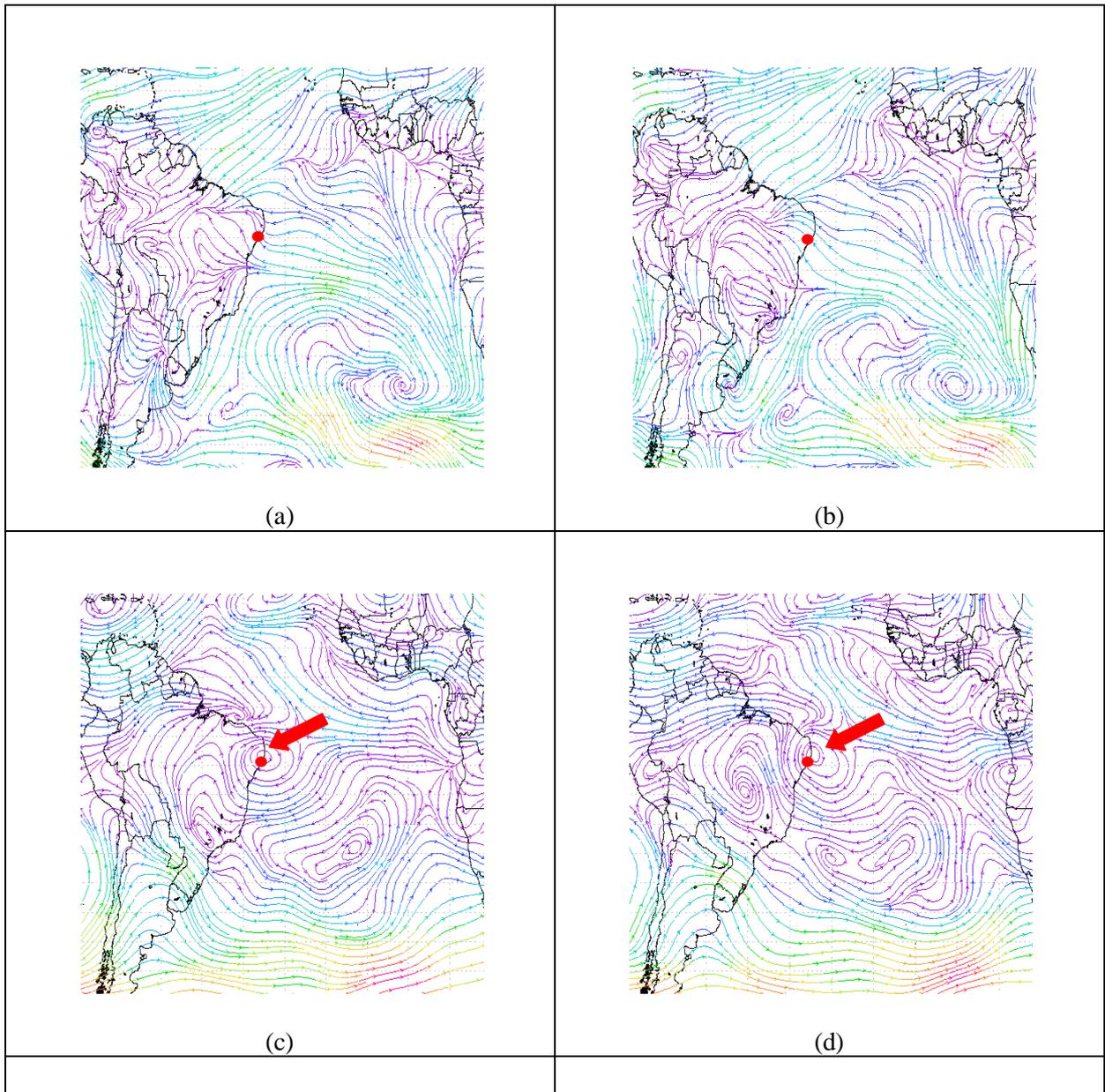
O aparecimento do VCAN se deu a partir do nível de 500 hPa, onde destacou seu centro predominante sobre o litoral do NEB. Ainda no mesmo nível, o VCAN esteve no

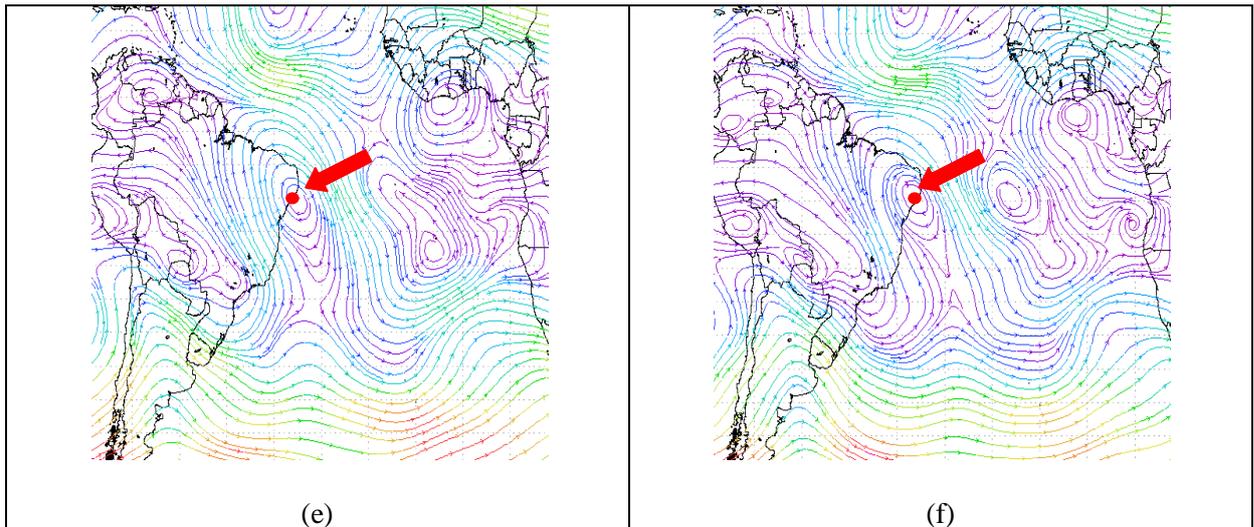
mesmo local, entre os horários das 12Z (Figura 25c) e 18Z (Figura 25d). Um fato interessante que se destaca neste evento, é o posicionamento da trovoada em relação ao VCAN, pois o fenômeno adverso encontrou-se exatamente no centro do VCAN.

Em 300 hPa o VCAN permanece intenso, com seu centro ainda atuando sobre o litoral nordestino, especificamente sobre Alagoas. Visto que a nebulosidade apresentada nas imagens de satélite encontra-se exatamente onde há o Centro do VCAN. Para os horários de 12Z (Figura 25e) e 18Z (Figura 25f), o VCAN permaneceu fixo na área estudada.

Este evento, assim como outros semelhantes, despertou certa curiosidade, pelo simples fato de haver movimentos verticais ascendentes e nuvens de desenvolvimento vertical, no centro do VCAN, como vimos nas imagens de satélite.

Figura 25 - Linhas de Corrente em (a) 1000 hPa às 12Z, (b) 1000 hPa às 18Z, (c) 500 hPa às 12Z, (d) 500 hPa às 18Z, (e) 300 hPa às 12Z e, (f) 300 hPa às 18Z para o dia 19 de Janeiro de 2010.



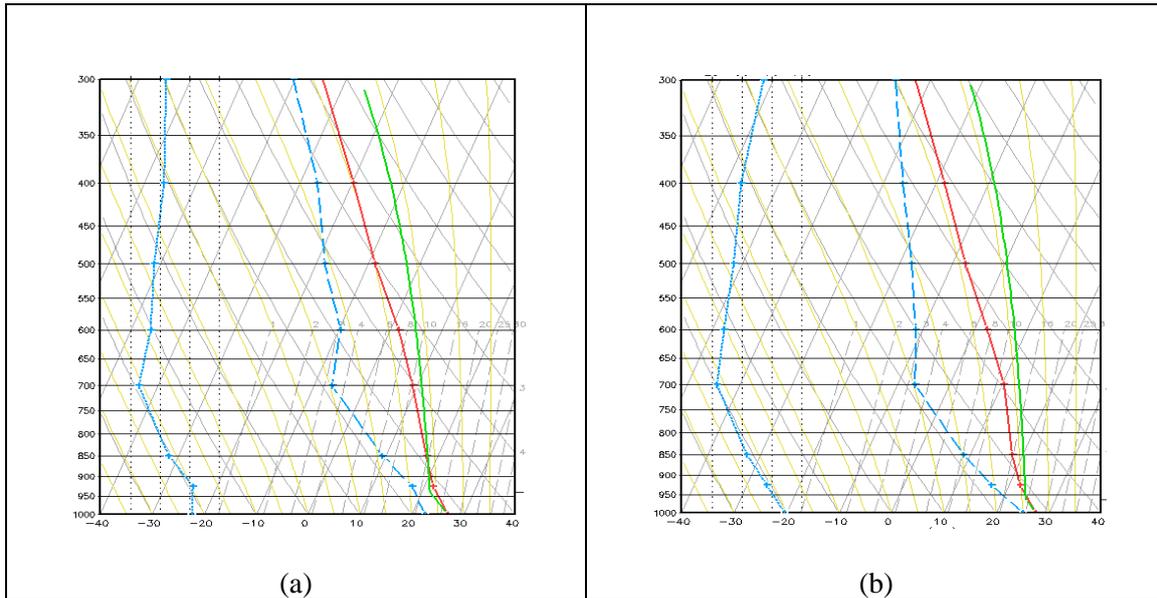


Fonte: Autor, 2014.

Apesar de o VCAN ser bastante comum em casos com trovoadas, atuando principalmente em sua periferia, observa-se que o mesmo pode apresentar confluência em seu centro. Sua forma, porém, não é tão bem definida (como foi visto nas imagens de satélite), mas as linhas de corrente ajudam na identificação e posicionamento da trovoadá em relação ao referido sistema. Assim como este exemplo, outros eventos foram identificados da mesma forma, perfazendo novos estudos à literatura sinótica.

Os Perfis Verticais para dois horários distintos, 12Z (Figura 26a) e 18Z (Figura 26b), se mostraram semelhantes, pois, apresentaram alta umidade relativa do ar próximo à superfície e secos desde então, até altos níveis da atmosfera. Devido à instabilidade condicional presente sobre a região em estudo, nuvens de desenvolvimento vertical estiveram presentes apontando forte intensidade. Os índices de instabilidade confirmaram a presença da trovoadá, apresentando valores de CAPE+ e LI, respectivamente, de $1590 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e -7, às 12Z e, sendo mais intensa às 18Z com valores de $2385 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e -8.

Figura 26 - Perfil Vertical Simulado para Maceió nos horários de 12Z e 18Z do dia 19 de Janeiro de 2010.



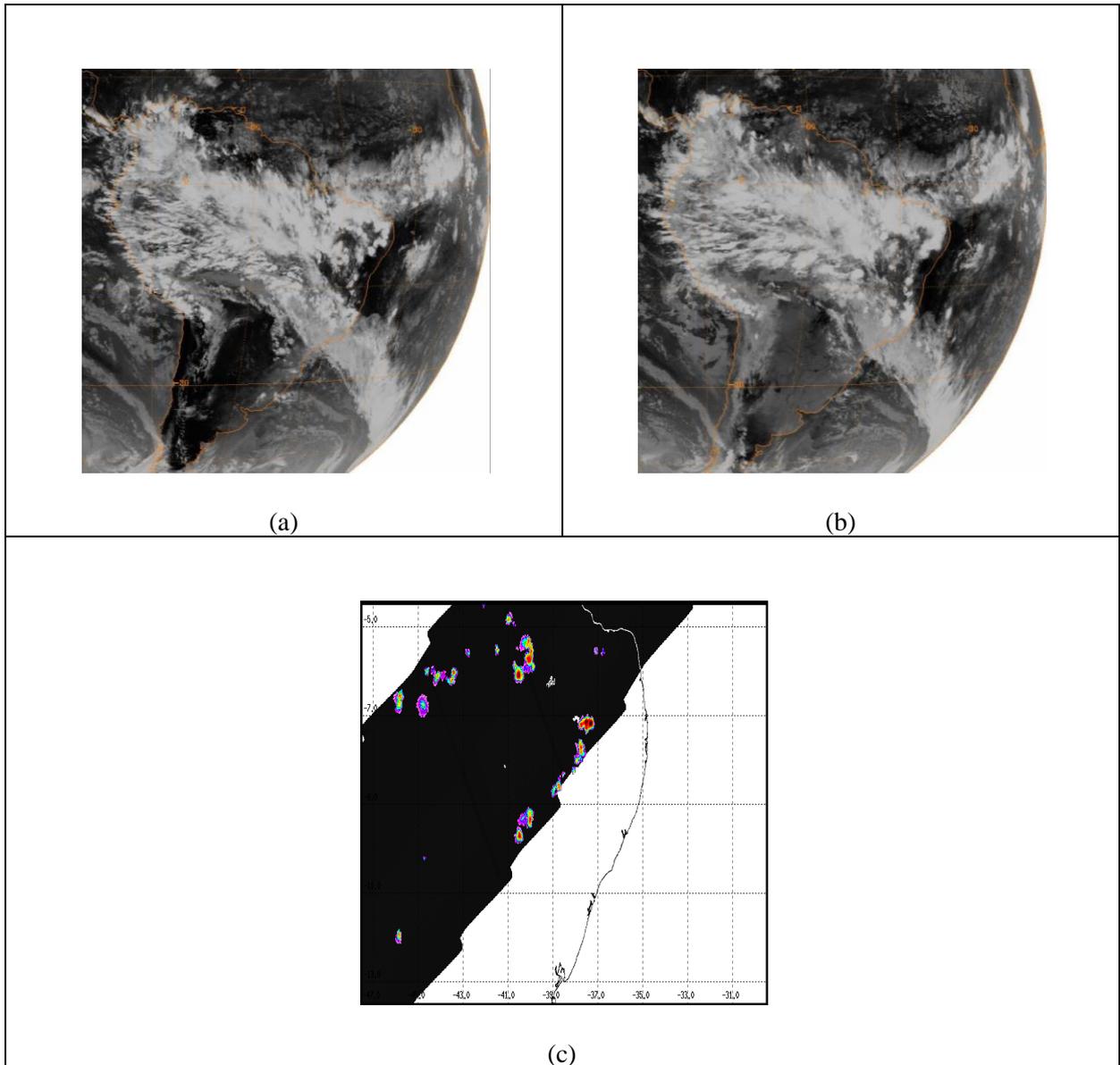
Fonte: Autor, 2014.

4.4.3 Zona de Convergência Intertropical

Um fator comum na ocorrência de trovoadas é a presença da ZCIT, onde em uma determinada época do ano (\pm entre Fevereiro à Abril), a mesma encontra-se mais ao sul do Equador, podendo atingir parte do NEB. Vale salientar que todos os eventos referidos a este sistema, aconteceram dentre os meses de Janeiro à Abril.

Dentre todos os casos identificados, foi escolhida a trovoadas do dia 14 de Março de 2008, entre as 22 e 23:40Z, ocorrida na região do sertão alagoano. As imagens de satélite, às 21Z (Figura 27a) e à 00Z do dia 15 de Março (figura 27b) mostram a situação da atmosfera no momento em que a trovoadas aconteceu. Como pode ser visto, a ZCIT encontrava-se posicionada no Hemisfério Sul (entre 5° e 10° S) e, portanto, a grande atividade convectiva atuou sobre parte do NEB, atingindo não só cidades pertencentes aos estados vizinhos, como também cidades do interior de Alagoas. Percebe-se também que, para o referido dia, o país inteiro estava tomado por grandes áreas de nebulosidade, oriundas de outros sistemas. A Figura 27c exhibe o posicionamento da trovoadas na parte oeste do Estado.

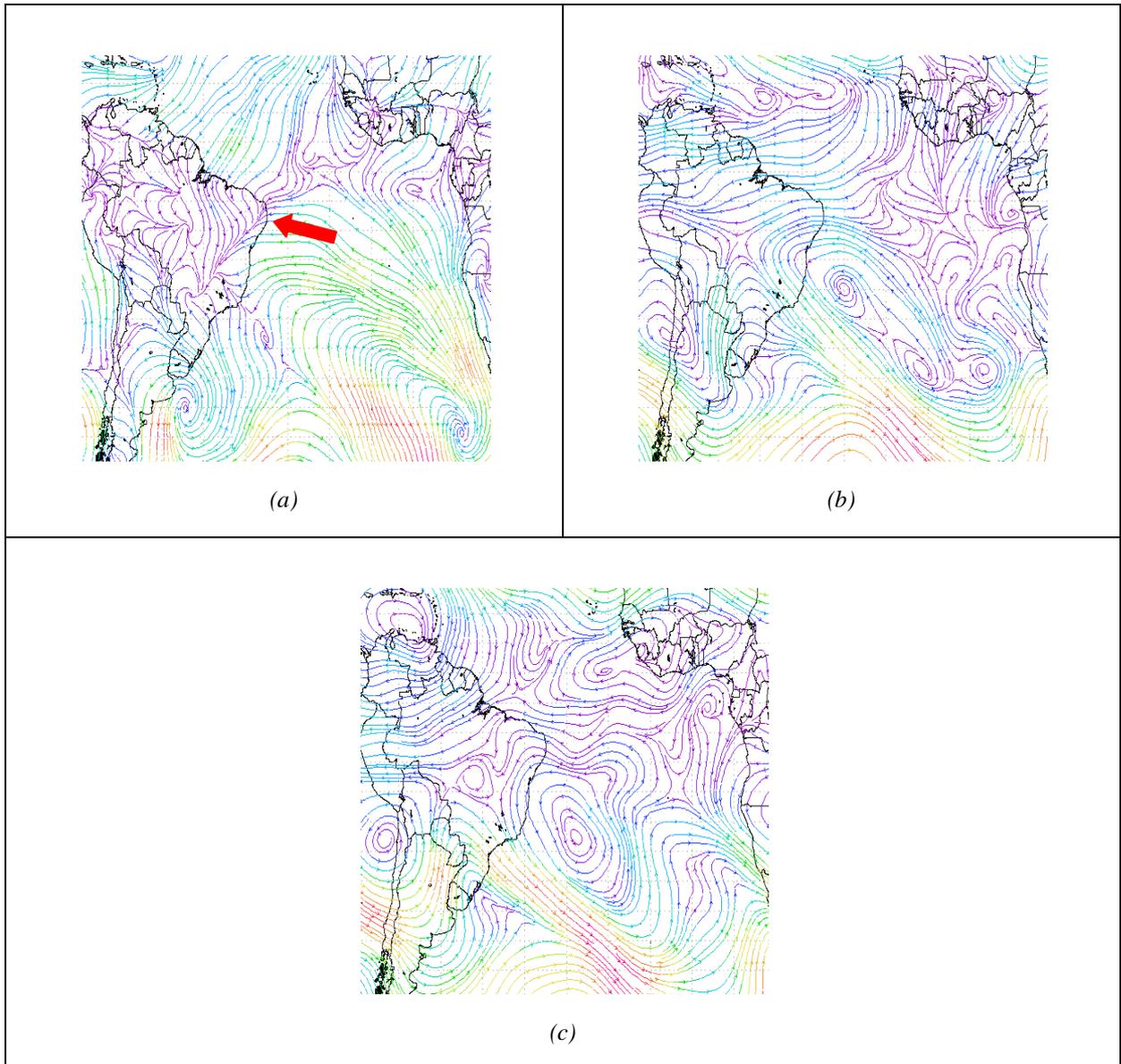
Figura 27 - Imagens de Satélite no canal IR (a) às 21Z do dia 14 de Março de 2008, (b) 00Z do dia 15 de Março de 2008 e (c) TRMM indicando a localização exata da trovoada às 23:30Z para o dia 14 de Março de 2008.



Fonte: NCDC/NOAA e TRMM, 2014.

As Linhas de Corrente, para o dia 15 de Março de 2008 às 00Z, mostraram com perfeição em 1000 hPa (Figura 28a) a posição da ZCIT adentrando no NEB. Sua região de forte confluência atingiu até o estado da Bahia. Em 500 hPa (Figura 28b) observou-se apenas a presença de anticiclone sobre o oceano, que permanece intenso até 300 hPa (Figura 28c), onde deixa uma forte crista no litoral nordestino. Contudo, notou-se que a trovoada esteve unicamente associada à ZCIT e sua forte confluência dos alísios, deixando a atmosfera instável, e posteriormente contribuindo na formação de atividade convectiva sobre o NEB.

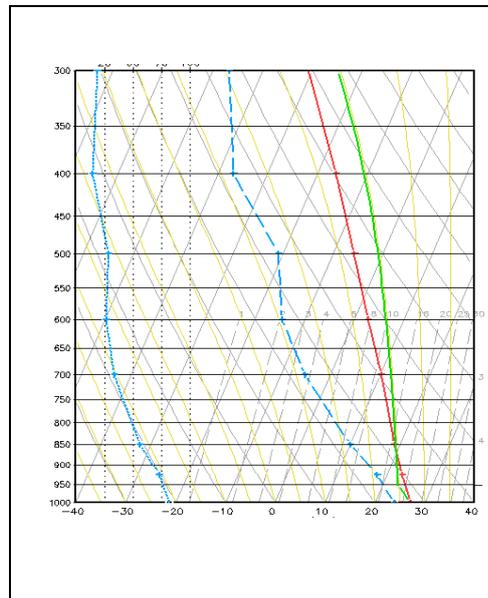
Figura 28 - Linhas de Corrente em (a) 1000 hPa, (b) 500 hPa e, (c) 300 hPa para o dia 15 de Março de 2008 às 00Z.



Fonte: Autor, 2014

O Perfil Vertical analisado para à 00Z do dia 15 de Março (Figura 29), mostrou uma atmosfera muito úmida na superfície, tornando-se seca a partir de 900 hPa. O mesmo também indicou instabilidade condicional em todos os níveis, onde também apontou a presença de nuvens de desenvolvimento vertical sobre a região. Os índices de instabilidade confirmaram essa instabilidade obtendo valores de $1475 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ para CAPE+ e -5 para LI.

Figura 29 - Perfil Vertical Simulado para Maceió no horário das 00Z do dia 15 de Março de 2008.



Fonte: Autor, 2014

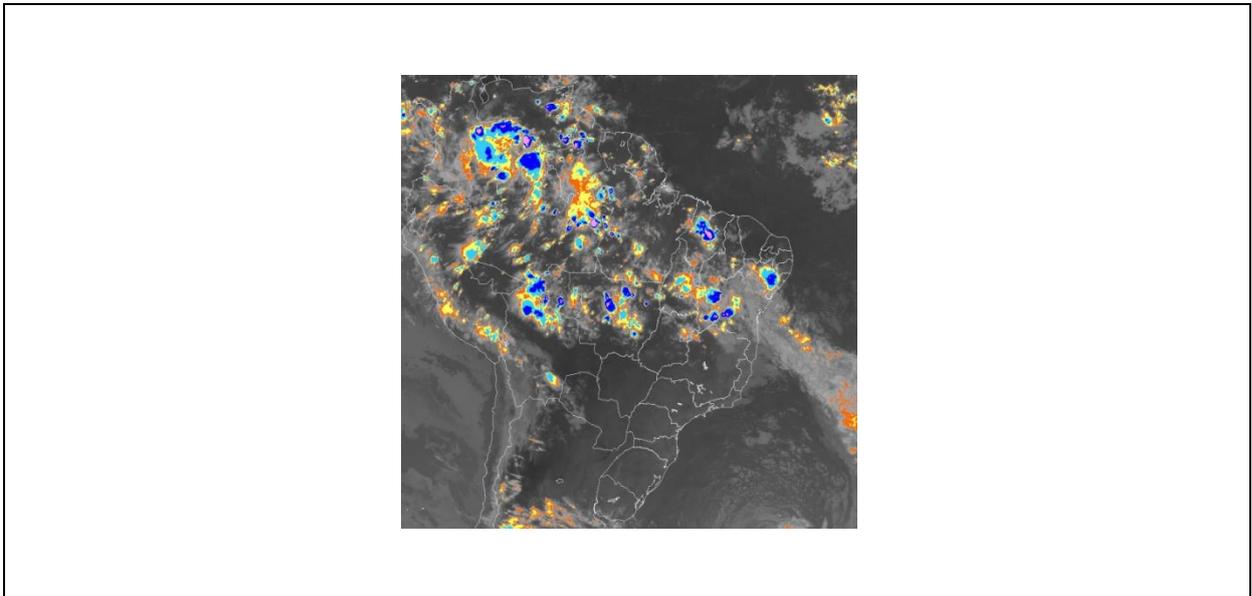
4.4.4 Zona frontal

A seguir observam-se dois exemplos referentes ao mesmo sistema encontrado dentre os casos analisados. Trata-se de trovoadas associadas à Zona Frontal encontradas em sua extremidade. A diferença encontra-se quando ocorre a presença de ZF com circulação ciclônica nos alísios, em sua periferia, enquanto o outro caso trata-se de ZF associada também com ZCIT. Os itens a seguir mostrarão detalhadamente estes casos.

4.4.4.1 Zona frontal com circulação ciclônica nos alísios

Para o referido sistema sinótico, houve apenas um evento presente no dia 20 de Outubro de 2010 às 23Z. Este evento não foi identificado pelo Satélite TRMM e por isso não há imagens mostrando a exata localização da trovoadas. Todavia é de se saber que o mesmo somente foi identificado pelo DECEA, onde se pode afirmar que a trovoadas ocorreu no estado de Alagoas. A Figura 30 aponta a localização de nuvem de desenvolvimento vertical sobre o Agreste Alagoano. Segundo a imagem de satélite as nuvens chegaram a alcançar uma temperatura no topo de -70°C .

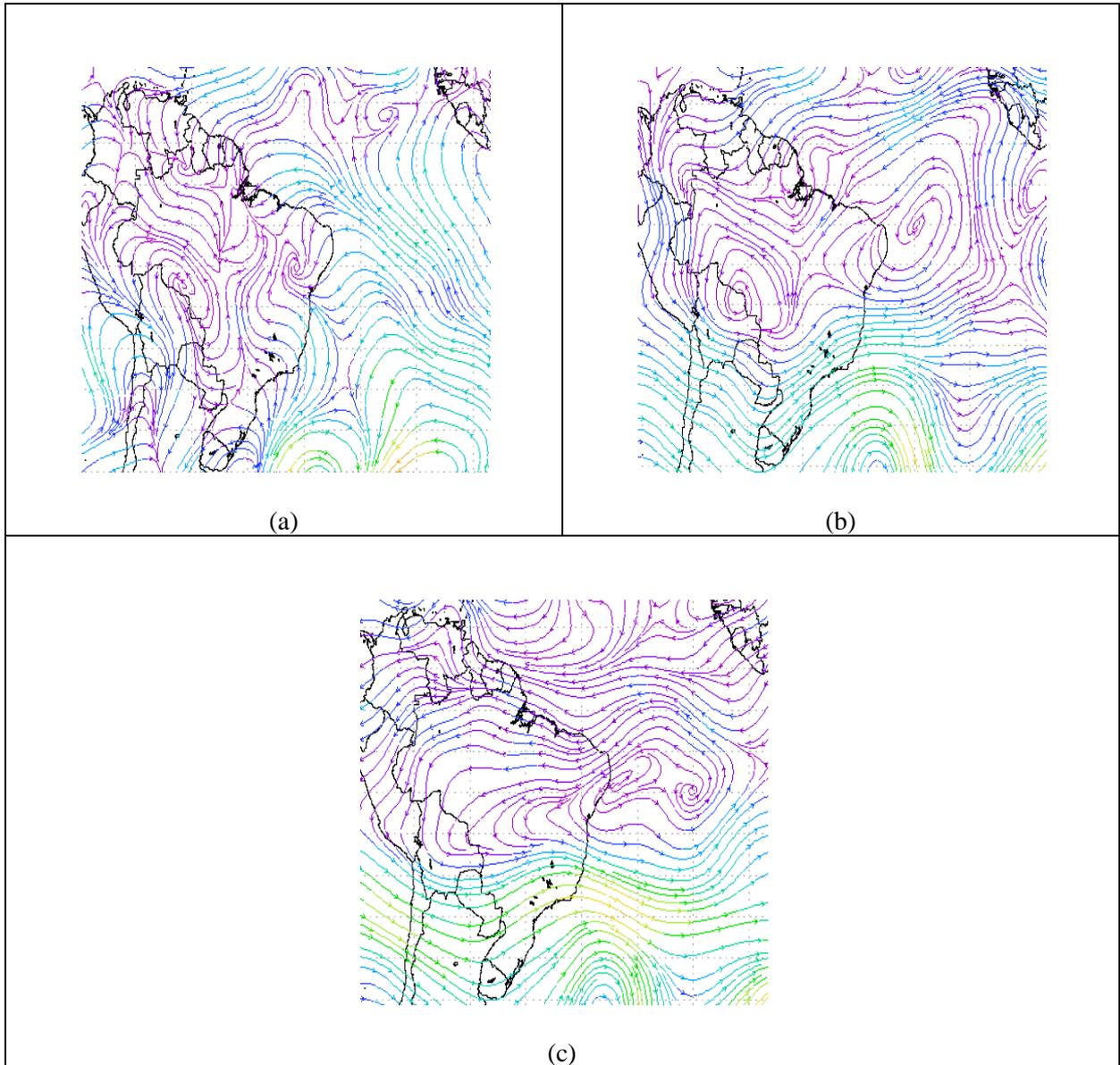
Figura 30 - Imagem de Satélite no canal IR realçada às 23Z para o dia 20 de Outubro de 2010.



Fonte: CPTEC/INPE, 2014.

As linhas de corrente em baixos, médios e altos níveis ajudaram a descobrir o que causou tamanha nebulosidade local e conseqüentemente, a trovoada. Foi possível notar sistema sinótico com circulação sobre o NEB, com influência da zona frontal, ligada ao ciclone baroclínico decorrente do Sul do País (Figura 31a). A mesma circulação se fez presente em sua extremidade frontal. Em médios níveis (Figura 31b), observou-se apenas uma circulação anticiclônica com centro sobre o oceano, deixando sua crista avançar até o NEB. Em altos níveis (Figura 31c), ocorre a presença do mesmo anticiclone, com dois núcleos presentes no oceano. Contudo, afirma-se que a trovoada se deu basicamente devido a circulação ciclônica somente em baixos níveis localizada na extremidade frontal da frente fria.

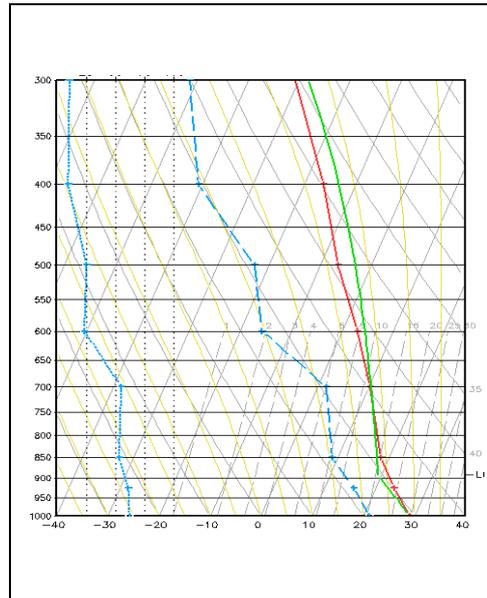
Figura 31 - Linhas de Corrente em (a) 1000 hPa, (b) 500 hPa e, (c) 300 hPa às 00Z para o dia 21 de Outubro de 2010.



Fonte: Autor, 2014

O Perfil Vertical na capital alagoana, às 00Z do dia 21 de Outubro de 2010 (Figura 32), mostrou uma atmosfera seca em todos os níveis da atmosfera, admitindo que a nebulosidade encontrou-se somente na região agreste do Estado. Os índices de instabilidade CAPE+ e LI apontaram a presença de pouca instabilidade sobre Maceió, mostrando valores de $779 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e -3 .

Figura 32 - Perfil Vertical Simulado para Maceió no horário das 00Z do dia 21 de Outubro de 2010.



Fonte: Autor, 2014.

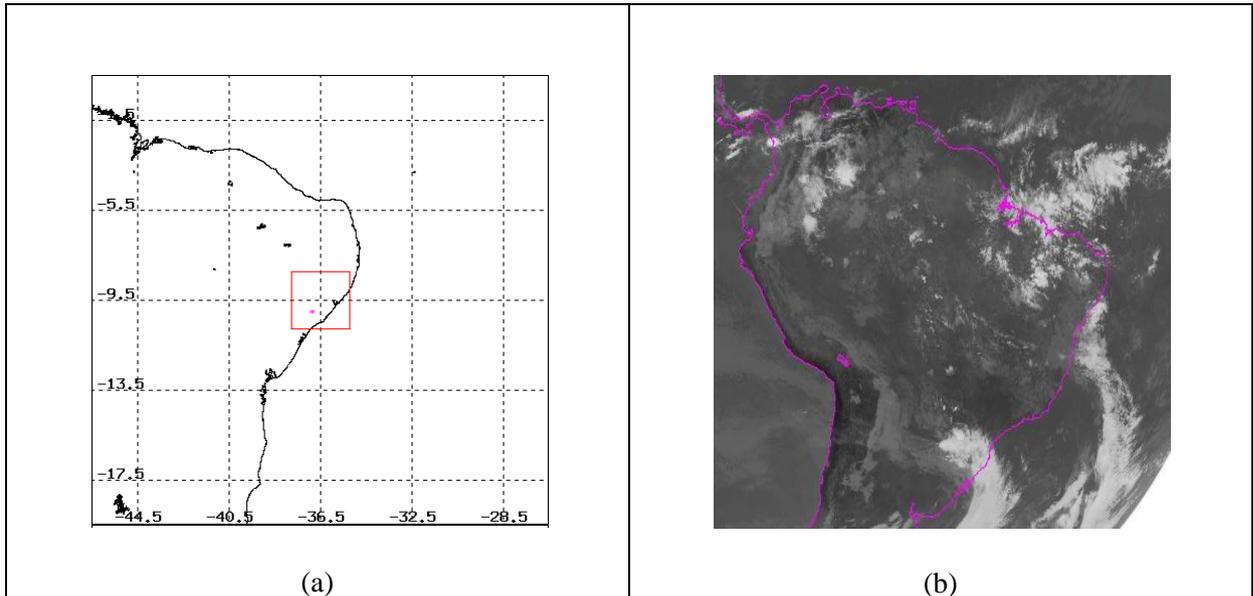
4.4.4.2 Zona frontal e ZCIT

Assim como nos itens 3.4.3 e 3.4.4, vê-se a presença do fenômeno adverso ligado à ZCIT e Zona Frontal separadamente. Neste tópico observa-se a presença dos dois sistemas interligados entre si, porém com pouca intensidade, mas com influência direta nas trovoadas para o Estado.

O próximo exemplo retrata um evento ocorrido em 21 Abril de 2006, às 14:30Z, no litoral de Alagoas. Este caso semelha-se com o caso do tópico anterior (3.4.3), pois sofreu influência de zona frontal, sendo observado juntamente com a ZCIT, que mesmo não atingindo o NEB trouxe pulsos de nebulosidade para certas partes da região.

Primeiramente, mostra-se a localização da trovoadas no momento em que ocorre através das imagens do satélite TRMM (Figura 33a). Contudo, observa-se que a trovoadas localiza-se ao sul de Alagoas, com curta duração. A imagem de satélite no canal IR (Figura 33b) indica nebulosidade sobre parte do litoral do NEB, associada a zona frontal localizada sobre o oceano Atlântico. Todavia, onde foi registrado o fenômeno adverso, também se observa nuvem convectiva intensa.

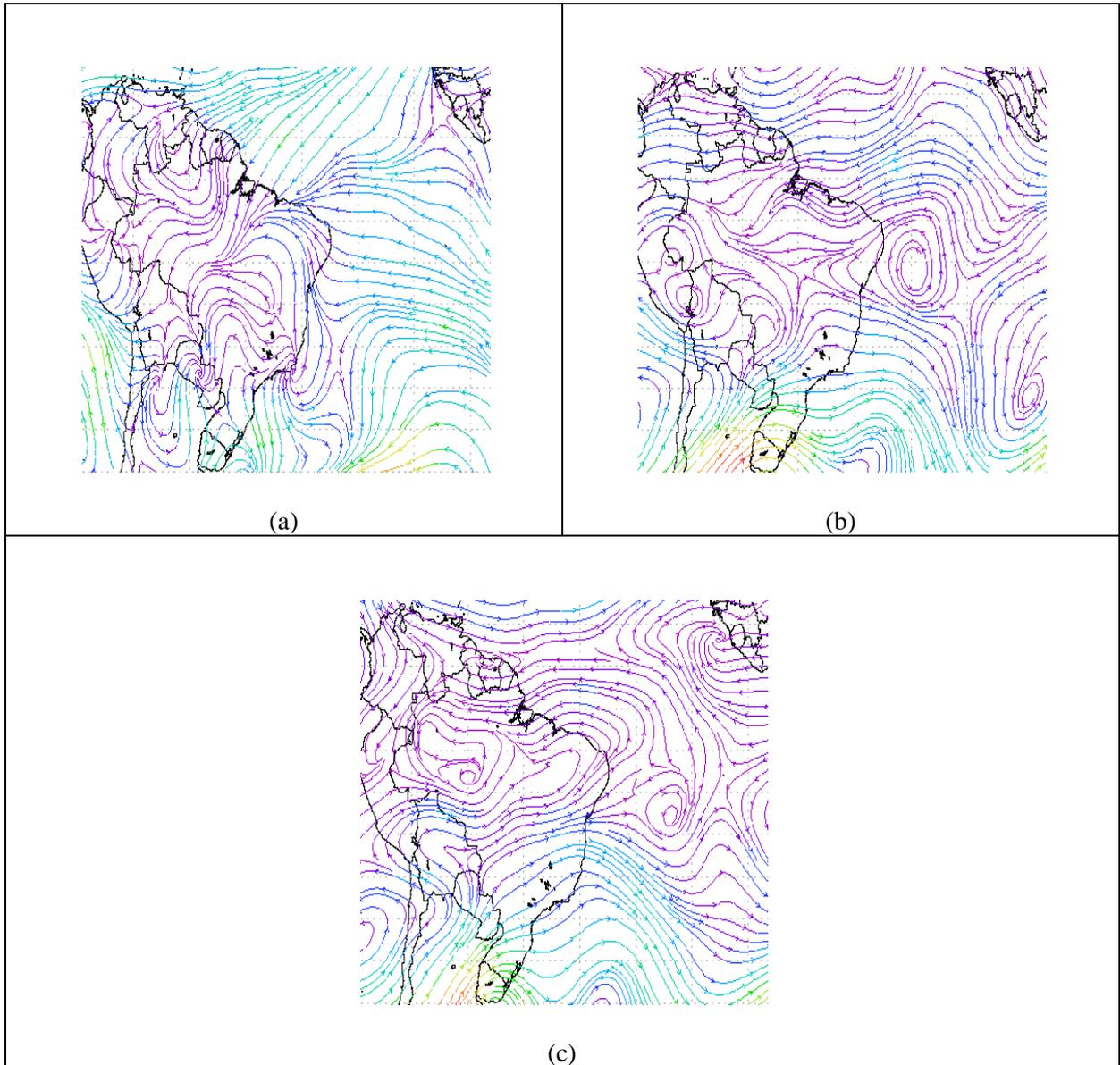
Figura 33 - Imagens do Satélite (a) TRMM e (b) imagem do satélite no canal IR Realçado para o dia 21 de Abril de 2006, às 14:45Z.



Fonte: TRMM e NCDC/NOAA, 2014.

As linhas de corrente, próximas ao horário da trovoadas, ou seja, às 12Z, do referido dia, mostrou em baixos níveis (Figura 34a), a presença dos Alísios com curvatura ciclônica atuando sobre o NEB. A ZCIT presente neste nível atuou no H.S., por isso teve influência na trovoadas em Alagoas, causando poucas nuvens sobre o NEB. Ainda no mesmo nível, havia a presença de uma Frente Fria, com sua extremidade alcançando também o NEB. Portanto tanto a nebulosidade oriunda da ZCIT como da Zona Frontal ajudaram na formação da trovoadas. Em médios níveis (Figura 34b) foi observada uma curvatura anticiclônica com centro sobre o oceano, próximo ao NEB. O mesmo anticiclone permanece até altos níveis (Figura 34c), ainda com centro sobre o oceano, juntamente com uma crista oriunda da Alta da Bolívia.

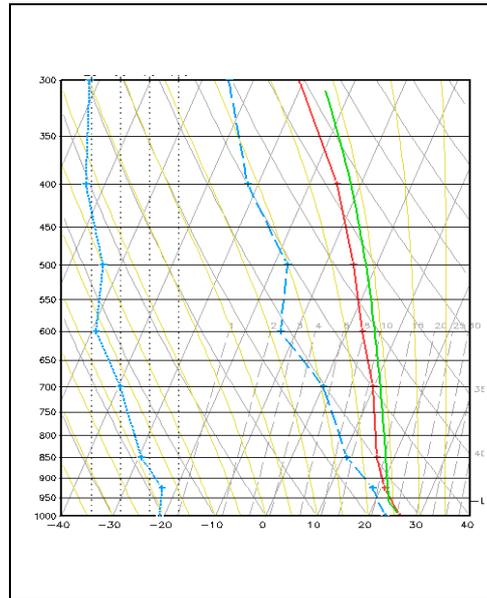
Figura 34 - Linhas de Corrente em (a) 1000 hPa, (b) 500 hPa e, (c) 300 hPa para o dia 21 de Abril de 2006, às 12Z.



Fonte: Autor, 2014.

O Perfil Vertical às 12Z (Figura 35) mostrou-se condicionalmente instável. O anticiclone presente nos níveis altos da atmosfera deixou a atmosfera seca, porém com a presença de instabilidade considerável, o mesmo pode formar nuvens de desenvolvimento vertical com pouca intensidade sobre a capital alagoana. O perfil apontou valores de índices fracos e fraca ocorrência do fenômeno adverso, onde o CAPE+ indicou $983 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e LI de -3. Por fim, observa-se que a trovoadas torna-se mais intensa quando há a presença de nebulosidade oriunda da ZCIT, do que quando ocorre somente na periferia da zona frontal.

Figura 35 - Perfil Vertical Simulado para Maceió no horário das 12Z do dia 21 de Abril de 2006.



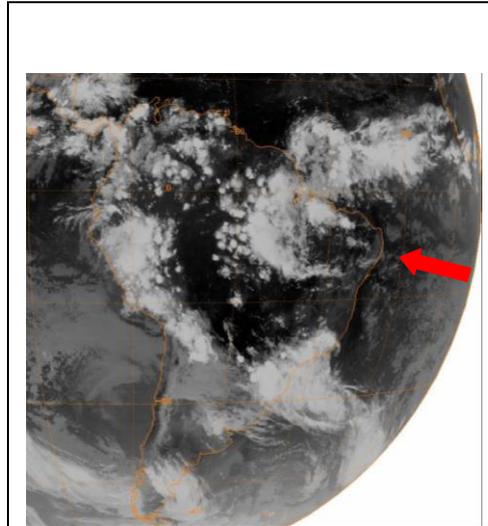
Fonte: Autor, 2014.

4.4.5 Vórtice ciclônico em médios níveis

Dentre todos os exemplos mostrados até o momento, grande parte foi considerada comum na ocorrência da trovoada. Agora, apresenta-se um caso no qual é pouco estudado na literatura e não possui climatologia suficiente que envolva trovoadas e VCMN.

O evento ocorrido no dia 19 de Novembro de 2006, exatamente à 00Z, foi detectado através das informações do DECEA e não visualizado pelo satélite TRMM, portanto não se soube o posicionamento exato da trovoada, tão pouco sua duração. A imagem de satélite no canal IR mostra a situação da atmosfera na hora da trovoada (Figura 36). No entanto, observou-se pouca nebulosidade acerca do litoral nordestino, predominando apenas nuvens baixas. De acordo com a mesma imagem, percebeu-se que a trovoada foi de caráter fraco, todavia não foi descartada.

Figura 36 - Imagem de Satélite no canal IR às 00Z do dia 19 de Novembro de 2006.

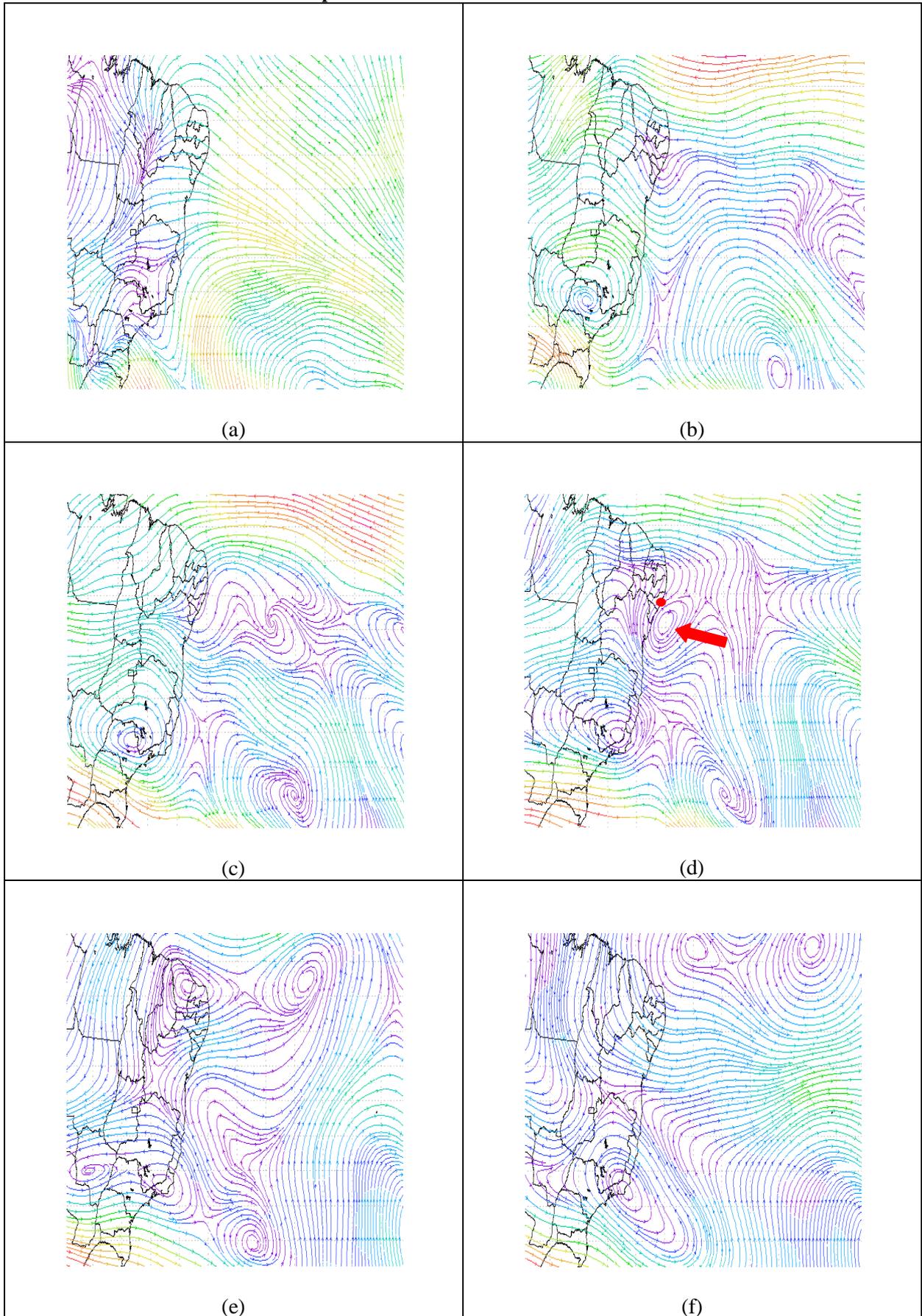


Fonte: NCDC/NOAA, 2014.

As linhas de corrente foram analisadas na hora da trovoadas, ou seja, às 00Z do mesmo dia, além do enfoque nos níveis médios admitindo a presença do VCMN e sua influência no fenômeno adverso. No entanto, foram observados da mesma maneira, imagens no nível de 1000, 500 e 300 hPa, e acrescentadas análises para os níveis de 700, 600 e 400 hPa.

De acordo com as figuras, em 1000 hPa (Figura 37a), notou-se apenas a presença dos alísios de SE com leve curvatura anticiclônica. A partir de 700 hPa (Figura 37b), se obtém a presença de cavado bem formado com eixo sobre o litoral de AL, SE e parte da BA. Em 600 hPa (Figura 37c), o cavado permanece, porém passa a se formar uma circulação ciclônica com pouca intensidade sobre o oceano. Esta circulação, por sua vez, intensifica-se no nível de 500 hPa (Figura 37d), tomando parte do litoral nordestino. A área com nebulosidade apresentada na imagem de satélite encontra-se na periferia NW do VCMN. Em 400 hPa (Figura 37e) pode-se observar que o sistema se dissipou deixando apenas uma corrente de ar zonal atravessar parte do NEB, onde persiste até 300 hPa (Figura 37f). De fato, o VCMN teve duração curta, predominando somente no horário apresentado abaixo.

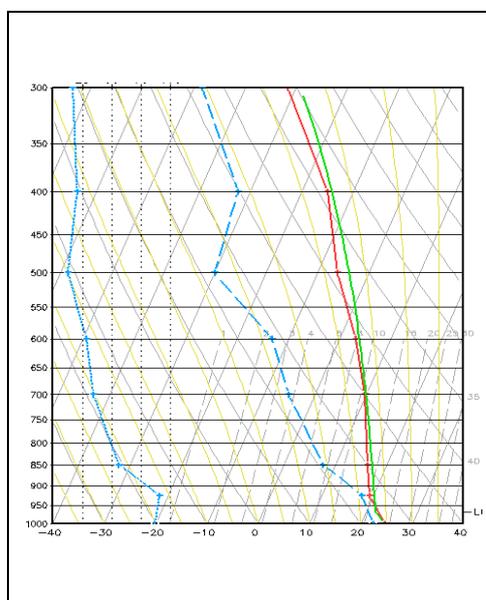
Figura 37 - Linhas de Corrente em (a) 1000 hPa, (b) 700 hPa, (c) 600 hPa, (d) 500 hPa, (e) 400 hPa e (f) 300 hPa para o dia 19 de Novembro de 2006 à 00Z.



Fonte: Autor, 2014.

O perfil vertical para Maceió (Figura 38), mostrou uma atmosfera úmida somente entre 1000 e 900 hPa, e muito seca a partir deste. Apesar de a atmosfera apresentar-se seca na maior parte da atmosfera, a mesma encontrou-se condicionalmente instável ajudando na formação de nebulosidade no local. Percebe-se ainda que o nível onde ocorreu o VCMN apresentou nuvens cumuliformes fracas, estendendo-se até altos níveis. O CAPE+ obteve um valor de $595,0 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$, resultado considerado abaixo da média apresentada pela literatura. Entretanto, o índice LI obteve valor de $-3,0$ apontando a presença de trovoada, porém pouco severa sobre o município. Por fim, pode-se notar que a trovoada para este dia, caracterizou-se como fraca, porém por influência do VCMN presente na atmosfera média.

Figura 38 - Perfil Vertical Simulado para Maceió no horário das 00Z do dia 19 de Novembro de 2006.



Fonte: Autor, 2014

4.5 Índices de instabilidade nos eventos com trovoadas

Foi feito um estudo dos índices de instabilidade no intuito de discutir a intensidade das trovoadas para cada sistema sinótico. Para isto, foram observados os seguintes índices de instabilidade CAPE+ e LI, para discussão do mesmo, considerados por Cordeiro (2013) índices satisfatórios no estudo para trovoadas. A Tabela 8 mostra médias de todos os eventos separados por seu sistema sinótico. Para valores individuais dos índices consultar Apêndice A.

De acordo com a tabela as trovoadas apresentaram-se mais intensas quando houve presença de Cavado em Altos Níveis, VCAN e ZCIT, onde apresentaram médias acima de

1300 J·Kg⁻¹, considerados fortes no que diz respeito a instabilidade da atmosfera. Seguindo estes mesmos sistemas, viu-se que o índice LI também apresentou valores que mostram a presença do fenômeno adverso com forte intensidade, ou seja menores que -4,5.

Trovoadas ocasionadas por Zona Frontal mostraram-se moderadas apresentando valor médio de 1030,8 J·Kg⁻¹. O índice LI, por sua vez, também apresentou média que indica trovoada moderada com -3,8.

Entretanto, como VCMN apresentou apenas 02 casos, os mesmos obtiveram valores de índices abaixo do normal, possuindo média de 409,5 J·Kg⁻¹ para CAPE+ e -2,0 para o LI.

Contudo, nota-se que os sistemas que apresentam grande instabilidade e forte trovoada são àqueles adeptos à formação de grande nebulosidade e conseqüentemente forte desenvolvimento vertical, como no caso do VCAN, ZCIT e Cavados Béricos em A.N, apresentando-se tanto na periferia como em seu eixo/centro.

Tabela 7 - Valores médios dos índices de instabilidade CAPE+ e LI, para cada sistema sinótico estudado.

MÉDIAS		
SISTEMAS SINÓTICOS	CAPE+	LI
VCAN	1319,6	-4,5
CAVADO EM A.N.	1374,4	-4,6
ZONA FRONTAL	1030,8	-3,8
ZCIT	1479,1	-5,2
VCMN	409,5	-2,0

Fonte: Autor, 2014.

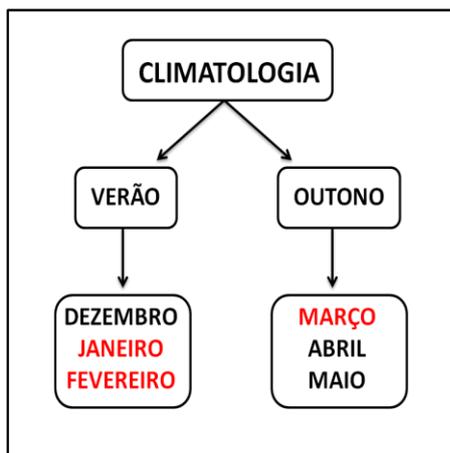
4.6 Fluxograma do sistema de trovoadas

Ao identificar a frequência e todos os sistemas sinóticos nos anos estudados, foram feitos dois fluxogramas, até então atualizados, mostrando novos resultados a respeito dos eventos com trovoadas.

Primeiramente mostra-se o fluxograma apontando a Climatologia das trovoadas, ou seja, levando em consideração o período de casos observados, identificação dos casos e frequência dos mesmos. Como pode ser visto na Figura 39, todos os eventos ocorreram com maior frequência nos meses apresentados em cor vermelha (Janeiro, Fevereiro e Março). Além destes, os meses de Dezembro, Abril e Maio, também apresentaram um número de casos bem distribuídos ao longo das estações.

Este fato pode ser considerado normal, pois os sistemas principais mais conhecidos na literatura – como VCAN, ZCIT, Cavados béricos – ocorrem com frequência nesta época do ano (Verão do HS), onde as temperaturas são mais altas, favorecendo a formação de nuvens de precipitação e trovoadas na região.

Figura 39 - Fluxograma climatológico dos eventos com trovoadas. Fonte: Autor.



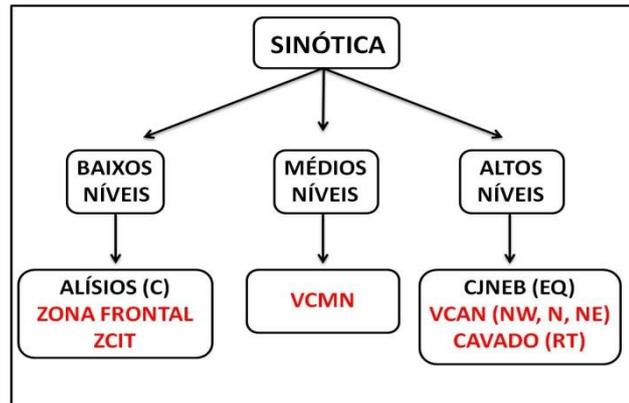
Fonte: Autor, 2014.

Em seguida, observaram-se os sistemas sinóticos encontrados dentre os eventos com trovoadas analisados. O fluxograma apresentado na Figura 40 mostra todos os sistemas já antes encontrados, em estudos passados, juntamente com aqueles apresentados neste trabalho. Contudo, observa-se que em baixos níveis, os sistemas mais comumente encontrados eram os Alísios com curvatura ciclônica com mais de 50% dos casos, sobre o NEB (BRITO, 2008). Todavia, com o aumento do número de casos, outros sistemas também foram identificados como Zona Frontal e ZCIT. Estes últimos citados possuem aparição inicial em baixos níveis, mas também podem ser localizados em outros níveis um pouco acima da atmosfera.

Em médios níveis, de acordo com os estudos passados, ainda não havia registros de sistemas sinóticos atuantes em dias com trovoadas, uma vez que estes sempre apareciam de forma comum e não tão bem definidos nos casos. Hoje, em um estudo mais detalhando, viu-se a presença de um sistema que contribuiu, para que o fenômeno adverso ocorresse, sendo ele o VCMN.

Por fim, em altos níveis, os resultados aumentaram suas análises, onde, anteriormente, Brito(2008), observou apenas a presença de CJNEB e VCAN nos eventos com trovoadas. Para o referido autor as trovoadas encontraram-se à NW e SW do VCAN e para o CJNEB, o mesmo encontrou casos onde a trovoadas esteve posicionada mais na entrada lado quente e saída do lado frio. Neste estudo, viu-se que os casos com a presença de VCAN, aumentaram significativamente, porém mudando seu número de casos, quanto ao seu posicionamento, sendo agora mais apresentado à Noroeste, Norte e Nordeste do mesmo. Além destes, Cavados deram ênfase neste estudo, apontando sua presença relativa nos eventos com trovoadas.

Figura 40 - Fluxograma sinótico dos eventos com trovoadas. Siglas entre parênteses: C (Ciclônico); EQ (Entrada Quente); NW (Noroeste); N (Norte); NE (Nordeste); RT (Retaguarda).



Fonte: Autor, 2014.

5 CONCLUSÕES

Para o estudo sobre a frequência das trovoadas em Alagoas foram encontrados 212 casos no período de 1998 à 2012. As trovoadas estiveram mais presentes nos meses onde predominam as temperaturas mais quentes, (Janeiro, Fevereiro e Março) e, ausentes no mês de Setembro.

Em um estudo de casos feitos por ano, verificou-se que o ano de 2008 obteve o maior número de eventos com trovoadas e o que obteve menos ocorrência do fenômeno adverso foi o ano de 2012.

Os sistemas sinóticos mais predominantes em dias com trovoadas foram Cavado em Altos Níveis, VCAN, VCMN, ZCIT e Zona Frontal. O sistema que mais atuou foi VCAN com 94 casos, em seguida Cavado em Altos Níveis com 40 casos. Por outro lado, VCMN obteve sua menor ocorrência onde apresentou somente 02 casos com a presença do mesmo.

Em uma análise detalhada foi analisado o posicionamento da trovoada em relação ao VCAN, Cavado em A.N e VCMN. Foi observado que para o Cavado em Altos Níveis, as trovoadas ocorreram com maior frequência na região da retaguarda com 23 casos. No VCAN, as trovoadas estiveram bem distribuídas, incidindo mais à NW, N e NE do mesmo. Para o VCMN (com apenas 02 casos), foi verificado somente à W e N. Em seguida, exemplos referentes a cada sistema mostraram o comportamento, intensidade e posicionamento da trovoada nas diversas situações.

Os índices de Instabilidade foram analisados em cada sistema sinótico e foram encontrados maiores valores de instabilidade para o Cavado em AN (CAPE de $1374,4 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e LI -4,6), VCAN (CAPE $1319,6 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e LI -4,5) e ZCIT (CAPE $1479,1 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e LI -5,2), o qual apresentam grande nebulosidade e conseqüentemente muita instabilidade, acarretando em fortes trovoadas. Todavia, para Zona Frontal (CAPE $1030,8 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e LI -3,8) e VCMN (CAPE $409,5 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ e LI -2,0) para VCMN, as médias indicaram fracas trovoadas.

Visando futuros estudos para aprimoramento dos resultados alcançados, recomenda-se:

- A permanência do estudo voltado à análise do fenômeno adverso no NEB, especificamente para o estado de Alagoas, pelo fato de não haver estudos significativos acerca deste assunto.

- Desenvolver novas metodologias de reanálises com melhores resoluções, produtos de satélite e detecção de trovoadas na tentativa de aprimorar pesquisas futuras.
- Elaborar estudos detalhados voltados aos sistemas sinóticos, principalmente àqueles com maior ocorrência sobre as trovoadas, como por exemplo, o VCAN. Portanto, deve-se estudar o sistema como um todo, em um período de tempo semelhante ao abordado no trabalho, na tentativa de descobrir sua influência não só nas trovoadas, mas também em outros fenômenos adversos.
- Divulgar estes trabalhos para que a população possa entender a causa do fenômeno adverso e também, explorar seus conhecimentos nesta área.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C.S.M. **Desenvolvimento e Trajetórias dos Complexos Convectivos de Mesoescala no Estado de Alagoas Entre os Anos de 1999 e 2009**. 2011. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

ANJOS, B. L. **Conexões entre a Circulação do Hemisfério Norte e os Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera na Região Nordeste do Brasil: um estudo de caso**. 1995. 119p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – Paraíba, 1995.

ANUÁRIO Estatístico De Alagoas. Alagoas: Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico, 2011. Disponível em: <http://www.seplande.al.gov.br/planejamento-e-orcamento/informacoes-e-conhecimento/produtos-e-publicacoes/estatisticas/anuario-estatistico/2011>. Acesso em: 21 ago. 2014.

APOSTILA do Curso de Meteorologia da FUNCEME: O Fenômeno El Niño- Oscilação Sul: Teorias, Observações e Previsões. **Boletim de Monitoramento Climático- Monitor Climático** – Edição Especial, Fortaleza, CE. no. 2, 31 págs. 1997.

BRITO, B. M. et al. Relação entre as trovoadas e a fase fria da ODP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 15., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBMET, 2008a.

_____. Trovoada mais intensa nos últimos 10 anos em Alagoas em fevereiro de 2008. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 15., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBMET, 2008b.

_____. Utilização do modelo Hysplit para a previsão de trovoada no Aeroporto Zumbi dos Palmares, Maceió, Alagoas. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 15., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBMET, 2008c.

_____. Análise do comportamento das trovoadas no Estado de Alagoas: previsão a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos – SP, v. 26, n. 2, jun. 2011. p. 243-256.

CARVALHO, L.M.V.; C. JONES; B. LIEBMANN. The South Atlantic Convergence Zone: persistence, intensity, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal activity. **Journal of Climate**, Boston, v. 17, p. 88-108, 2004.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. **CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Cachoeira Paulista – SP, v. 4, p. 34-40, 1989.

CORDEIRO, E. S.; SILVA, N. M.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N. Análise termodinâmica e frequência de trovoadas entre os anos de 2008 à 2012 em Maceió, Alagoas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 5, p. 1208-1226, 2013.

CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. 2014. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 21 agos. 2014.

FEDOROVA, Natalia. **Meteorologia sinótica**. Pelotas: Ed. Universitária da Universidade Federal de Pelotas, 1999. v. 1.

FELICIO, R. A. **Sistemas de Meso Escal: Trovoadas**. 2005. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Climatologia). Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Elisa/flg0253/filespdf/TrovoadasAtlasFigsCI-I.PDF> Acesso em 24 out. 2011.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico sul e leste do Brasil**. 1983. 80p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, São José dos Campos, 1983. [INPE-2685-TDL/126]

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. **Um Estudo Observacional sobre as Baixas Frias da Alta Troposfera nas Latitudes Subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil**. São José dos Campos, SP: INPE, 1982. 25 págs.

GIN R. B. B. & GUEDES, R. L. Climatologia de relâmpagos no Brasil: Análise preliminar. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ – BRASIL: [s.n.], 2000. p. 1948-1957.

GUEDES, R.L.; MACHADO, L.A.T. Características Médias da Cobertura de Nuvens Sobre a América do Sul com Base em Imagens do GOES-E/ISCCP: Julho de 1987 a Junho de 1988. **Revista brasileira de meteorologia**, São José dos Campos – SP, v. 12, n.1, pg. 1-19, 1997.

HOLTON, J. R., et al. Stratosphere-troposphere exchange. **Reviews of Geophysics**, Washington, v. 33, p. 403-439, 1995.

KENTARCHOS, A. S. et al. On the origin of elevated surface ozone concentrations at Izana Observatory during the last days of March 1996: a model study. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 27. 2000.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. L. Upper tropospheric cyclonic vortices in the subtropical South Atlantic. **Tellus**, Munksgaard, Copenhagen, v. 33, p. 538-551, Nov. 1981.

LAINING, A.G.; FRITSCH, J.M. The global population of mesoscale convective complexes. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Oxford, Jan. B, 123, p. 389-405, 1997.

LOURENÇO, M. C. M. **Vórtices ciclônicos em altos níveis que atuam no sul da América do Sul**. 1996. 77p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1996. (INPE-10462-TDI/929).

MADDOX, R.A. Mesoscale convective complexes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 61, p. 1374-1387, 1980.

MISHRA, S. K.; RAO, V. B.; GAN, M. A. Structure and evolution of the large-scale flow and an embedded upper tropospheric cyclonic vortex over northeast Brazil. **Mon. Weather Review**, Boston, v. 129, p. 1673-1688, 2001.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ – BRASIL: [s.n.], 2000. 1 CD-ROM.

NASA. United States of America. **Tropical Rainfall Measuring Mission**. 2014. Disponível em: <http://science.nasa.gov/missions/trmm/>. Acesso em: 15 ago. 2014.

NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos de modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil. **Revista brasileira de meteorologia**, São José dos Campos – SP, v.20, n.1, 2005. p.121-140.

NATIONAL Weather Service Weather Forecast Office. Peachtree City: NDAA, 2014. Disponível em: <http://www.srh.noaa.gov/ffc/html/GLOSS2.SHTML>. Acesso em: 21 agos. 2014.

NCDC/NOAA - National Climatic Data Center. **GIBBS: Global ISCCP B1 Browse System**. 2014. Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/gibbs/>. Acesso em: 21 agos. 2014.

NCEP/NCAR Reanalysis 1: Summary. Broadway: Earth System Research Laboratory: Physical Sciences Division, (2014). Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>. Acesso em: 21 agos. 2014.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e Convecção na Amazônia**. 1986. 134 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 1986. (INPE-4008-TDL/239.)

PALMÉN, E. Origin and structure of high-level cyclones south of the maximum westerlies. **Tellus**, v. 1, p. 22-31, 1949.

PALMÉN, E.; NEWTON, C. W. **Atmospheric Circulation Systems**. New York: Academic press, 1969.

PALMER, C. E. On High-level Cyclones Originating in the Tropics. **American Geophys Union**, v. 32, n. 5, p. 683-695, Oct. 1951.

QUADRO, M. F. L. **Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 124 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, (INPE-6341-TDI/593).

RAMIREZ, M. C. V. ; FERREIRA, N. J. ; KAYANO, M. T. Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil, Parte II: aspectos sinóticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 15., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBMET , 2008c.

RAMIREZ, M. C. V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil**. 1996. 132p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997. (INPE-6408-TDI/618).

RODRIGUES, L. R. L. ; FEDOROVA, N. ; LEVIT, V. Trovoadas na costa leste do Nordeste do Brasil associadas a interação entre ondas nos ventos de leste e VCAN. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 15., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBMET, 2008.

_____. Cavados béricos atuantes no estado de alagoas e fenômenos adversos associados. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 14., 2008, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 2006.

SANTOS, D. M. B. et al. Climatologia dos vórtices ciclônicos de médios níveis em 2010. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos – SP, 2012.

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L.F.; NOBRE, C.A.; SILVA DIAS, P.L. Tropics - South America. In : KAULY, D. J.; VINCENT, D. G. (Ed.). **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Meteorological Monograph - American Meteorological Society, Boston, p. 119-139. 1998.

SILVA, B. F. P DA. et al. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos – SP, v. 26, n. 3. set. 2011. p.323-338.

SILVA, L. **A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do Nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas**. 2005. 109p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005.

SIMPSON, R. H.; FRANK, N.; SHIDELER. D.; JOHNSON, H. M. Atlantic Tropical Disturbances. **Monthly Weather Review**, v. 96, No 4, p. 251-259, 1968.

TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission. 2014. Disponível em: <http://www.nasa.gov/centers/marshall/home/index.html>. Acesso em: 21 agos. 2014.

UVO, C.B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. 1989. 82 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1989.

FONTES CONSULTADAS

ALAGOAS. Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico. Maceió – Al: SEPLANDE, 2014. Disponível em: <http://www.seplande.al.gov.br/planejamento-e-orcamento/informacoes-e-conhecimento/produtos-e-publicacoes/estatisticas/anuario-estatistico/2011>. Acesso em: 21 ago. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: apresentação de citações em documentos: Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 14724**: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 6023**: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 6024**: numeração progressiva das seções de um documento: apresentação. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 6028**: resumos. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR 6027**: sumário. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 6024**: citações em documentos. Rio de Janeiro, 2002.

BASTOS, C. C.; FERREIRA, N. J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: INPE, 2000. p. 612-619. CD-ROM, Papel. (INPE-12473-PRE/7775). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1915/2005/03.15.19.20>>. Acesso em: 31 jan. 2008.

BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. **DSA - Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais**. [s.l.]: DAS, 2014. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/informacao/orbitas.jsp>. Acesso em: 12 ago. 2014.

CORDEIRO, E. S. et al. Análise e classificação termodinâmica dos casos com trovoadas nos anos de 2008, 2009 e 2010 no Estado de Alagoas. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 17., 2012, Gramado - RS. **Anais...** Gramado – RS: SBMET, 2012.

COUTINHO, M. D. L. **Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região tropical sul: validação e climatologia**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

FEDOROVA, Natalia. **Meteorologia sinótica**. Pelotas: Ed. Universitária da Universidade Federal de Pelotas, 2001. v. 2.

FERREIRA, A. G. ; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos – SP, v. 1. dez. 2005. p. 15-28. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/revistaabclima/article/view/25215/16909>. Acesso em: Acesso em: 12 ago. 2014.

FERREIRA, N.S. **Zona de convergência intertropical**. Fortaleza – CE: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, [2014]. Disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliensp10a/zcit_1.html. Acesso em: 13 ago. 2014.

GRID analysis and Display System GrADS: Overview of GrADS. Fairfax - EUA: Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies – COLA, [2014]. Disponível em: <http://iges.org/grads/> Acesso em: 12 ago. 2014.

METEOROLOGIA SINÓTICA: Teoria de Sutcliffe. São Paulo: Universidade de São Paulo: Instituto de astronomia, geofísica e ciências atmosféricas: Departamento de ciências atmosféricas, [2014]. Disponível em: <http://www.master.iag.usp.br/ensino/Sinotica/AULA06/AULA06.HTML>. Acesso em: 13 ago. 2014.

REDEMET - Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica. 2014. Disponível em: <http://www.redemet.aer.mil.br/#>. Acesso em: 21 ago. 2014.

SANTOS, D. M. B. Dos. Vórtices ciclônicos de médios níveis VCMN: uma análise de frequência e estrutura. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas – UFAL. 2012.b

SATELLITE Data. Washington - EUA: National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, [2014]. Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/satellite-data>. Acesso em: 12 ago. 2014.

SILVA, F. M. Da; CHAVES, M. S.; LIMA, Z. M. C. **Sistemas sinóticos e classificação climática**: Geografia Física II. Natal, RN: EDUFRN, 2009.

THUNDERSTORM. Wikipédia: a enciclopédia livre. 2014. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Thunderstorm> Acesso em: 13 ago. 2014

TROVOADA. Wikipédia: a enciclopédia livre. 2014. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Trovoada> Acesso em: 13 ago. 2014.

United States of America. NASA. Tropical Rainfall Measuring Mission. 2014. Disponível em: <http://science.nasa.gov/missions/trmm/>. Acesso em: 15 ago. 2014.

XAVIER, T. M. B. S. et al. A Zona de Convergência Intertropical – ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará 1964-98. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos – SP, v.15, n.1. jun. 2000. p. 27-43.

APÊNDICE A

Valores de índices de instabilidade CAPE+ e LI para os 161 eventos com trovoadas referentes aos sistemas sinóticos: VCAN, Cavado em Altos Níveis, ZCIT, Zona Frontal e VCMN.

VCAN		
EVENTOS	CAPE+	LI
17/01/1998	695,0	-3,0
21/01/1998	1562,0	-5,0
31/01/1998	1333,0	-4,0
10/03/1998	1140,0	-4,0
19/02/1999	1537,0	-5,0
11/03/1999	1611,0	-6,0
13/03/1999	1323,0	-3,0
18/03/1999	1465,0	-5,0
17/12/1999	647,0	-2,0
19/12/1999	707,0	-4,0
13/01/2000	1745,0	-6,0
20/01/2000	758,0	-2,0
21/01/2000	1686,0	-6,0
22/01/2000	1458,0	-6,0
23/01/2000	1136,0	-3,0
14/04/2000	1528,0	-4,0
29/03/2001	1347,0	-3,0
29/10/2001	1589,0	-5,0
09/12/2001	1341,0	-3,0
12/12/2001	1092,0	-3,0
13/12/2001	564,0	-3,0
23/12/2001	678,0	-2,0
28/12/2001	1613,0	-6,0
04/02/2002	1283,0	-5,0
06/02/2002	482,0	-1,0
13/02/2002	1080,0	-4,0
14/02/2002	1797,0	-6,0
26/12/2002	1336,0	-4,0
24/01/2003	1196,0	-4,0
29/01/2003	1349,0	-4,0
01/02/2003	1442,0	-5,0
19/02/2003	1947,0	-7,0
26/02/2003	1314,0	-5,0
15/03/2003	1224,0	-4,0
16/03/2003	1681,0	-6,0
14/12/2003	1360,0	-5,0

VCAN		
EVENTOS	CAPE+	LI
18/01/2004	1474,0	-4,0
27/01/2004	1520,0	-5,0
06/02/2004	1626,0	-6,0
29/02/2004	1054,0	-4,0
22/11/2004	1218,0	-5,0
29/12/2004	700,0	-2,0
19/01/2005	1008,0	-4,0
20/01/2005	1377,0	-5,0
15/02/2005	336,0	-1,0
24/03/2005	1663,0	-5,0
27/03/2005	1547,0	-5,0
27/05/2005	819,0	-3,0
19/12/2005	1824,0	-4,0
11/02/2006	902,0	-3,0
12/02/2006	1205,0	-4,0
18/03/2006	1507,0	-5,0
23/03/2006	2034,0	-8,0
01/04/2006	1308,0	-5,0
18/04/2006	759,0	-2,0
12/02/2007	709,0	-3,0
19/02/2007	1403,0	-6,0
20/02/2007	1718,0	-7,0
21/02/2007	1231,0	-5,0
23/02/2007	1396,0	-5,0
28/02/2007	1075,0	-5,0
11/03/2007	1536,0	-6,0
27/04/2007	673,0	-3,0
28/04/2007	1284,0	-4,0
30/04/2007	988,0	-3,0
30/01/2008	1600,0	-4,0
28/02/2008	1687,0	-4,0
29/02/2008	1972,0	-6,0
18/03/2008	1140,0	-3,0
19/03/2008	1484,0	-4,0
11/12/2008	1071,0	-4,0
12/12/2008	1319,0	-4,0
03/02/2009	1276,0	-4,0
12/01/2010	1937,0	-6,0
13/01/2010	1125,0	-4,0
17/01/2010	2001,0	-6,0
19/01/2010	1590,0	-7,0
20/01/2010	1477,0	-6,0
31/01/2010	1606,0	-5,0
07/02/2010	2028,0	-8,0

VCAN		
EVENTOS	CAPE+	LI
23/03/2010	1740,0	-6,0
25/03/2010	1529,0	-6,0
28/03/2010	1628,0	-5,0
13/12/2010	621,0	-3,0
12/01/2011	1172,0	-4,0
26/01/2011	1447,0	-4,0
30/01/2011	1481,0	-5,0
24/02/2011	1469,0	-5,0
25/02/2011	1728,0	-6,0
26/02/2011	1892,0	-6,0
09/04/2011	1116,0	-4,0
20/01/2012	1091,0	-5,0
21/01/2012	936,0	-3,0
09/02/2012	940,0	-4,0

CAVADO EM A.N.		
EVENTOS	CAPE+	LI
12/03/1998	1439,0	-5,0
08/04/1998	1908,0	-6,0
27/01/1999	1349,0	-4,0
04/05/1999	1590,0	-5,0
31/12/2001	1502,0	-5,0
12/01/2002	941,0	-3,0
19/03/2002	1899,0	-5,0
23/03/2002	1082,0	-4,0
10/04/2002	1134,0	-4,0
23/11/2002	1699,0	-5,0
12/01/2004	1327,0	-5,0
11/03/2004	1475,0	-4,0
12/03/2004	1226,0	-3,0
11/02/2005	1309,0	-4,0
28/03/2005	1783,0	-7,0
01/04/2005	1343,0	-5,0
05/12/2005	323,0	-1,0
06/12/2005	398,0	-1,0
26/03/2006	1201,0	-3,0
11/11/2006	311,0	-1,0
02/01/2007	1002,0	-3,0
15/02/2007	1462,0	-5,0
13/04/2007	1156,0	-4,0
24/04/2007	1470,0	-4,0
25/02/2008	782,0	-3,0

CAVADO EM A.N.		
EVENTOS	CAPE+	LI
26/02/2008	1700,0	-7,0
27/02/2008	1848,0	-5,0
09/03/2008	1068,0	-4,0
26/05/2009	1334,0	-4,0
27/05/2009	1294,0	-4,0
25/12/2009	2347,0	-9,0
26/12/2009	2360,0	-8,0
01/04/2010	1994,0	-7,0
07/04/2010	1409,0	-5,0
09/04/2010	1596,0	-6,0
04/01/2011	2092,0	-7,0
11/01/2011	1065,0	-4,0
05/03/2011	1000,0	-4,0
11/03/2011	1420,0	-5,0
25/03/2011	1336,0	-4,0

ZCIT		
EVENTOS	CAPE+	LI
14/03/2008	1475,0	-5,0
23/03/2008	1539,0	-6,0
26/03/2008	2176,0	-7,0
27/03/2008	1048,0	-5,0
06/05/2008	1504,0	-6,0
09/05/2008	1625,0	-4,0
14/03/2009	2149,0	-7,0
01/04/2009	1463,0	-5,0
09/04/2009	2017,0	-7,0
09/05/2009	1151,0	-4,0
05/03/2010	1214,0	-5,0
19/04/2011	1141,0	-3,0
29/04/2011	1095,0	-4,0
30/04/2011	1238,0	-5,0
02/05/2011	1351,0	-5,0

ZONA FRONTAL		
EVENTOS	CAPE+	LI
20/03/1999	1325,0	-4,0
27/11/1999	434,0	-2,0
09/11/2000	1201,0	-5,0
04/01/2002	1111,0	-5,0
10/04/2006	1695,0	-6,0
21/04/2006	983,0	-3,0

ZONA FRONTAL		
25/05/2008	1812,0	-6,0
20/10/2010	779,0	-3,0
21/10/2010	792,0	-3,0
22/10/2010	176,0	-1,0

VCMN		
EVENTOS	CAPE+	LI
19/11/2006	595,0	-3,0
09/12/2010	224,0	-1,0

ANEXO A

Screenshot da reportagem retratando prejuízos causados por trovoadas e precipitações intensas em Maceió, para o dia 19 de Janeiro de 2010.

Chuvas deixam ruas alagadas no Santa Lúcia

Baixar Programa Espião

syncsoft.com.br/Programa-Espiao

Programa Espião Para PC Instalação Grátis 100% indetectável




Priscylla Régia Internauta



Os moradores disseram que a situação se complicou há seis anos quando a Prefeitura calçou as ruas

A chuva que caiu nesta terça-feira, 19, em Maceió, causou transtornos aos moradores da Rua Acaraú, no bairro de Santa Lúcia. Segundos os moradores, a rua ficou alagada e o nível da água tomou conta até das calçadas.

"Hoje as ruas se transformaram em verdadeiros riachos e essa não é a primeira vez que acontece. Sempre temos problemas. Muitas casas, inclusive a minha, ficam inundadas. E à noite a coisa piora, temos que ficar de sentinelas para observar se o nível da água sobe. Tentamos colocar contenção nos portões, mas nem isso adianta", afirmou a moradora Maria Leila dos Santos.

Para conseguir atravessar a rua, a população tem que colocar os pés na água suja, correndo o risco de contaminação. De acordo com os moradores da Rua Acaraú, a situação se complicou há seis anos quando a Prefeitura de Maceió calçou a rua, sem fazer o saneamento básico.

Eles contam ainda que Prefeitura limpou as bocas de lobo, mas foram deixadas abertas em estado de erosão, deixando em risco crianças, pedestres e veículos.

"A rua foi calçada, mas as obras de saneamento nunca existiram. Com isso, as águas descem das outras ruas e ficam concentradas na Rua Acaraú e Rua Itararé - que são as últimas - por não haver vasão. Até o Aeroclube fica alagado com as chuvas. Além disso, os bueiros devolvem a água para a rua", contou o morador Jaildo Alves de Lima.

Os moradores relatam que os estragos são grandes durante as chuvas. Muitos moradores chegaram a perder móveis e eletrodomésticos. Com o problema, buracos estão sendo formados na Avenida Manoel Pereira Cavalcante, transversal com as ruas citadas.