



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

Nº de série: MET-UFAL-MS-098

DEYDILA MICHELE BONFIM DOS SANTOS

**VÓRTICES CICLÔNICOS DE MÉDIOS NÍVEIS (VCMN): UMA ANÁLISE
DE FREQUÊNCIA E ESTRUTURA**

DEYDILA MICHELE BONFIM DOS SANTOS

**VÓRTICES CICLÔNICOS DE MÉDIOS NÍVEIS (VCMN): UMA ANÁLISE DE
FREQUÊNCIA E ESTRUTURA**

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.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Natalia Fedorova
Orientador: Prof.^o Dr.^o Vladimir Levit

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

S237v Santos, Deydila Michele Bonfim dos.
Vórtices ciclônicos de médios níveis (VCMN): uma análise de frequência e estrutura. - 2012.
95 f. : il., grafs. tabs.

Orientadora: Natalia Fedorova. Co-
Orientador: Vladimir Levit.
Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) -
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2012.

Bibliografia: f. 83-87.
Anexos: f. 88-95.

1. Precipitação (Meteorologia). 2. Vórtice ciclônico de médios níveis. 3. Oceano Atlântico. 3. Previsão do Tempo. I. Título.

CDU: 551.515.2 (1-928.8)



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

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-098.

*“VÓRTICES CICLÔNICOS DE MÉDIOS NÍVEIS (VCMN): UMA ANÁLISE DE
FREQUÊNCIA E ESTRUTURA.”*

Deydila Michele Bonfim dos Santos

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.ª Dr.ª Natalia Fedorova
(Orientadora)

Prof. Dr. Vladimir Levit
(Orientador)

Prof.ª Dr.ª Maria Luciene Dias de Melo
(Membro Interno)

Prof. Dr. Nelson Jesus Ferreira
(Membro Externo - INPE)

Maio/2012

Aos meus pais Dalvani e Pedro e aos meus avôs Irene e Luiz (*In memoriam*), pelo amor e dedicação que me acompanham por toda minha caminhada.

Ao meu esposo Márcio, pelo amor e apoio.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, e por sua graça expressa através do seu filho Jesus.

Agradeço a minha família pelo apoio em todas as decisões tomadas, pelo amor e dedicação. Em especial aos avôs mais lindos do mundo, Irene e Luiz (*In memoriam*), que tanto amo. Como também aos meus pais, Dalvani e Pedro e ao meu amado esposo Márcio Segundo.

Ao Aloísio Tito, que incentivou a continuação da minha vida acadêmica.

Ao meu amigo Márcio Silveira, pelos momentos compartilhados, e aos demais alunos da turma.

Aos meus orientadores Natalia Fedorova e Vladimir Levit, pela contribuição e amizade.

Aos professores que convivi ao longo do curso, que transmitiram uma porção dos seus conhecimentos.

À banca examinadora, pelas contribuições.

RESUMO

Os Vórtices Ciclônicos de Médios Níveis (VCMN) foram selecionados entre os níveis de 400 a 700 hPa, na região tropical do Atlântico Sul. Foram identificados e analisados usando os dados de reanálise (linhas de corrente) do NCEP (Centros Nacionais de Previsão Ambiental), em 9 níveis de pressão, para os anos de 2008, 2009 e 2010, contabilizando em média 39.420 imagens. As análises de frequência, localização e duração dos VCMN durante três anos (2008, 2009 e 2010) foram o principal objetivo deste estudo. Foram observados 696 casos durante os três anos, o número mínimo foi de 204 no ano de 2010 e o máximo de 248 no ano de 2008. Eles foram localizados predominantemente sobre o oceano na faixa entre 6°S -18°S. As menores frequências de VCMN foram observadas na primavera e no inverno (21,3% e 25,9% respectivamente) e a estação com maior frequência foi o verão (26,6%), notando-se pouca variabilidade sazonal. Em 70,7% dos casos os VCMN tiveram uma curta duração, entre 6-12 horas. Nos estudos de casos, foram observados núcleos de vorticidade potencial de -0,5 e -1,0 UVP na região do VCMN e vorticidade ciclônica fraca. O VCMN esteve associado a sistemas de grande escala, tais como: ZCIT, ZCAS e CJS.

Palavras-chave: Vórtice ciclônico de médios níveis. Previsão do tempo. Oceano Atlântico.

ABSTRACT

Middle Tropospheric Cyclonic Vortexes (MTCV) were observed only in middle atmosphere (between 700 and 400 hPa) in tropical region of the Southern Atlantic. Analysis of frequencies, localization and duration of the MTCVs during three years (2008, 2009 and 2010) were the principal study goal. The MTCV were identified and analyzed using NCEP (National Centers for Environmental Prediction) reanalysis data (stream lines), on 9 patterns levels; a total of 39420 image maps. The 696 MTCV were observed during three years; minimal number was 204 in 2010 and maximal 248 in 2008. They were located mainly over the ocean in the range between 6° S -18° S. Lower frequencies of MTCV are observed in spring and winter (21.3% and 25.9% respectively) and the season with more frequency was the summer (26.6%); it is noted little seasonal variability. The MTCV duration was short, between 6 and 12hours in 70,7% of events. In the case studies, were observed a potential vorticity center of -0.5 and -1.0 PVU in the region of MTCV, weak cyclonic vorticity. The MTCV was associated with large scale systems, such as ITCZ, SACZ and CJS.

Keywords: Middle tropospheric cyclonic vortexes. Weather forecast. Atlantic Ocean

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Secções da estrutura vertical das altas e baixas pressões simétricas.	19
Figura 2 - Ciclo de vida dos ciclones extratropicais (HN).	20
Figura 3 - Esquema de formação para o VCAN do tipo Palmer clássico sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul.....	22
Figura 4 - Ilustração esquemática da estrutura vertical de um VCAN.....	22
Figura 5 - Conservação de vorticidade potencial para movimentos adiabáticos.....	24
Figura 6 - Secção vertical da média zonal da vorticidade potencial de Ertel, em UVP (linhas tracejadas) e temperatura potencial, em K (linhas sólidas), em (a) janeiro e (b) julho.....	25
Figura 7 - Escoamentos circularmente simétricos induzidos por anomalias isoladas de vorticidade potencial isentrópica (região pontilhada) em altos níveis. Linha mais forte representa a tropopausa. Linhas finas transversais correspondem ao vento azimutal, com espaçamento de 3 m s-1. Linhas finas acima e abaixo da tropopausa, seguindo seu contorno (a não ser na região de anomalia) correspondem a isotermas, espaçadas a cada 5 K. A isotaca de zero no eixo de simetria foi omitida. O sentido da circulação do vento azimutal é ciclônico em (a) e anticiclônico em (b), com contorno de isotaca máxima de 21 m s-1 (continua).....	26
Figura 8 - Representação esquemática da estrutura vertical da anomalia de vorticidade potencial isentrópica para (a) anomalia ciclônica e (b) anomalia anticiclônica. O sinal (+) / (-) refere-se ao vento “saindo” / “entrando” do plano do papel no caso do HS, e o oposto no HN.....	27
Figura 9 - Distribuição climatológica da vorticidade potencial (áreas coloridas) e de a temperatura potencial (linhas pretas em intervalos de 5 K). A superfície de 1,5 UVP (tropopausa dinâmica) é mostrada em vermelho. Este gráfico foi produzido a partir de análises do ECMWF pela média de 10 temporadas de inverno (1986-1995) no fluxo zonal. (A partir do trabalho de F. Lalaurette, Meteo-France).....	28
Figura 10 - Esquema da quebra da onda de Rossby sobre o oceano Atlântico Sul na superfície isentrópica de 350 K. O contorno grosso representa a tropopausa.	29
Figura 11 - Domínio da grade de análise dos casos de VCMN.....	34

Figura 12 - Precipitação acumulada anual (mm).....	35
Figura 13 - Representação gráfica das quatro regiões El Niño.	39
Figura 14 - Localização e tempo de vida dos VCMN em 2010, com duração igual ou superior a 18 horas.....	53
Figura 15 - Localização e tempo de vida dos VCMN em 2009, com duração igual ou superior a 18 horas.....	54
Figura 16 - Localização e tempo de vida dos VCMN em 2008, com duração igual ou superior a 18 horas.....	55
Figura 17 - Localização e tempo de vida dos VCMN para o verão de 2008, 2009 e 2010, com duração igual ou superior a 18 horas.	56
Figura 18 - Localização e tempo de vida dos VCMN para o outono de 2008, 2009 e 2010, com duração igual ou superior a 18 horas.	57
Figura 19 - Localização e tempo de vida dos VCMN para o inverno de 2008, 2009 e 2010, com duração igual ou superior a 18 horas.	58
Figura 20 - Localização e tempo de vida dos VCMN para a primavera de 2008, 2009 e 2010, com duração igual ou superior a 18 horas.	59
Figura 21 - Campos compostos da vorticidade reativa ($\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$) e escoamento em 700 hPa, para: (a)12/06/2008 às 18UTC, (b)13/06/2008 às 12UTC e (c)14/06/2008 às 12UTC.	61
Figura 22 - Posicionamento médio e deslocamento dos VCMN, no período de 12 a 14 de junho de 2008.	62
Figura 23 - Imagem do satélite Meteosat - 9 para o dia 12/06/2008 às 18UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV.....	63
Figura 24 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 13/06/2008 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS.....	63
Figura 25 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 14/06/2008 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS.....	64
Figura 26 - Campos compostos de divergência horizontal ($\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$) e escoamento em 700 hPa, para: (a)12/06/2008 às 18UTC, (b)13/06/2008 às 12UTC e (c) 14/06/2008 às 12UTC.....	66
Figura 27 - Seção vertical de ômega (Pa/s) em 11°S (a), 9°S (b), 8°S (c) de latitude para: 12/06/2008 às 18UTC, 13/06/2008 às 12UTC e 14/06/2008 às 12UTC, respectivamente. As setas indicam: ↑ movimentos ascendentes e ↓ movimentos descendentes.	67

Figura 28 - Secção vertical em coordenada vertical de pressão, da temperatura potencial (K, em verde) e vorticidade potencial de Ertel (UVP, em preto) para: (a) 12/06/2008 às 18 UTC em 33°W; (b) 13/06/2008 às 12 UTC em 26°W; (c) 14/06/2008 às 12UTC em 29°W. A estrela em azul marca o centro do VCMN.	68
Figura 29 - Secção vertical em coordenada vertical de pressão, da temperatura potencial (K, em verde) e vorticidade potencial de Ertel (UVP, em preto) para: (a) 12/06/2008 às 18 UTC em 11°S; (b) 13/06/2008 às 12 UTC em 9°S; (c) 14/06/2008 às 12UTC em 8°S. A estrela em azul marca o centro do VCMN.....	69
Figura 30 - Campos compostos da vorticidade relativa ($\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$) e escoamento em 700 hPa, para: (a) 10/03/2009 às 12UTC, (b) 11/03/2009 às 12UTC, (c) 12/03/2009 às 12UTC e 13/03/2009 às 12UTC.....	70
Figura 31 - Posicionamento médio e deslocamento dos VCMN, no período de 10 a 13 de março de 2009.....	71
Figura 32 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 10/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS.....	71
Figura 33 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 11/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS.....	72
Figura 34 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 12/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS.....	73
Figura 35 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 13/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS.....	74
Figura 36 - Campos compostos de divergência horizontal ($\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$) e escoamento em 700 hPa, para: (a)10/03/2009 às 12UTC, (b) 11/03/2009 às 12UTC, (c) 12/03/2009 às 12UTC e 13/03/2009 às 12UTC.....	76
Figura 37 - Seção vertical de ômega (Pa/s) em 11°S (a), 11°S (b), 9°S (c) e 11°S de latitude, para os dias 10/03/2009 (a), 11/03/2009 (b), 12/03/2009 (c) e 13/03/2009 todos às 12 UTC. As setas indicam: ↑ movimentos ascendentes e ↓ movimentos descendentes.	77
Figura 38 - Secção vertical em coordenada vertical de pressão, da temperatura potencial (K, em verde) e vorticidade potencial de Ertel (UVP, em preto) para: (a) 10/03/2009 às 12 UTC em 27 °W; (b) 11/03/2009 às 12 UTC em 30 °W; (c) 12/03/2009 às 12 UTC em 36°W; e (d) 13/03/2009 às 12 UTC em 31°W. A estrela em azul marca o centro do VCMN.....	78

Figura 39 - Secção vertical em coordenada vertical de pressão, da temperatura potencial (K, em verde) e vorticidade potencial de Ertel (UVP, em preto) para: (a) 10/03/2009 às 12 UTC em 11°S; (b) 11/03/2009 às 12 UTC em 11°S; (c) 12/03/2009 às 12 UTC em 09°S; e (d) 13/03/2009 às 12 UTC em 11°S. A estrela em azul marca o centro do VCMN..... 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela modelo de registro dos VCMN.....	40
Tabela 2 - Número de casos de VCMN e condições de EL Niño (EN) / La Niña (LN) e eventos de neutralidade (N), observados no setor do Niño 4.....	60
Tabela 3 - Distribuição vertical do VCMN, no período de 12 a 14 de junho de 2008.....	65
Tabela 4 - Distribuição vertical do VCMN, no período de 10 a 13 de março de 2009.....	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Frequência e número de VCMN mensal para os anos analisados.	41
Gráfico 2 - Frequência e número de VCMN mensal para o ano de 2010.	42
Gráfico 3 - Frequência e número de VCMN mensal para o ano de 2009.	42
Gráfico 4 - Frequência e número de VCMN mensal para o ano de 2008.	43
Gráfico 5 - Percentual e número de VCMN por estação, em todo o período de estudo.	44
Gráfico 6 - Percentual e número de VCMN por estação, para o ano de 2010.	44
Gráfico 7 - Percentual e número de VCMN por estação, para o ano de 2009.	45
Gráfico 8 - Percentual e número de VCMN por estação, para o ano de 2008.	45
Gráfico 9 - Duração dos VCMN, por faixa, para todo o período de análise.	46
Gráfico 10 - Duração dos VCMN, por faixa, para o ano de 2010.	46
Gráfico 11 - Duração dos VCMN, por faixa, para o ano de 2009.	47
Gráfico 12 - Duração dos VCMN, por faixa, para o ano de 2008.	47
Gráfico 13 - Número de casos por mês e tempo de vida dos VCMN, sendo a soma dos anos de 2010, 2009 e 2008.	48
Gráfico 14 - Número de casos por mês e tempo de vida dos VCMN no ano de 2010.	48
Gráfico 15 - Número de casos por mês e tempo de vida dos VCMN no ano de 2009.	49
Gráfico 16 - Número de casos por mês e tempo de vida dos VCMN no ano de 2008.	49
Gráfico 17 - Percentual de casos de VCMN por estação e duração, sendo a soma dos anos de 2010, 2009 e 2008.	50
Gráfico 18 - Percentual de casos de VCMN por estação e duração no ano de 2010.	51
Gráfico 19 - Percentual de casos de VCMN por estação e duração no ano de 2009.	51
Gráfico 20 - Percentual de casos de VCMN por estação e duração no ano de 2008.	52

LISTA DE ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
AJM	Agência Japonesa de Meteorologia
AL	Alagoas
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CAN	Cavados de Altos Níveis
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CJBN	Corrente de Jato de baixos níveis
CJS	Corrente de Jato Subtropical
CJNEB	Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro
CPD	Centro de previsão de Clima (Climate Prediction Center)
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DJF	dezembro, janeiro fevereiro
E	Leste
EN	El Niño
GrADS	Grid Analysis and Display System
GOES	Satélite Meteorológico Geoestacionário
HS	Hemisfério Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	Infravermelho
JJA	junho, julho, agosto
LN	La Niña
LAT	Latitude
LC	Linhas de Corrente
LIS	Linhas de instabilidade
LON	Longitude
MAM	março, abril, maio
N	Norte
NCAR	Centro Nacional de Pesquisas Atmosférica (National Center for Atmospheric Research)

NCEP	Centros Nacionais de Previsão Ambiental (National Centers for Environmental Prediction)
NE	Nordeste
NEB	Nordeste do Brasil
NESDIS	Serviço de satélite e informação da NOAA
NW	Noroeste
Θ	Temperatura Potencial
OL	Ondas de leste
POAS	perturbações ondulatórias no campo dos Alísios
UVP	unidade de vorticidade potencial (potential vorticity unit)
S Sul	
SE	Sudeste
SF	sistemas frontais
SON	setembro, outubro, novembro
SW	Sudoeste
TSM	temperatura da superfície do mar
VCAN	Vórtice Ciclônico em Altos Níveis
VCMN	Vórtice Ciclônico de Médios Níveis
VIS	Visível
VPI	Vorticidade Potencial Isentrópica
W	Oeste
WV	Vapor d'água
ZCAS	Zona de Convergência da América do Sul
ZCIT	Zona de convergência intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Ciclone Térmico	19
2.2	Ciclones Frontais ou Baroclínicos	19
2.3	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN)	20
2.4	Vorticidade	22
2.5	Ondas de Rossby	28
2.6	Principais sistemas que influenciam no NEB	30
3	METODOLOGIA E DADOS	34
3.1	Área de estudo	34
3.1.1	A Região Nordeste do Brasil (NEB).....	34
3.2	Dados.....	35
3.2.1	Dados de reanálise do NCEP	36
3.2.2	Imagem de satélite	38
3.2	Identificação dos VCMN	39
4	RESULTADOS	41
4.1.1	Frequências e distribuição mensal dos VCMN	41
4.1.2	Frequências e distribuição sazonal dos VCMN.....	43
4.1.3	Duração dos VCMN	45
4.2	Distribuição espacial.....	52
4.2.1	Distribuição espacial anual.....	52
4.2.2	Distribuição espacial por estação	55
4.3	VCMN nos anos de La Niña e El Niño.....	59
4.4	Localizações de VCMN pela altura	60
4.5	Estudo de casos.....	60
4.5.1	Caso 1- 12/06/2008 às 18 UTC até 14/06/2008 às 12UTC.....	61
4.5.1.1	Identificação e deslocamento	61
4.5.1.2	Estrutura e movimentos verticais	65
4.5.2	Caso 2- 10/03/2009 às 12 UTC até 13/03/2009 às 12 UTC.....	69
4.5.2.1	Identificação e deslocamento	69
4.5.2.2	Estrutura e movimentos verticais	75

5	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS	83
	ANEXOS	88
	Anexo A - Posição dos centros dos VCAN, com a indicação dos dias de atuação sobre a América do Sul, de janeiro de 2008 a dezembro de 2010.	89

1 INTRODUÇÃO

As relações da sociedade atual com o meio ambiente se tornaram muito mais complexas e por isso podemos ser mais seriamente afetados com as mudanças que ocorrem na atmosfera. O tempo pode nos afetar de diversas maneiras. A abrangência da área de Meteorologia e seus impactos nas diversas atividades humanas são marcantes.

O desenvolvimento da área de Meteorologia está atrelado ao desenvolvimento tecnológico e científico, visto que para elaborar uma previsão, a quantidade de fórmulas, cálculos, parametrizações e dados trabalhados é enorme, e a qualidade da previsão também depende do desenvolvimento de pesquisas. Todos os seguimentos da sociedade podem se beneficiar dessa evolução. Há de se ressaltar a importância de se obter dados confiáveis, com a maior abrangência possível de redes/fontes, e por consequência produtos com melhor qualidade a fim de suprir a exigência cada vez maior dos usuários.

Visando ampliar a gama de pesquisa na área de sistemas sinóticos, e aprimorar a previsão do tempo no NEB, várias pesquisas têm sido desenvolvidas, viabilizando uma ampliação do conhecimento nessa área.

No estudo dos principais sistemas sinóticos e de mesoescala, os quais determinam as condições do tempo, direta ou indiretamente, no nordeste brasileiro (NEB), foi observada a influência dos vórtices de médios níveis (VCMN). Conforme analisado por Carvalho (2004) e Fedorova et al.(2006) esse sistema estava associado a zonas frontais e segundo Pontes da Silva (2008) e Pontes da Silva et al. (2011) estava associado a precipitações iguais ou superiores a 5,0mm em Alagoas, além de serem observadas ligação dos VCMN e correntes de Jato de Baixos Níveis (CJBN).

Tendo em vista a melhoria na qualidade da previsão do tempo no NEB, foi despertada a necessidade do estudo do VCMN. Baseado nas citações acima foi observado que esse sistema exerce alguma influência sobre a região, mas não foram encontrados estudos mais específicos sobre o mesmo. Visto que métodos eficientes de previsão se baseiam a partir do conhecimento prévio de sistemas e mecanismos de formação de certos fenômenos adversos.

Para dar início ao conhecimento deste sistema, visto a ausência de informação sobre aparecimentos dos VCMN, o objetivo principal deste trabalho foi analisar sua frequência, duração, distribuição espacial e sazonal durante 3 anos. Os casos de VCMN típicos foram analisados, usando vorticidade potencial, bem como sua estrutura dinâmica de gênese até dissipação e, conseqüentemente, foi avaliada sua influência no tempo do NEB.

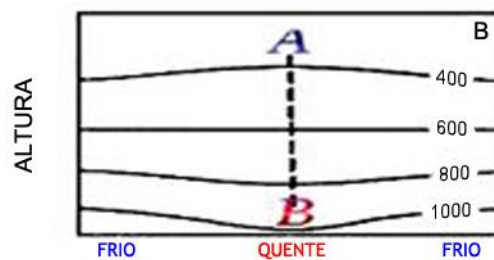
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão apresentadas algumas definições e trabalhos relativos ao estudo de vórtices ciclônicos, utilização de análise isentrópica e seus efeitos sobre o NEB.

2.1 Ciclone Térmico

Os ciclones quentes enfraquecem com a altura (Figura 1), podem ser substituídos por anticiclone nos níveis altos da atmosfera e são mais observados no verão sobre superfícies quentes. Esse tipo de ciclone é observado somente nos baixos níveis, quando o aquecimento próximo da superfície é maior que em outras regiões, podendo ser chamado de baixa quente, ciclone térmico, ciclone local ou ciclone de baixos níveis (FEDOROVA, 2001).

Figura 1 - Secções da estrutura vertical das altas e baixas pressões simétricas.

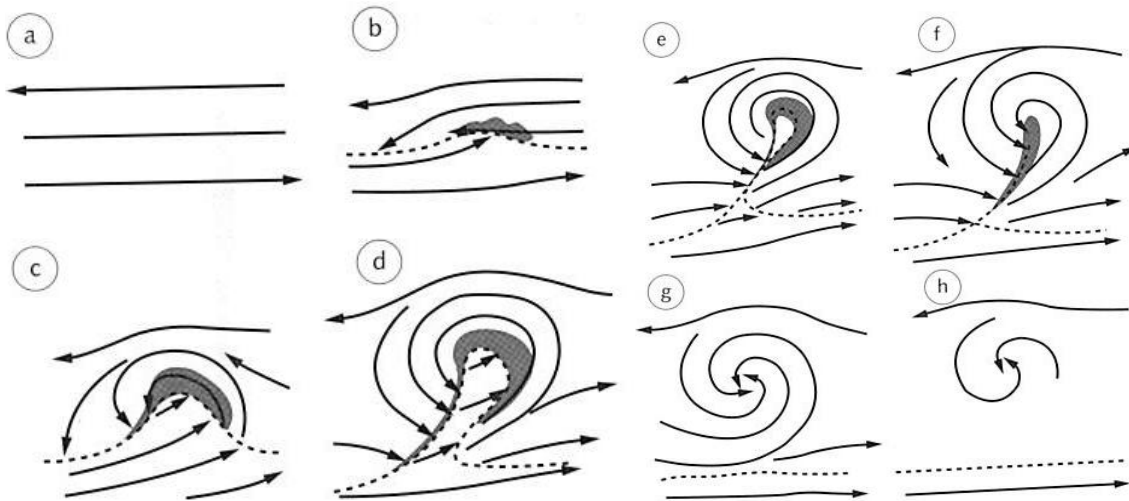


Fonte: VIANELLO, 1991.

2.2 Ciclones Frontais ou Baroclínicos

O primeiro modelo conceitual mais realístico dos ciclones extratropicais surgiu após a primeira guerra mundial, elaborado por Bjerknes (1919) e aperfeiçoado por Bjerknes e Solberg (1922), o qual continua aceito até hoje. Nesse, estabelecia que os ciclones extratropicais se formam ao longo de uma linha de descontinuidade, rotulada de frente polar (área de separação entre uma massa de origem polar e outra de origem tropical). Eles descreveram também que os ciclones tinham seu ciclo de vida bem definido (Figura 2), iniciando como uma onda, se intensificando até o estágio maduro e decaindo após a oclusão.

Figura 2 - Ciclo de vida dos ciclones extratropicais (HN).



Fonte: BJERKNES e SOLBERG, 1922 APUD CAVALCANTI, *et al.*, 2009.

2.3 Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN)

O VCAN é definido como sistema de baixa pressão em grande escala, formado na alta troposfera e cuja circulação ciclônica fechada possui o centro mais frio que sua periferia (GAN, 1982). Os VCAN são também conhecidos por baixas frias.

Os pioneiros no estudo sobre vórtices ciclônicos de altos níveis foram Palmén (1949), Palmer (1951) e Frank (1966), os quais fizeram suas observações para o Hemisfério Norte. Já no Hemisfério Sul, na região do Atlântico Sul Tropical, os primeiros estudos observacionais foram elaborados por Dean (1971) e Aragão (1975).

Gan e Kousky (1986) observaram que os VCAN originam-se sobre o Oceano Atlântico entre a faixa de $20^{\circ} - 45^{\circ}W$ e $0^{\circ} - 28^{\circ}S$, e ao penetrar no Brasil produz chuvas no setor norte do Nordeste e ausência de chuvas na região sul e central do Nordeste.

Como proposto por Aragão (1975), os VCAN sobre o NEB estendem-se desde o nível de 700 hPa até o nível de 300 hPa. Contudo, Valverde Ramírez (1996) em seu estudo sobre os padrões de circulação associados aos VCAN sobre o NEB e Atlântico tropical, no período de janeiro de 1980 a dezembro de 1989, constatou que geralmente os VCAN estendem-se para baixo até 500 hPa e que raramente alcançam o nível de 700 hPa. Ainda nesse estudo foram

observados que o tempo de vida médio desse sistema é de 7,1 dias e sua máxima vorticidade ciclônica é observada no nível de 200 hPa e um centro frio em 300 hPa.

Esses sistemas podem ser classificados em dois tipos, conforme o lugar e época de sua formação. Os do tipo *Palmer*, originam-se em latitudes tropicais e são mais frequentes no verão, sendo encontrados no NEB. Os do tipo *Palmém*, formam-se em latitudes subtropicais e são comumente observados no inverno e na primavera. Na literatura, são conhecidos como vórtices desprendidos (GAN, 1982).

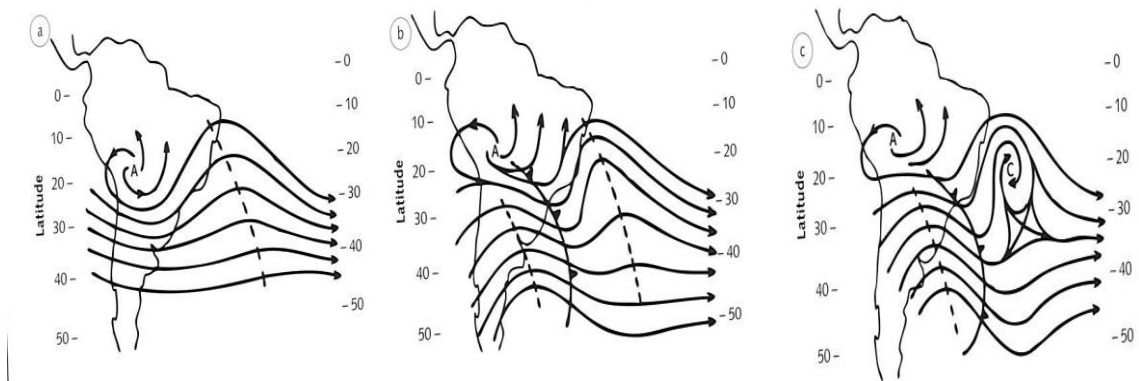
Ao analisar o campo de vento derivado de dados de reanálise do NCEP, Paixão e Gandu (2000), classificaram os VCAN em quatro tipos quanto a sua formação: Clássica, Alta, Africana I e Africana II.

Segundo Gan (1982), os vórtices são observados nos meses de setembro a abril. Gan (1986) observou que os VCAN se formam com maior frequência no período do verão do Hemisfério Sul, sendo o mês de janeiro aquele em que o fenômeno é mais comumente observado.

Kousky e Gan (1981) encontraram vórtice ciclônico sobre o Nordeste do Brasil e utilizaram dados convencionais para determinar o comportamento desses e seu mecanismo de formação.

Conforme apresentado na figura 3, o VCAN de formação clássica se origina devido à intensificação da crista associada à Alta da Bolívia (AB) e, conseqüentemente, do cavado a leste, formando em última instância um vórtice ciclônico sobre o Atlântico, decorrentes de incursão de sistemas frontais para latitudes baixas como sugerido por Kousky e Gan (1981).

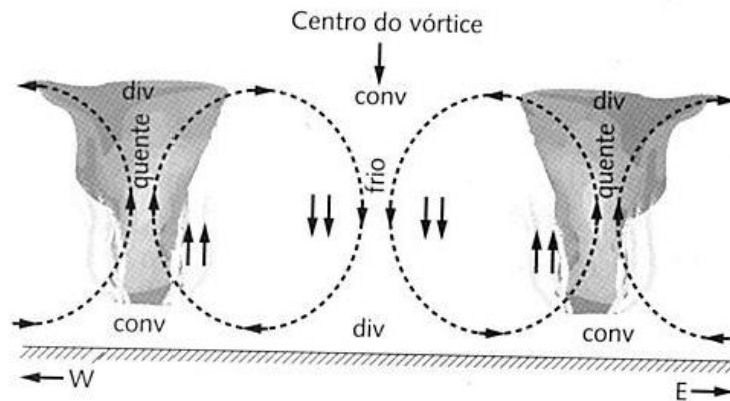
Figura 3 - Esquema de formação para o VCAN do tipo Palmer clássico sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul.



Fonte: KOUSKY e GAN, 1981.

Quanto à estrutura vertical apresentada na figura 4, observam-se na periferia movimentos ascendentes e formação de nuvens e no centro movimentos descendentes proporcionando o transporte de ar frio e seco de altos para médios níveis. Sendo caracterizado do ponto de vista de termodinâmico por uma circulação direta, onde o ar quente sobe e o ar frio desce.

Figura 4 - Ilustração esquemática da estrutura vertical de um VCAN.



Fonte: KOUSKY e GAN, 1981.

2.4 Vorticidade

Rossby em 1939 foi o primeiro a apresentar o conceito de vorticidade potencial (P), no qual em uma atmosfera barotrópica a vorticidade absoluta (ζ_a) de uma coluna material de um

fluido é conservada seguindo seu movimento horizontal. Já em uma atmosfera adiabática e sem fricção, ζ_a é conservada entre duas superfícies isentrópicas.

Ertel em 1942 estendeu os resultados encontrados por Rossby, expressando a conservação de P em três dimensões, para um movimento adiabático e livre de efeitos de fricção, seguindo a trajetória da parcela, conforme expressão:

$$P = \frac{\eta}{\rho} \cdot \nabla \theta = \text{cte}$$

Sendo η a vorticidade absoluta tridimensional, ρ a massa específica e θ a temperatura potencial.

O Teorema da Vorticidade Potencial de Ertel é demonstrado em detalhes em Lemes e Moura (1998).

A vorticidade potencial isentrópica é dada pela equação (Holton, 1992):

$$VPI = (\zeta_\theta + f) \left(-g \frac{\partial \theta}{\partial p} \right)$$

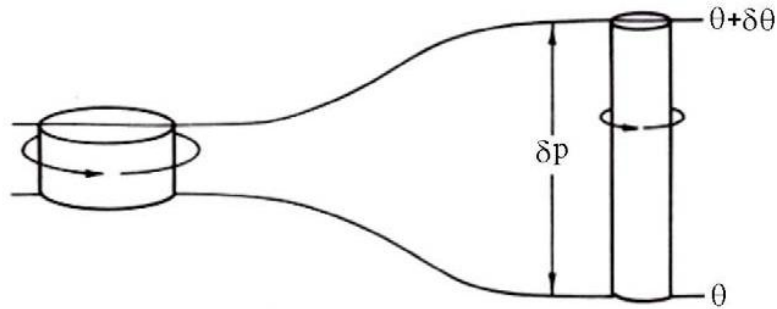
Em que ζ_θ é a vorticidade relativa isentrópica, f é a força de coriolis, g é a aceleração da gravidade, θ é a temperatura potencial, p é a pressão.

A equação mostra que em escoamentos sem atrito e adiabáticos P é conservada. A vorticidade potencial é uma medida da razão entre a vorticidade e a profundidade efetiva do vórtice (Figura 5). Para um fluido homogêneo ($\rho = \text{constante}$) e incompressível ($d\rho/dt = 0$), a área horizontal da parcela deve ser inversamente proporcional a profundidade ou $\delta A = M(\rho \delta z)^{-1} = \text{constante}/\delta z$, (Satyamurty, 2004).

Portanto a conservação da vorticidade potencial traduz-se em:

$(\zeta + f)/\delta z = \text{constante}$, onde ζ é avaliada na superfície horizontal (Satyamurty, 2004).

Figura 5 - Conservação de vorticidade potencial para movimentos adiabáticos.



Fonte: SATYAMURTY, 2004.

Para escoamentos em escala sinótica em latitudes médias, tipicamente,

$\partial\theta/\partial p \sim -10\text{K} / 100\text{ hPa}$. Assim, um valor característico de VPI é da ordem de:

$$\begin{aligned} \text{VPI} &\approx - (10\text{ m s}^{-2}) (10^{-4}\text{ s}^{-1}) (-10\text{K}/100\text{mb}) (1\text{ kPa} / 10^3\text{ kg m s}^{-2}\text{ m}^{-2}) \\ &= 10^{-6}\text{ m}^2\text{ s}^{-1}\text{ K kg}^{-1} = 1\text{ UVP} \end{aligned}$$

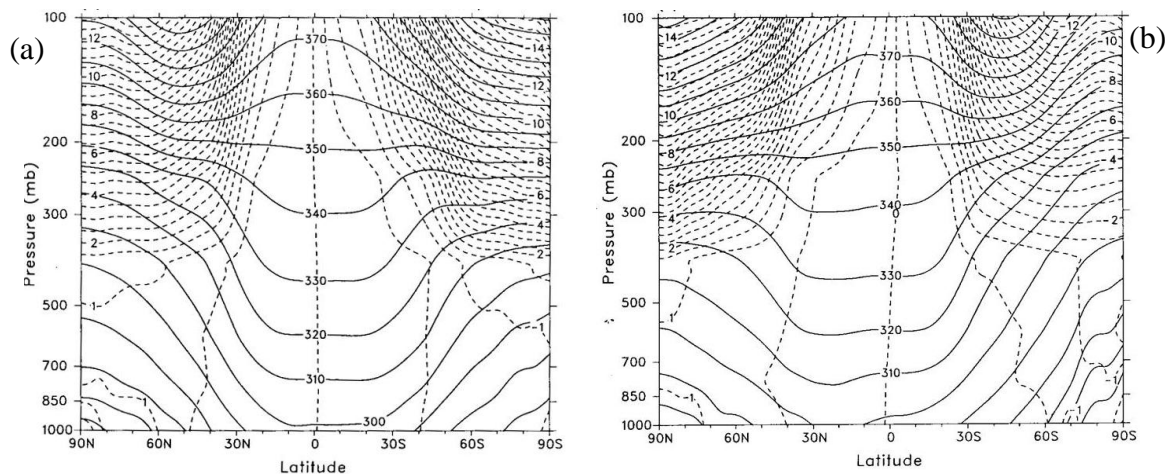
Onde: UVP = unidade de vorticidade potencial (potencial vorticity unit).

Segundo Lemes e Moura (2002), possivelmente a propriedade mais importante por trás do conceito da vorticidade potencial é que ela pode ser usada para identificar massas de ar com respeito a sua origem. Valores menores (em módulo) que 1,5 a 2,0 UVP são associados ao ar troposférico, enquanto altos valores de UVP ao ar estratosférico. A definição da tropopausa em termos da vorticidade potencial é possível com a identificação do valor 2,0 UVP, o qual determina a chamada tropopausa dinâmica. Entretanto Bell e Keyser (1993) e Hakim et.al. (1995) consideram a superfície de 1,5 UVP como sendo a tropopausa dinâmica. A escolha do valor da tropopausa dinâmica, já havia sido discutida anteriormente por Danielsen e Hipskind (1980) que indicaram que valores entre 1,0 e 2,0 UVP podem ser encontrados na literatura.

Grande parte dos autores sugere como representação média da tropopausa dinâmica os valores entre -1,5 a -2,0 UVP no HS, caracterizando essa superfície como uma interface entre duas regiões com massas de ar de características distintas.

As Figuras 6a e 6b mostram o perfil vertical e latitudinal médio da vorticidade potencial de Ertel e temperatura potencial na troposfera e baixa estratosfera. Nota-se que a superfície de 350 K fica próximo a superfície isobárica de 200 hPa em todas as latitudes. As outras superfícies isentrópicas mostram uma forte dependência com a pressão e latitude (TOMAS e WEBSTER, 1994).

Figura 6 - Secção vertical da média zonal da vorticidade potencial de Ertel, em UVP (linhas tracejadas) e temperatura potencial, em K (linhas sólidas), em (a) janeiro e (b) julho.

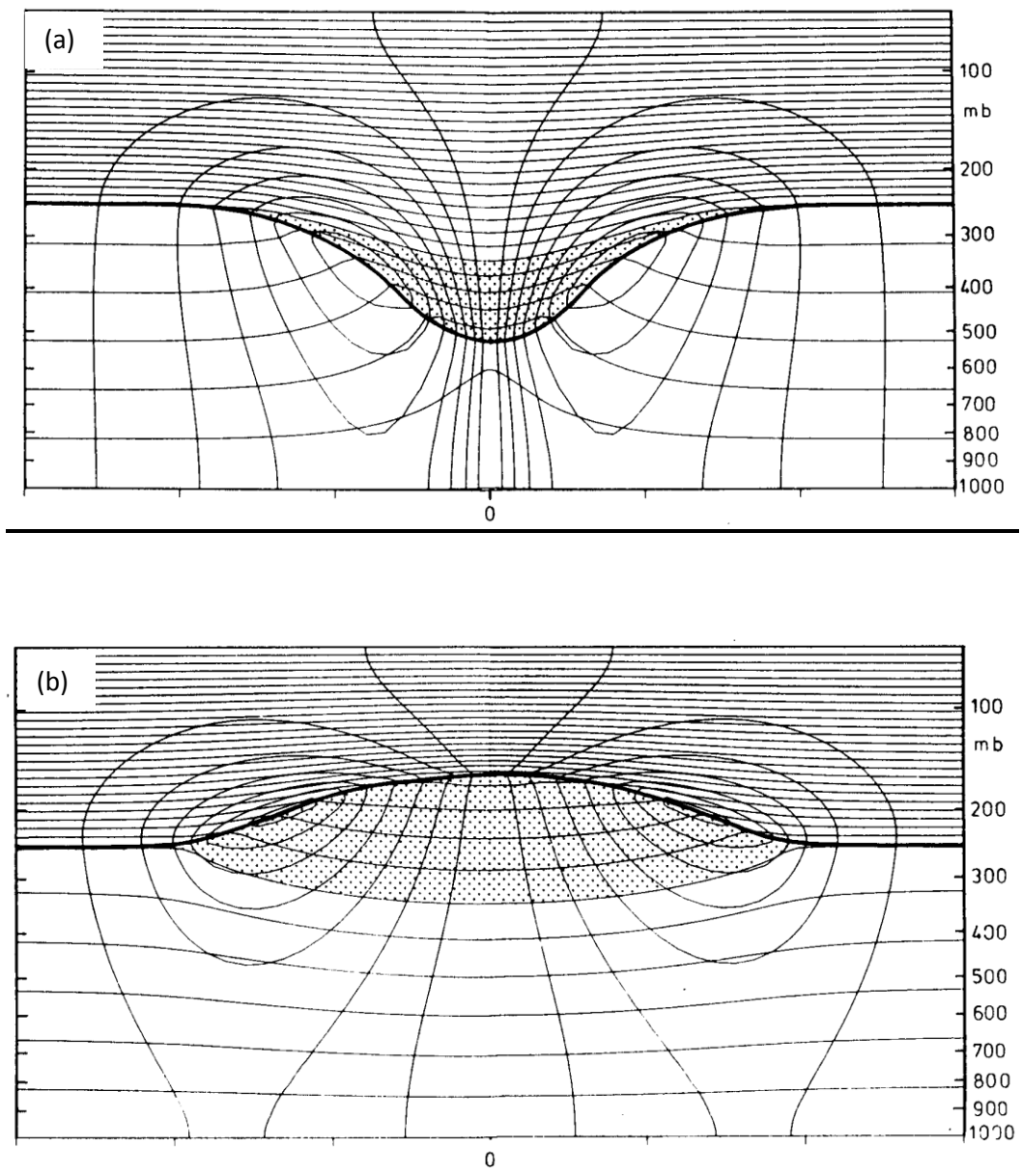


Fonte: BLUESTEIN, 1992

A utilização da vorticidade potencial isentrópica é importante por ser uma propriedade conservativa e também as observações indicam que os distúrbios tendem a seguir melhor as superfícies isentrópicas do que as superfícies isobáricas. (Tomas e Webster, 1994). De tal maneira pode ser usada como traçadora da origem das massas de ar (Mattos, 2003).

A Figura 7 apresenta circulações simétricas sobre uma anomalia de vorticidade potencial isentrópica em altos níveis, onde a Figura 7a representa o escoamento induzido por uma anomalia ciclônica de VPI e a Figura 7b uma anomalia anticiclônica de VPI.

Figura 7 - Escoamentos circularmente simétricos induzidos por anomalias isoladas de vorticidade potencial isentrópica (região pontilhada) em altos níveis. Linha mais forte representa a tropopausa. Linhas finas transversais correspondem ao vento azimutal, com espaçamento de 3 m s^{-1} . Linhas finas acima e abaixo da tropopausa, seguindo seu contorno (a não ser na região de anomalia) correspondem a isothermas, espaçadas a cada 5 K . A isotaca de zero no eixo de simetria foi omitida. O sentido da circulação do vento azimutal é ciclônico em (a) e anticiclônico em (b), com contorno de isotaca máxima de 21 m s^{-1} .



Fonte: HOSKINS *et al.*, 1985.

As representações esquemáticas apresentada na figura 8 mostram uma situação idealizada, contudo características qualitativas significativas podem ser inferidas, tais como as citados por Funatsu, 1999:

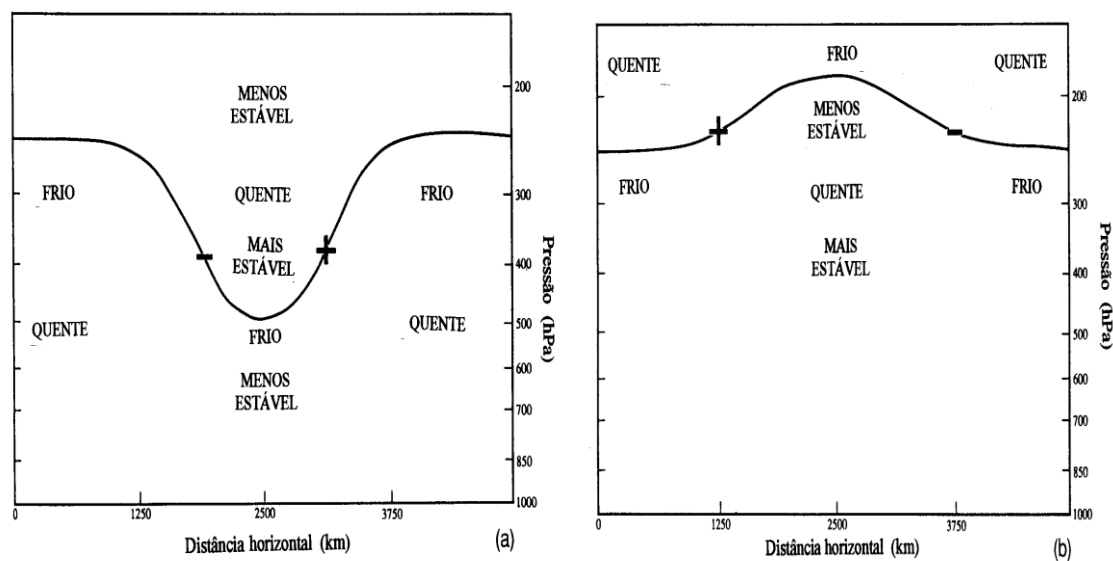
a) Se a anomalia é ciclônica, a circulação induzida será ciclônica; se a anomalia é anticiclônica, induzirá uma circulação anticiclônica;

b) Os campos induzidos penetram verticalmente, acima e abaixo da anomalia de VPI, de acordo com a intensidade da anomalia;

c) A estabilidade estática é anormalmente alta/baixa na anomalia ciclônica/anticiclônica de VPI, com relação à estabilidade estática do estado de referência, na mesma superfície isentrópica;

d) As anomalias de estabilidade estática possuem sentido *oposto* da anomalia de VPI nas regiões imediatamente acima e abaixo. Isto segue do fato de $\zeta_{\alpha\theta}$ ter o mesmo sentido da anomalia de VPI acima e abaixo (itens a e b), e, portanto, a estabilidade estática deve desviar no sentido oposto para que haja compensação.

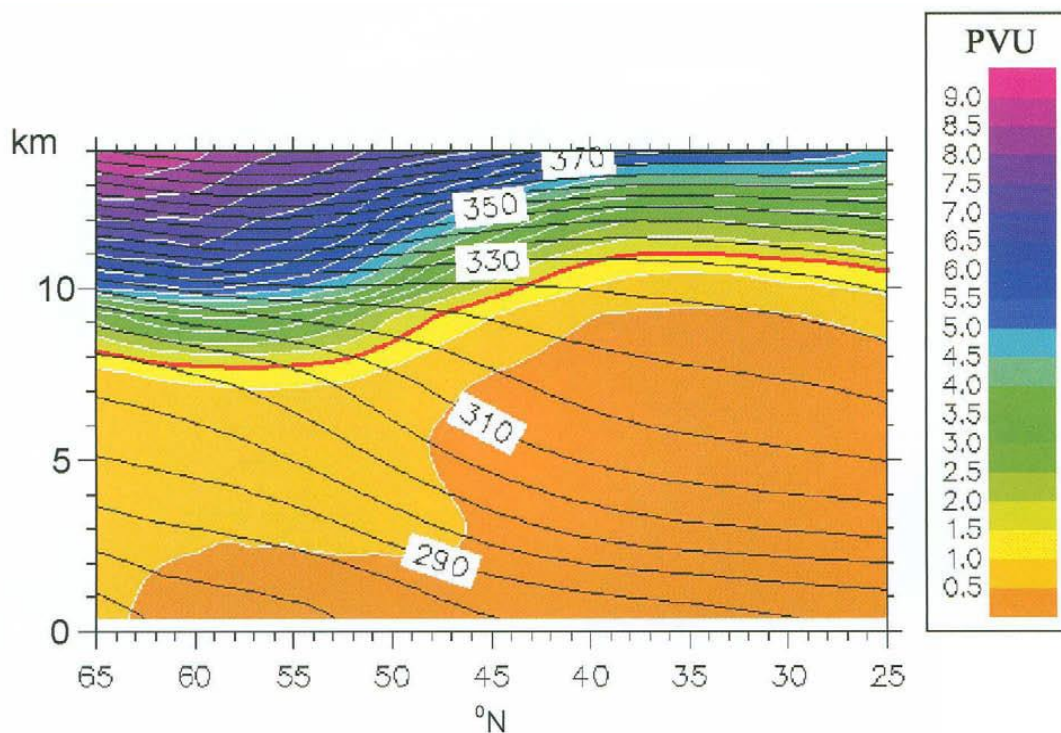
Figura 8 - Representação esquemática da estrutura vertical da anomalia de vorticidade potencial isentrópica para (a) anomalia ciclônica e (b) anomalia anticiclônica. O sinal (+) / (-) refere-se ao vento “saindo” / “entrando” do plano do papel no caso do HS, e o oposto no HN.



Fonte: BLUESTEIN (1992, p. 195, 196).

A figura 9 apresenta a distribuição climatológica da vorticidade potencial, observa-se que em média essa distribuição é uniforme, variando de 0,3 a 0,5 UVP na baixa e média troposfera e atinge 1 UVP na Troposfera superior, aumentando rapidamente com a altura e assume valores superiores a 1 UVP na estratosfera, tornando-se rapidamente superior a 3 UVP na estratosfera baixa, devido ao forte aumento de estabilidade estática. A linha vermelha demarca a tropopausa dinâmica que é a superfície de separação entre a troposfera com baixos valores de vorticidade potencial e a estratosfera com altos valores de vorticidade potencial.

Figura 9 - Distribuição climatológica da vorticidade potencial (áreas coloridas) e de a temperatura potencial (linhas pretas em intervalos de 5 K). A superfície de 1,5 UVP (tropopausa dinâmica) é mostrada em vermelho. Este gráfico foi produzido a partir de análises do ECMWF pela média de 10 temporadas de inverno (1986-1995) no fluxo zonal. (A partir do trabalho de F. Lalaurette, Meteo-France).



Fonte: SANTURETTE e GEORGIEV, 2005.

2.5 Ondas de Rossby

Ondas de Rossby pertencem a uma classe especial de ondas planetárias sub-inerciais de larga escala, tanto nos oceanos quanto na atmosfera, cuja força restauradora é dada pela

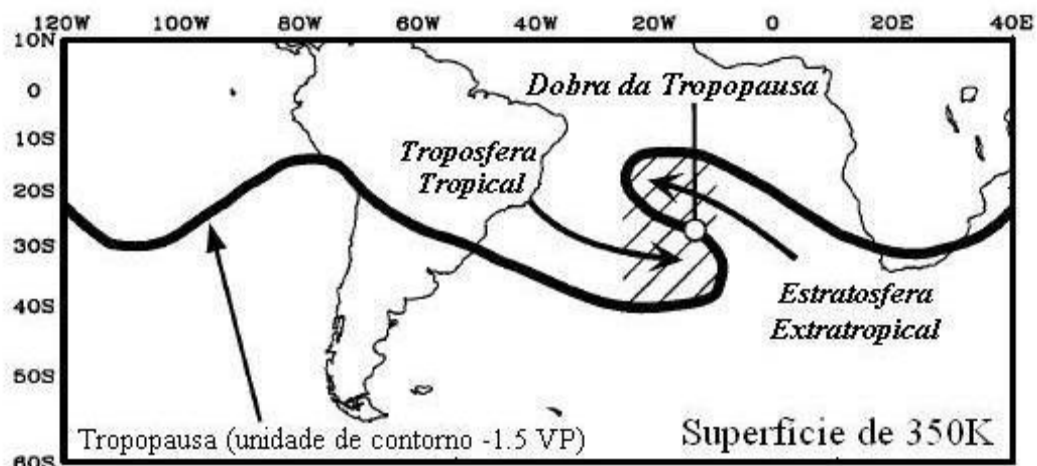
variação do parâmetro de Coriolis com a latitude e pela conservação da vorticidade potencial (ROSSBY et. al, 1939).

Esse tipo de onda apresenta grande estrutura horizontal, da ordem do diâmetro da Terra, com períodos maiores que um dia. A variação do efeito da força de Coriolis age sobre a atmosfera como uma força externa, tendo como resultado ondas horizontalmente transversais com comprimentos de onda horizontais de milhares de quilômetros (Holton, 1992).

A Figura 10 apresenta um esquema da configuração da quebra da onda de Rossby sobre o Atlântico Sul. Postel e Hitchman (1999) fizeram uma climatologia de 10 anos (1986-1995) da quebra da onda de Rossby. Eles utilizaram um método objetivo para estimar a frequência e a distribuição destes eventos, considerando a superfície isentrópica de 350K e utilizando as análises meteorológicas do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Observaram que essa configuração ocorre preferencialmente durante o verão sobre os oceanos Pacífico e Atlântico, relativamente próximo às altas subtropicais.

Segundo Barbosa (2006) um sistema que pode ter relação com a variabilidade interanual da precipitação no NEB é o evento de intrusão, caracterizado pela quebra da onda de Rossby que favorece uma interação entre a região tropical e extratropical. Conforme Appenzeller *et al* 1996 a quebra de ondas de Rossby na alta troposfera pode levar a pronunciadas invasões de ar estratosférico e, eventualmente a formação de um VCAN.

Figura 10 - Esquema da quebra da onda de Rossby sobre o oceano Atlântico Sul na superfície isentrópica de 350 K. O contorno grosso representa a tropopausa.



Fonte: Adaptado de Postel e Hitchman (1999).

2.6 Principais sistemas que influenciam no NEB

O NEB apresenta uma grande variabilidade temporal e espacial na distribuição na precipitação, com alguns anos extremamente secos e outros extremamente chuvosos. A maior parte dessa variabilidade é explicada em função dos diversos fenômenos meteorológicos de diferentes escalas, que influenciam a região.

Os principais sistemas sinóticos e de mesoescala, os quais determinam o tempo direto ou indireto no nordeste do Brasil (NEB) são:

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um cinturão composto por aglomerados de nuvens convectivas, oriundas da confluência entre os ventos alísios de nordeste e sudeste na região equatorial. Esse sistema influencia o tempo no norte da Amazônia e nas áreas localizadas no norte da região Nordeste, especialmente no verão e no outono (UVO E NOBRE, 1989). Segundo Cavalcanti et.al (2009) a máxima precipitação no norte e no centro do NEB nos meses de março e abril deve-se a influência da ZCIT do Atlântico, que nesse período está na sua posição mais ao sul (4° S), sendo assim o principal mecanismo dinâmico responsável pela precipitação na estação chuvosa de fevereiro a março na região.

Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) está associada ao transporte de vapor d'água do Oceano Atlântico através dos *ventos Alísios de Sudeste* para a costa nordestina ao se aproximar da América do Sul, conforme Bastos e Ferreira (2000), contribuindo significativamente no regime de precipitações no leste do NEB. Molion e Bernardo (2002) propuseram que o máximo de inverno nesta região poderia estar ligado à máxima convergência dos alísios com a brisa terrestre, e a uma zona de convergência no leste do NEB.

As *perturbações ondulatórias no campo dos alísios* (Poas) são provavelmente, responsáveis por 30% a 40% dos totais pluviométricos nas regiões costeiras do norte e leste do NEB (MOLION e BERNARDO, 2002). Conforme os autores, elas são observadas durante o ano inteiro e são mais frequentes em anos de La Niña. São produzidas pela penetração de sistemas frontais em baixas latitudes, tanto do HN como do HS. Essas perturbações, associadas às brisas de mar e de terra, constituem mecanismos de mesoescala importantes para as chuvas locais.

Os *sistemas frontais (SF) ou suas extremidades*, que são caracterizados por uma região de limite entre duas massas de ar que possuem características diferentes, como

temperatura, umidade e instabilidade (KOUSKY, 1979; SOUZA E COSTA, 1994; GEMIACKI, 2005; CRUZ, 2008). Cavalcanti et.al (2009) relatou que a máxima precipitação de novembro a março é associada às incursões de sistemas frontais e seus restos entre 5°S e 18°S, que se envolve com a convecção local, tendo o pico de precipitação em dezembro no sul do NEB.

Silva (2005) relatou que os *VCAN* e *Cavados de Altos Níveis* (CAN) exercem influência quanto à precipitação do NEB e oceano adjacente e que essas áreas são regiões preferidas para formação e permanência dos VCAN e CAN nos meses de DJFM. Sendo assim o NEB é influenciado pelas atividades convectivas e de subsidência, normalmente associadas aos VCAN e CAN. A vortacidade ciclônica nas situações de intensos CAN pode ser da mesma ordem de magnitude de uma situação de VCAN.

Além dos VCAN e CAN, podem ser observados os *VCMN* no NEB, circulação ciclônica dos ventos observada em médios níveis da atmosfera (FEDOROVA et al., 2006), o qual é o objeto de estudo nesse trabalho. Carvalho (2004) e Fedorova et al.(2006) analisaram a influencia da zona frontal observada próximo do NEB nos dias de 15 a 20 de maio de 2003. Esse sistema estava associado a um vórtice ciclônico em médios níveis. Pontes da Silva (2008c) e Pontes da Silva et al. (2011) analisou a situação sinótica diariamente durante 4 anos associada a precipitações iguais ou superiores a 5,0mm em Alagoas. Dentre todos os sistemas que estão ligados as precipitações no estado observaram que 33 casos (10%) foram associados à extremidade frontal e 7 casos (2%) ao vórtice ciclônico de médios níveis.

As *Ondas de leste (OL)* são perturbações sinóticas associadas a cavados, melhor configurados em médios níveis (700, 500 hPa), e a temperatura elevada da superfície do mar. Sua nebulosidade é caracterizada por nuvens convectivas que se deslocam de leste para oeste sobre os oceanos atingindo áreas continentais, como o leste do NEB (ESPINOZA, 1996; VAREJÃO- SILVA, 2005; COUTINHO E FRITSCH, 2007).

No período da primavera, verão e outono, há o surgimento de uma circulação anticiclônica em altos níveis chamada de *Alta da Bolívia* (AB) (SIGNORINI, 2001 e SELUCHI *et al.*, 2003). Essa alta em níveis superiores está associada ao ciclone barotrópico em superfície. Conforme sugerido por Nobre e Molion (1988) o ar ascendente sobre a Amazônia adquire movimentos anticiclônicos nos altos níveis (AB), diverge gerando um ramo descendente e uma forte inversão de subsidência sobre o oceano Atlântico sul e

posteriormente sobre o NEB. Essa configuração inibe o desenvolvimento de nuvens e consequentemente estão associados a um período mais seco do ciclo anual sobre o NEB.

A *Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)* é definida como uma faixa persistente de nebulosidade e precipitação, com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde o sul da região Amazônica até o oceano Atlântico subtropical (QUADRO, 1994). É frequentemente observada em imagens de satélite durante o verão do hemisfério sul.

Linhas de instabilidade (Li), também conhecidas como Linhas Convectivas, identificadas como grupos de nuvens convectivas que possuem estrutura linear. Segundo Cohen et al. (1989) as Li, junto as costa, não avançam muito sobre o continente e estão associadas à brisa marítima, sendo responsáveis pelos valores máximos de precipitação observados em maio-junho no Leste do NEB, tendo uma largura de até 170km, duração de 6 a 12h em 68% dos casos.

Os *Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM)* são aglomerados de nuvens de forte desenvolvimento vertical, produtoras de precipitações intensas (MADDOX, 1980, 1983; SILVA DIAS 1987; REEDER E SMITH, 1998). Análises observacionais feitas pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e outros Centros Regionais de Meteorologia da região Nordeste tem observado que há indícios de formação de intensos CCM próximos à costa leste do NEB, principalmente no mês de maio, cujas origens e intensificações podem estar relacionadas a distúrbios ondulatórios de leste advindos do Atlântico Sul (BRABO ALVES et al., 2001). Casos de CCM sobre o do estado de Alagoas foram estudados por Fedorova et al. (2004) e Pontes et al., 2008a e 2008b e foram associados a precipitações dentre outros fenômenos adversos.

A *Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB)* definida como uma corrente de ventos fortes, em níveis superiores, atuante no NEB, foi estudada por Gomes (2003). Segundo esse autor a CJNEB tem maior atuação no inverno austral. A influência da CJNEB sobre o estado de Alagoas foi estudado por Campos e Fedorova (2006) encontraram 73 dias de ocorrência do fenômeno no ano de 2004, os valores da velocidade máxima do vento no seu eixo chegaram a 60 m/s. Também foi observada a ligação da CJNEB com VCAN, VCMN e correntes de Jato de Baixos Níveis (CJBN).

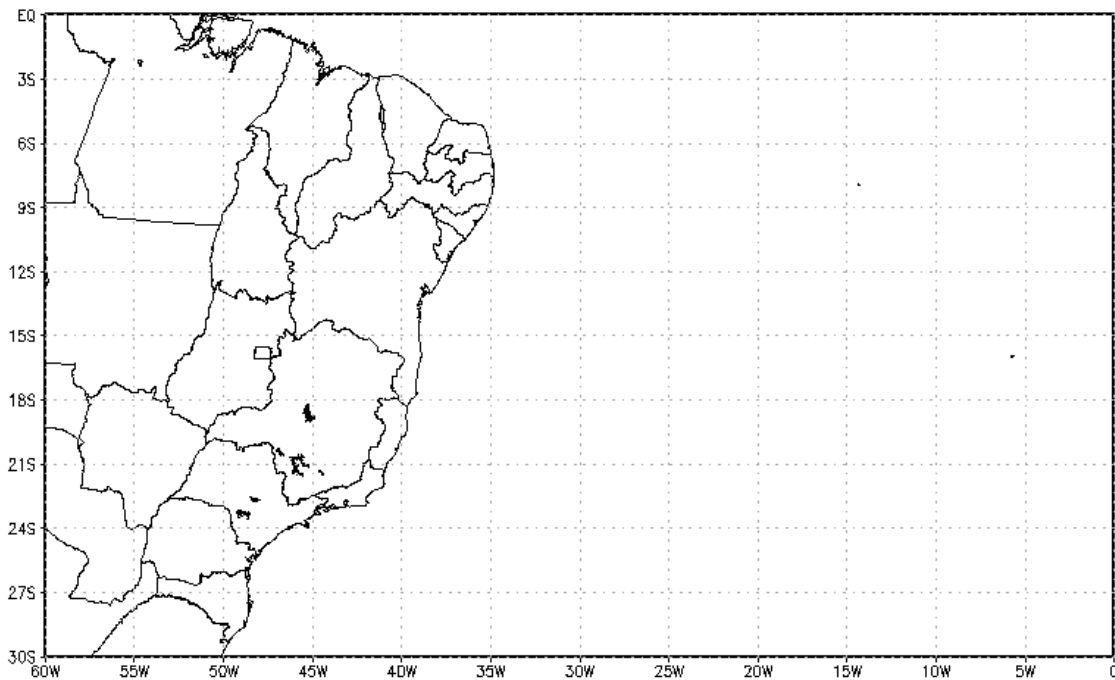
As circulações orográficas e pequenas células convectivas constituem os fenômenos de microescala (MOLION E BERNARDO, 2002).

3 METODOLOGIA E DADOS

3.1 Área de estudo

Para identificação e análise dos VCMN foi selecionada a área apresentada na figura 11, que abrange de 60°W- 0°W e 0°-30°S. A escolha desta região foi baseada na localização dos sistemas de escala sinótica, que influenciam predominantemente o tempo do nordeste brasileiro (NEB).

Figura 11 - Domínio da grade de análise dos casos de VCMN.



Fonte: Autora, 2012.

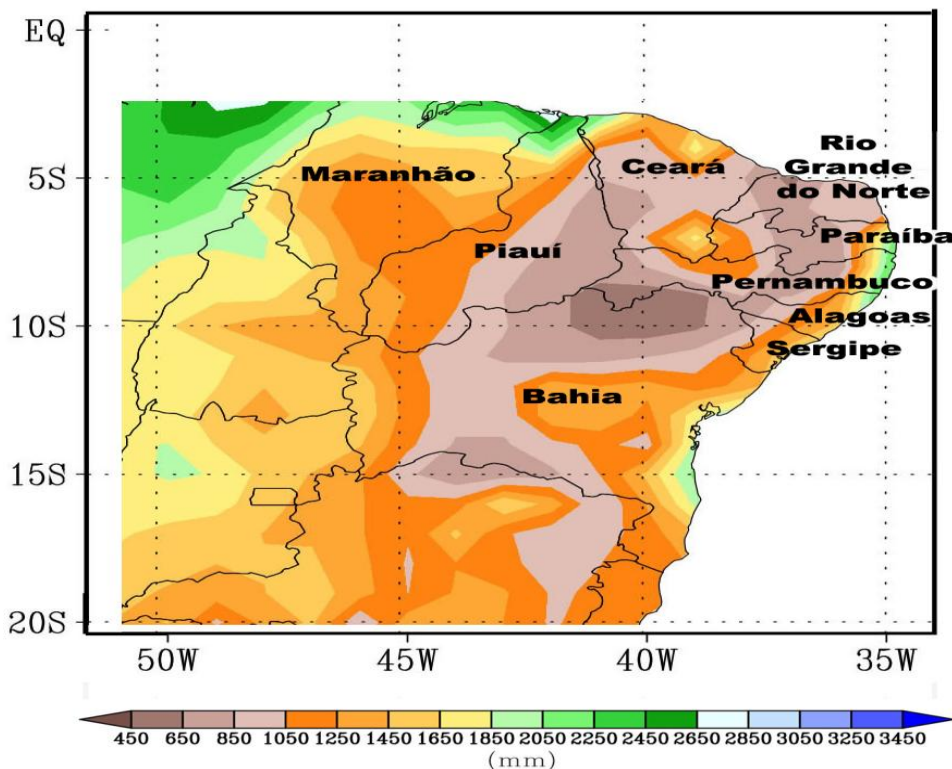
3.1.1 A Região Nordeste do Brasil (NEB)

O NEB está situado na faixa tropical, entre as latitudes de 1°S a 18°S e longitude de 35° W e 47° W. A região é constituída pelos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, totalizando nove estados (Figura 12). Segundo o censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE – site: www.ibge.gov.br), o NEB tem uma população de 53.081,950 habitantes em uma extensão territorial de 1.561.177,8 km².

Quanto ao clima, apresenta principalmente três tipos: clima litorâneo úmido (do litoral da Bahia ao Rio Grande do Norte), clima tropical (em áreas dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí); e clima tropical semiárido (em todo o sertão nordestino), com a variação anual de precipitação entre 300 a 2.000 mm (Cavalcanti et.al, 2009). Tal característica é comprovada na figura 12 que apresenta a precipitação acumulada anual (mm), de acordo com as Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990.

Como proposto por Strang (1972) uma alta porcentagem da precipitação anual ocorre em apenas três meses do ano: 60% de novembro a janeiro para o alto e médio São Francisco; mais de 60% de fevereiro a abril na área que inclui o Maranhão, Piauí, Ceará, toda a região semiárida a oeste do planalto da Borborema até o extremo norte da Bahia; e 50% de maio a julho na costa leste do NEB.

Figura 12 - Precipitação acumulada anual (mm).



Fonte: Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 - INMET, adaptada pela Autora, 2012.

3.2 Dados

Para elaboração dessa pesquisa, foram utilizados dados derivados dos produtos de Reanálise dos modelos globais NCEP/NCAR e imagens de satélite no espectro infravermelho

e vapor d'água, para os anos de 2008, 2009 e 2010. Uma descrição dos conjuntos de dados é apresentada nas seções a seguir.

3.2.1 Dados de reanálise do NCEP

Para a identificação e determinação das características do VCMN foram utilizados os dados de reanálise do NCEP / NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Centers for Atmosphere Research), disponíveis na homepage <http://www.cdc.noaa.gov> (Kalnay et al, 1996). Este conjunto de dados está disposto em ponto de grade, cuja resolução é de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$; distribuídos verticalmente em 17 níveis de pressão e nos horários sinóticos (00, 06, 12 e 18UTC).

As variáveis utilizadas para o estudo do VCMN foram: componentes zonal (u) e meridional (v) do vento, ômega (ω) e temperatura (t) nos níveis de 1000–200 hPa, às 00, 06, 12 e 18 UTC.

A partir destas variáveis foram elaborados os seguintes campos meteorológicos: Linhas de corrente para identificação dos casos de VCMN e os demais campos listados abaixo para os estudos de casos.

- Linhas de Corrente: representam uma situação instantânea do campo de velocidade do vento em um determinado instante de tempo (HOLTON, 1997). As linhas de corrente são determinadas pela integração da Equação 1, com relação à x , num intervalo de tempo t_0 .

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v(x, y, t_0)}{u(x, y, t_0)} \quad (1)$$

- Vorticidade relativa (s^{-1}): é a medida pontual da rotação de um escoamento no plano xy (HOLTON, 1997), dada pela Equação (2).

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2)$$

- Temperatura potencial (θ): Temperatura que uma parcela de ar atingiria se fosse deslocada adiabaticamente para o nível de pressão de referência (em geral $P_0 = 1000$ hPa), θ pode ser calculado pela equação (3) (VIANELLO e ALVES, 2000).

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{R}{c_p}}$$

(3)

T- temperatura do ar (K)

R - constante universal dos gases

Cp - capacidade térmica/ calor específico do ar à pressão constante

P - pressão atmosférica (hPa)

- Vorticidade potencial isentrópica (vorticidade potencial Ertel) é dada pela equação (Holton, 1992):

$$VPI = (\zeta + f) \left(-g \frac{\partial \theta}{\partial p} \right)$$

(4)

ζ - vorticidade relativa

f - vorticidade planetária

g - aceleração da gravidade,

θ - temperatura potencial,

p - pressão.

- Omega (ω) ou Velocidade vertical (h.Pas^{-1}), em coordenadas isobáricas (HOLTON, 1997), é dada por:

$$\omega = \frac{Dp}{Dt} = \frac{\partial p}{\partial t} + \vec{V}_H \cdot \nabla_H P + w \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) \approx -\rho g w \quad (5)$$

ρ - densidade

g - aceleração da gravidade

- Divergência (D) é uma característica do escoamento em três dimensões em que um elemento material do fluido tende a se expandir ou aumentar seu volume. Em um escoamento de duas dimensões um elemento material do fluido tende a aumentar a sua área, (Satyamurty, 2004). É dada pela equação:

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (6)$$

3.2.2 Imagem de satélite

As imagens de satélites foram adquiridas no *site* www.ncdc.noaa.gov/gibbs/ do Serviço de Satélite e Informação da NOAA (NESDIS), nos canais IR (Infravermelho) e WV (Vapor d'água) e VIS (Visível), nos horários sinóticos de atuação do VCMN, para a avaliação da nebulosidade associada.

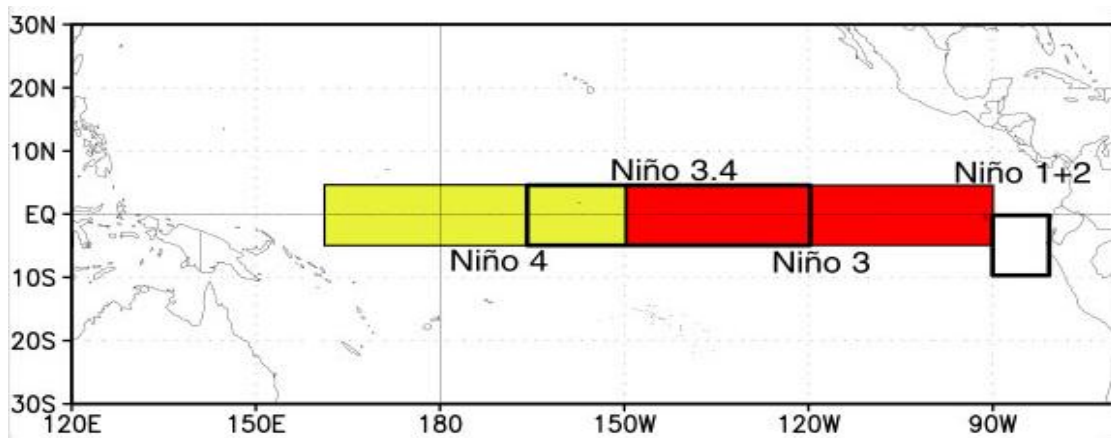
3.2.3 Dados de El Niño La Niña

Com base no monitoramento mensal realizado Climate Prediction Center (CPD), disponíveis na homepage <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/>, foram analisados as condições de anomalias considerando a região do Niño 4 (Figura 13). Valores entre 0,00 e 0,50 negativos ou positivos foram considerados como eventos neutros (N), valores negativos abaixo de 0,50 como eventos de La Niña (LN) e valores positivos acima de 0,50 como

eventos de El Niño (EN). Este critério usado para classificar o mês com atuação de La Niña e El Niño foi baseado no utilizado pela Agência Japonesa de Meteorologia (AJM), entretanto neste trabalho foi analisada a anomalia mensal.

A definição adotada pela AJM que, segundo Trenberth (1997), é objetiva e identifica bem os anos de El Niño e La Niña, consiste na seleção de períodos, cuja média móvel de cinco meses da anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM) da região equatorial do Oceano Pacífico (aproximadamente a região do chamado Niño 3) seja $0,5^{\circ}\text{C}$ (El Niño) ou $-0,5^{\circ}\text{C}$ (La Niña) por, no mínimo, seis meses consecutivos.

Figura 13 - Representação gráfica das quatro regiões El Niño.



Fonte: CPC/ NOAA, 2012.

3.2 Identificação dos VCMN

A escolha dos casos foi feita através do campo de linhas de corrente (LC), elaborados com espaçamento vertical de 100 hPa, nos níveis de: 1000 hPa, 900 hPa, 800 hPa, 700 hPa, 600 hPa, 500 hPa, 400 hPa, 300 hPa e 200 hPa, nos horários sinóticos. Foram analisados nível a nível nos diversos horários, dias e anos a existência de uma circulação ciclônica fechada. Sendo assim analisadas 36 imagens de linhas de corrente por dia, e uma média de 13.140 imagens por ano.

Foram contabilizados como VCMN os vórtices que apresentaram circulação ciclônica fechada em médios níveis entre 700-400 hPa. Os vórtices que tiveram origem em médios, mas evoluíram para altos níveis foram considerados como VCAN com origem em médios níveis, sendo assim excluídos da contagem de VCMN. Também foram excluídos da contagem os vórtices que atingiram baixos níveis (900- 1000 hPa). Iniciada a busca visual dos VCMN seguindo os critérios estabelecidos foram preenchidas tabelas conforme exemplo (Tabela 1), para cada horário sinótico no qual foi observado o sistema. Nesta tabela foram registrados data, horário, níveis observados e as coordenadas (Lat. x Lon.) do centro do vórtice.

Tabela 1 - Tabela modelo de registro dos VCMN.

LOCALIZAÇÃO DOS VÓRTICES CICLÔNICOS DE MÉDIOS NÍVEIS					
DATA	HORA	NÍVEIS (hPa)		LAT	LON
26/jan/01	00UTC	1000			
		900			
		800			
		700			
		600	x	11°S	29°W
		500	x	10°S	23°W
		400			
		300			
		200			

Fonte: Autora, 2012

Após a seleção dos casos foi analisada a região de gênese, bem como a época do ano de maior gênese e tempo de vida. A distribuição sazonal foi definida da seguinte forma: verão (dezembro, janeiro fevereiro- DJF), outono (março, abril, maio - MAM), inverno (junho, julho, agosto - JJA) e primavera (setembro, outubro, novembro - SON), para cada ano de maneira isolada.

A duração foi contabilizada como sendo 6h de duração cada vez que um vórtice ciclônico era observado em um horário sinótico.

A posição média do VCMN foi considerada a posição média em que o sistema esteve durante sua formação, evolução e dissipação.

4 RESULTADOS

Nesta parte do trabalho são apresentados os resultados referentes à frequência dos VCMN. A discussão abordará primeiramente a distribuição mensal, sazonal e o tempo de vida dos casos selecionados ao longo dos anos de 2008, 2009 e 2010. Posteriormente, sua distribuição espacial, e no estudo de caso características relativas à formação, desenvolvimento e dissipação.

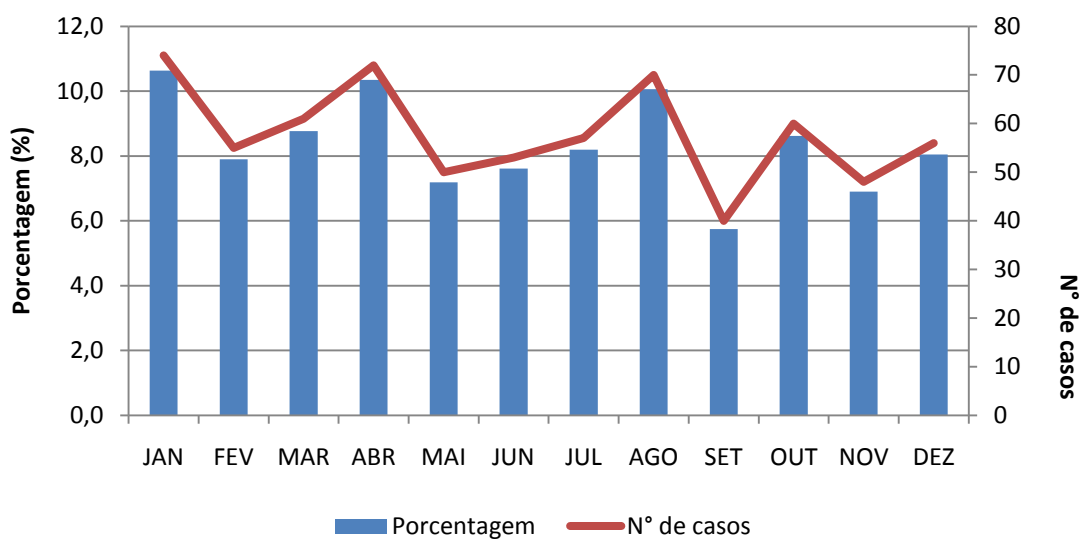
4.1 Frequências dos VCMN nos anos de 2008, 2009 e 2010

4.1.1 Frequências e distribuição mensal dos VCMN

O número total de VCMN detectados para os três anos de estudo foi de 696, com média de 232 VCMN por ano. O máximo de VCMN verificados em 2008 (248 casos) e mínimo em 2010 (204 casos).

No gráfico 1 é apresentado o número de casos total (soma dos três anos) e frequência dos casos para o mesmo período. 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%.

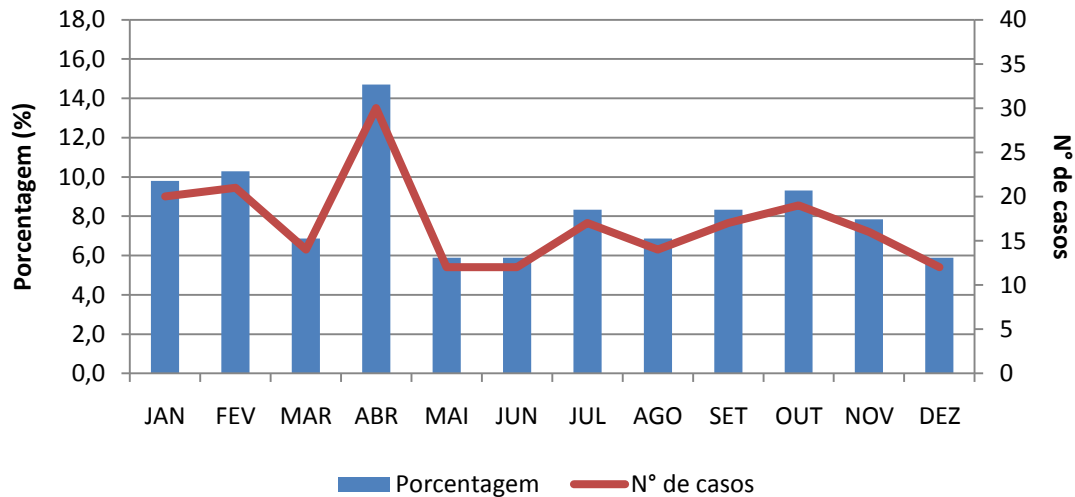
Gráfico 1 - Frequência e número de VCMN mensal para os anos analisados.



Fonte: Autora, 2012.

O número total de VCMN contabilizados para o ano de 2010 foi de 204, sendo observado um pico de 30 casos (14,7% do total) em abril (Gráfico 2). Os números mínimos de VCMN foram contabilizados em maio, junho e dezembro (12 casos em cada).

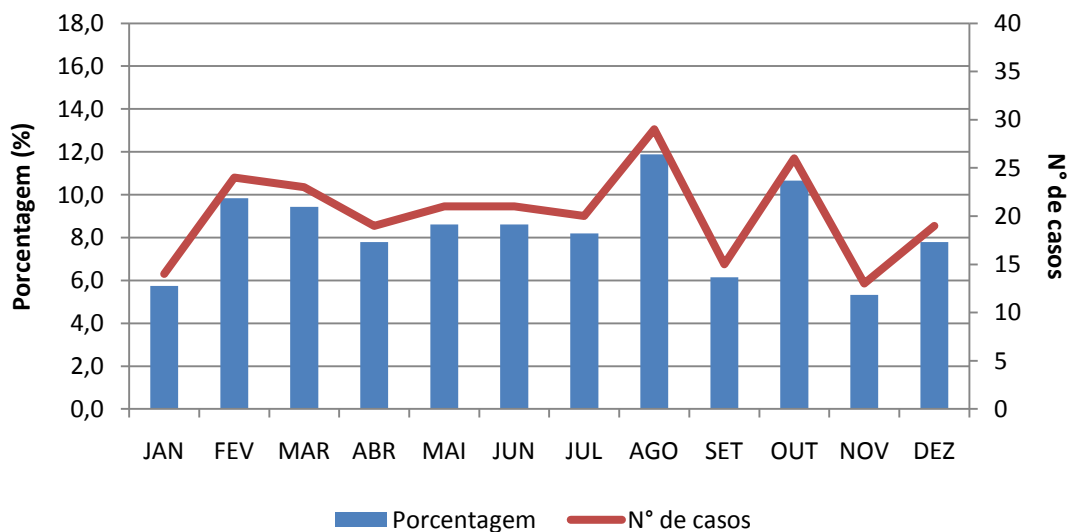
Gráfico 2 - Frequência e número de VCMN mensal para o ano de 2010.



Fonte: Autora, 2012.

O gráfico 3 apresenta o percentual e número de VCMN para o ano de 2009, sendo totalizados 244 casos. O mínimo de casos foi observado em janeiro, setembro e dezembro (14, 15 e 13 casos, respectivamente), representando entre 5-6% do total. O maior número de VCMN foi observado em agosto (29 casos), correspondendo a 11,9% do total em 2009.

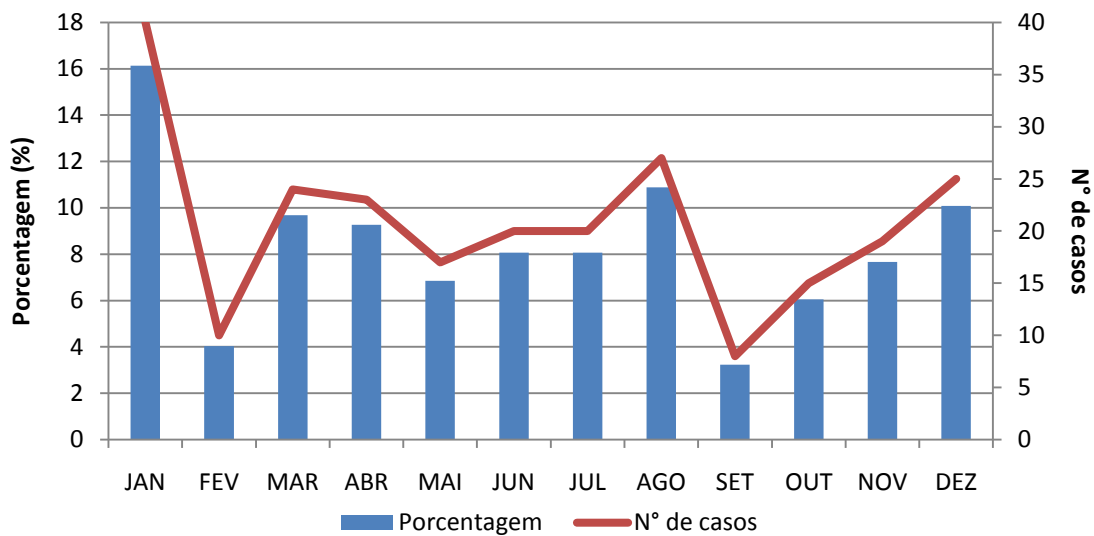
Gráfico 3 - Frequência e número de VCMN mensal para o ano de 2009.



Fonte: Autora, 2012.

Conforme apresentado no gráfico 4, observa-se um total de 248 VCMN distribuídos ao longo do ano de 2008. Um número de VCMN notável foi registrado em janeiro, 40 casos, correspondendo a 16,1% do total. Em setembro foram localizados apenas 8 casos (3,2%), sendo o mínimo observado em 2008.

Gráfico 4 - Frequência e número de VCMN mensal para o ano de 2008.

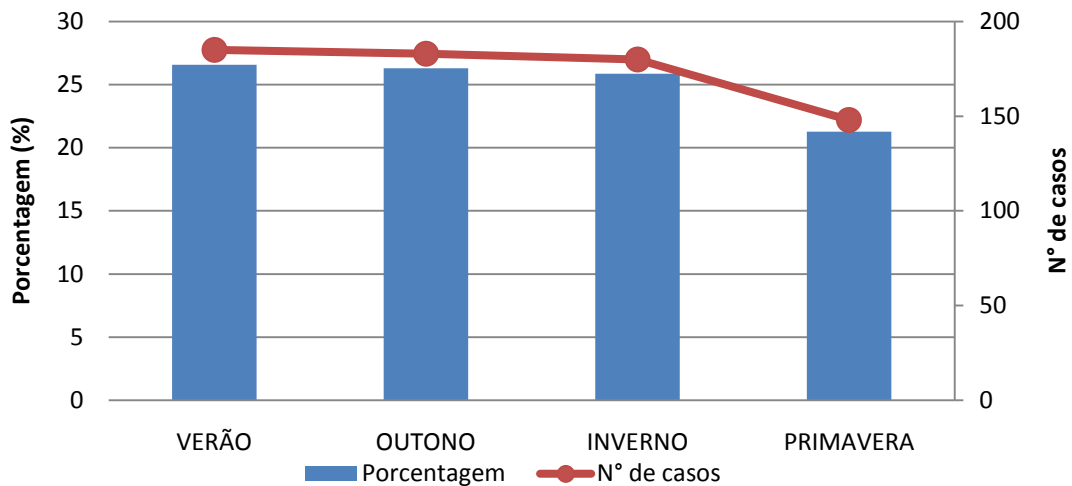


Fonte: Autora, 2012.

4.1.2 Frequências e distribuição sazonal dos VCMN

No gráfico 5 é apresentada a média da frequência sazonal dos VCMN em todo o período de análise. 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%, registrando um total de 185 casos.

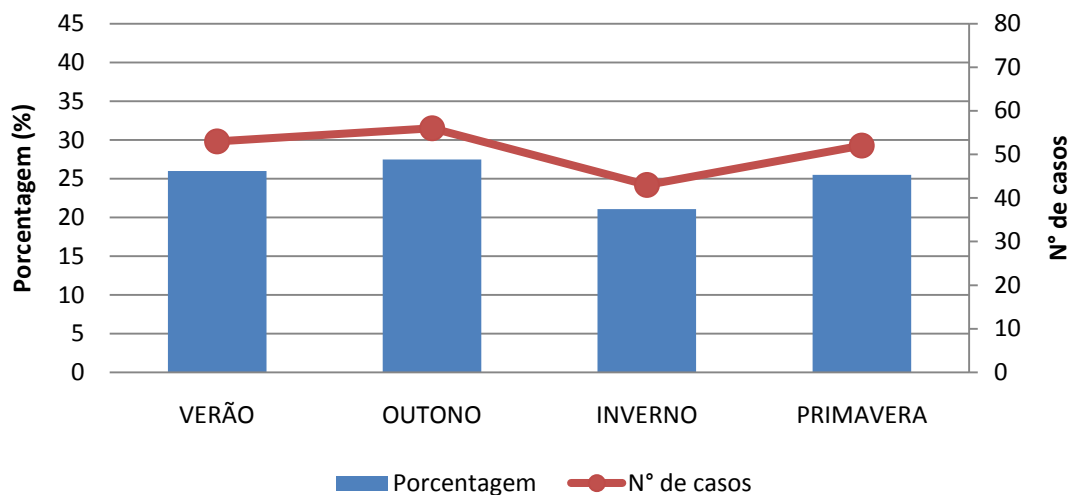
Gráfico 5 - Percentual e número de VCMN por estação, em todo o período de estudo.



Fonte: Autora, 2012.

Foram contabilizados casos em todas as estações do ano de 2010 (Gráfico 6), sendo observados 26,0% no verão, 27,5% no outono, 21,1% no inverno e 25,5% na primavera. Com relação ao número de casos destaca-se o outono com o maior número de casos 56.

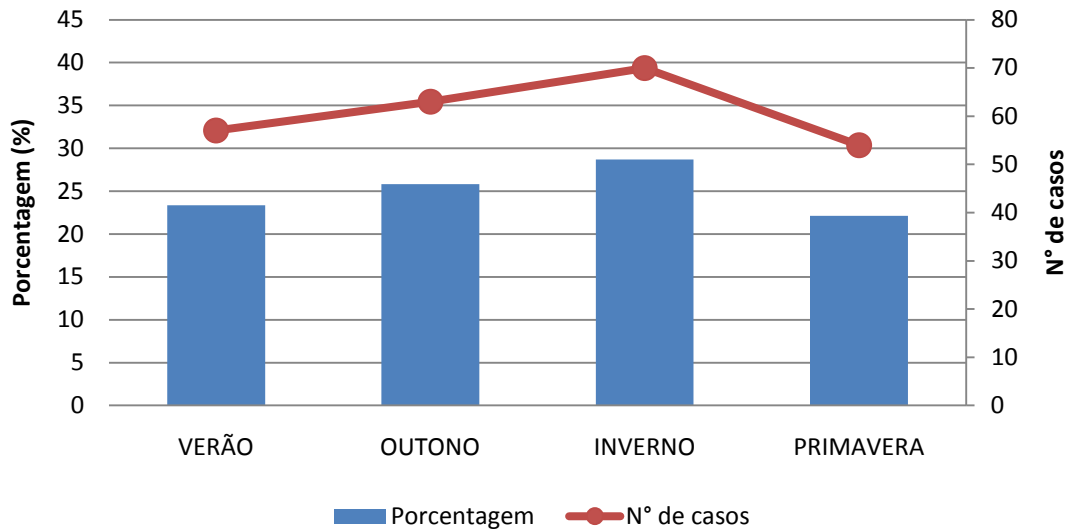
Gráfico 6 - Percentual e número de VCMN por estação, para o ano de 2010.



Fonte: Autora, 2012.

No ano de 2009 (Gráfico 7) foram contabilizados o máximo de casos no inverno (70 casos), e o mínimo na primavera (54 casos), representando a frequência de 28,7% e 22,1% respectivamente. No verão foram registrados 57 casos, sendo 23,4% do total.

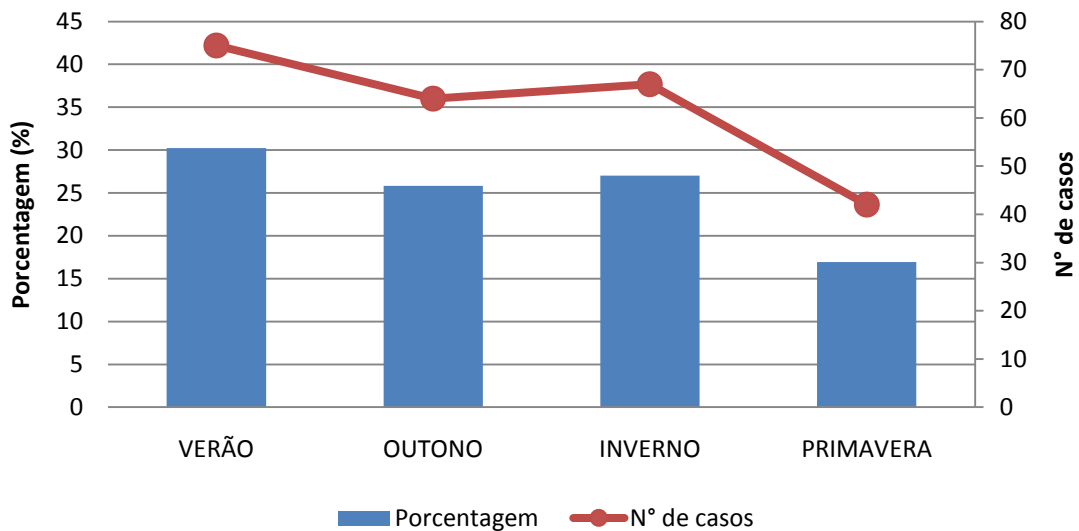
Gráfico 7 - Percentual e número de VCMN por estação, para o ano de 2009.



Fonte: Autora, 2012.

No ano de 2008 (Gráfico 8) foram contabilizados 75 casos no verão, 64 casos no outono, 67 casos no inverno e 42 casos na primavera, representando em termos de frequência 30,2%, 25,8%, 27,0% e 17,0 respectivamente.

Gráfico 8 - Percentual e número de VCMN por estação, para o ano de 2008.



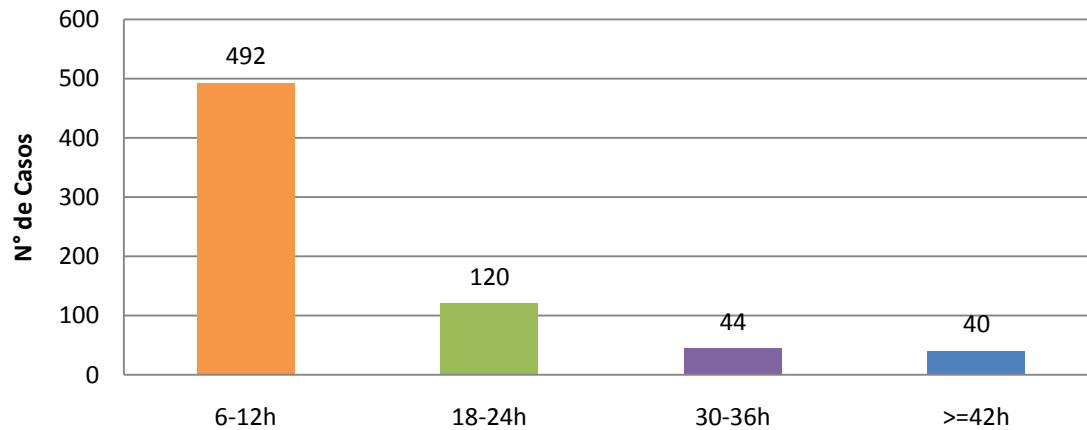
Fonte: Autora, 2012.

4.1.3 Duração dos VCMN

No gráfico 9 observa-se a distribuição dos VCMN por tempo de vida durante os três anos em análise. Observa-se um total de 492 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.

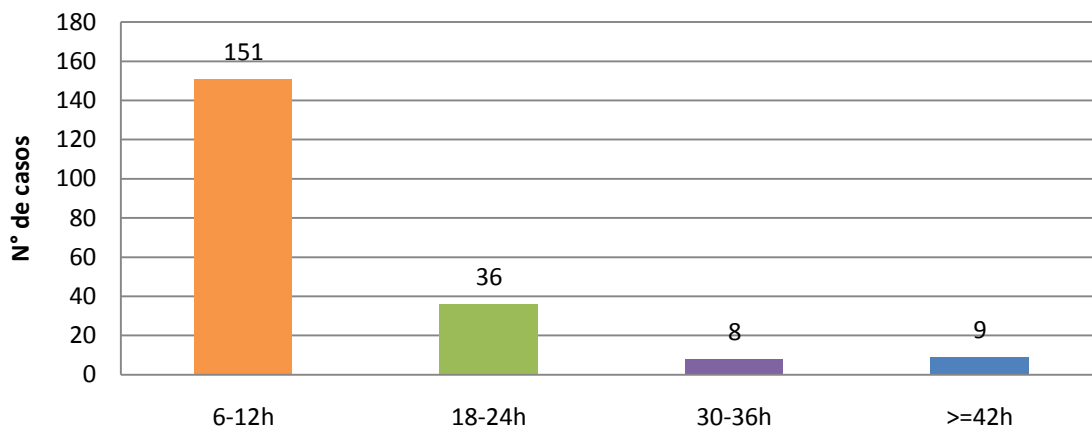
Gráfico 9 - Duração dos VCMN, por faixa, para todo o período de análise.



Fonte: Autora, 2012.

No gráfico 10 é apresentada a distribuição dos casos de VCMN por duração no ano de 2010. Observa-se um número marcante de VCMN com duração de até 12 horas, 151 casos. Com duração entre 18-24 horas, foram contabilizados 36 casos. Com duração entre 30-36 horas e igual ou superior a 42, foram registrados 8 e 9 casos respectivamente.

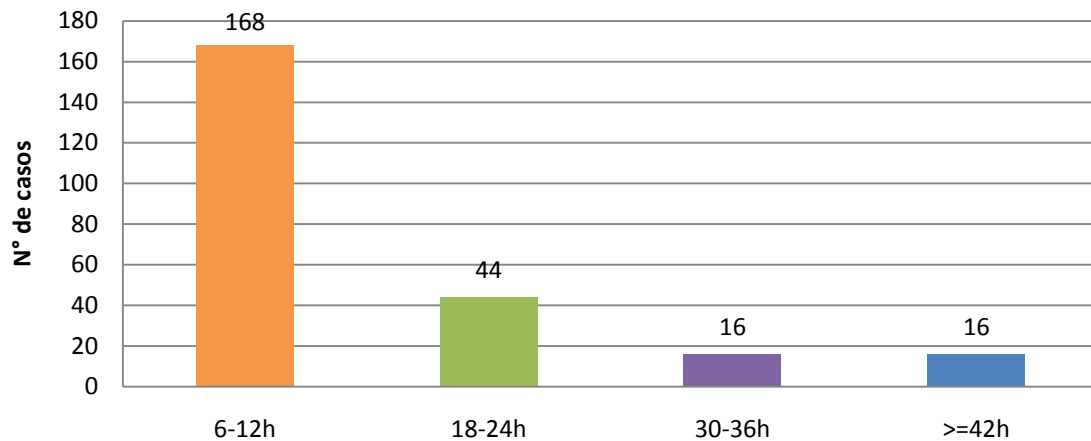
Gráfico 10 - Duração dos VCMN, por faixa, para o ano de 2010.



Fonte: Autora, 2012.

A distribuição dos VCMN por duração em 2009 é mostrada no gráfico 11, onde se observa que 168 casos tiveram a menor duração (6-12h), 44 casos com duração de 18-24 horas e com duração entre 30- 36 horas e maior ou igual a 42 horas foram 16 casos em ambos os intervalos.

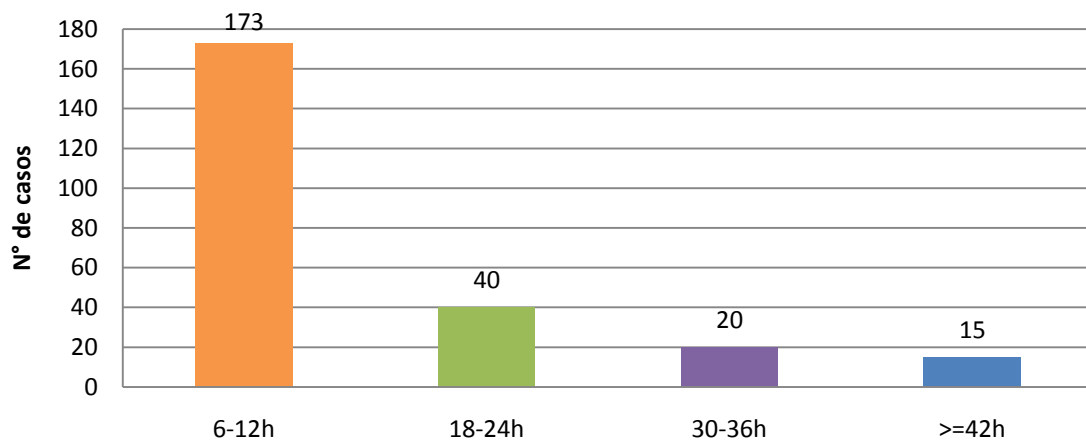
Gráfico 11 - Duração dos VCMN, por faixa, para o ano de 2009.



Fonte: Autora, 2012.

A duração dos VCMN em 2008 é apresentada no gráfico 12, onde foram divididos em intervalos de 6 horas. Neste ano foram contabilizados 248 VCMN, sendo divididos em 173 casos com duração entre 6-12 horas, 40 casos com duração de 18- 24 horas e os demais 35 casos com duração igual ou superior a 30 horas.

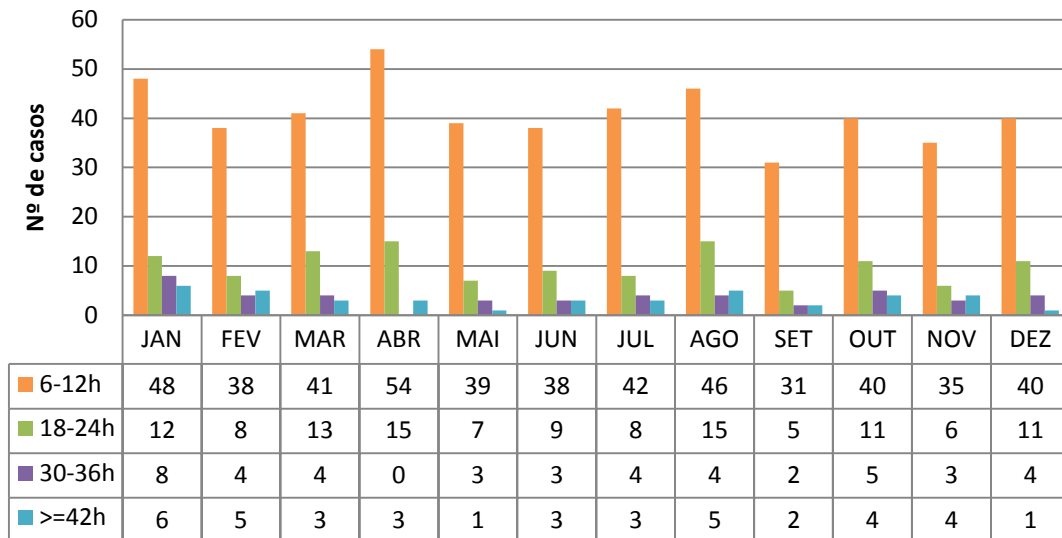
Gráfico 12 - Duração dos VCMN, por faixa, para o ano de 2008.



Fonte: Autora, 2012.

Do total de 696 VCMN, os com menor tempo de vida (6-12h) corresponderam a 70,7% (492 casos) dos casos registrados no período em análise (Gráfico 13). O mês de janeiro teve o maior número de casos com duração igual ou superior a 42 horas (6 casos em todo período), seguido por fevereiro e agosto (5 casos em cada).

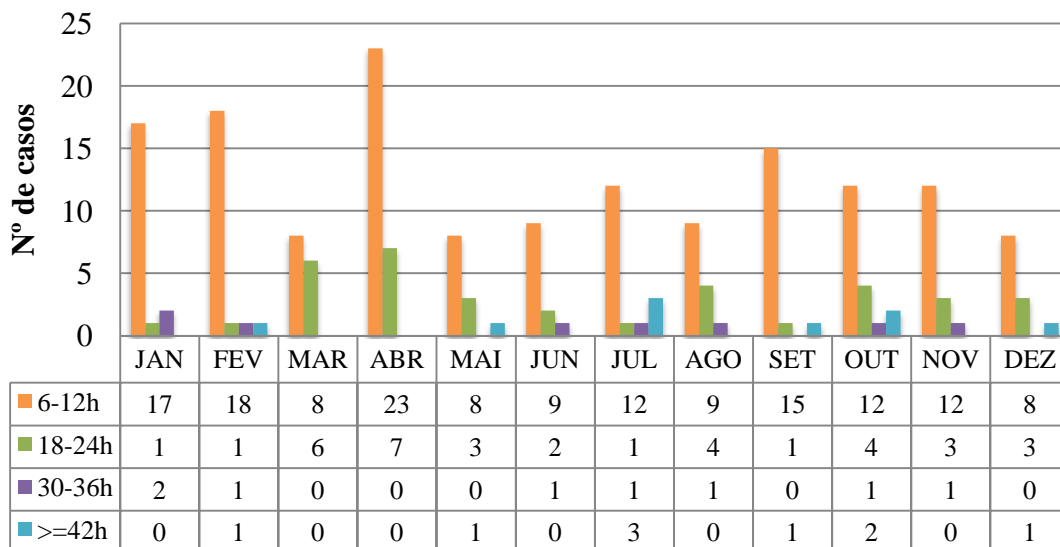
Gráfico 13 - Número de casos por mês e tempo de vida dos VCMN, sendo a soma dos anos de 2010, 2009 e 2008.



Fonte: Autora, 2012.

O gráfico 14 apresenta a duração por faixa de tempo ao longo dos meses no ano de 2010, e julho apresentou o maior número de casos duradouros, sendo 3 casos com duração igual ou superior a 42 horas, seguindo por outubro (2 casos). O mês de abril apresentou o maior número de casos (30).

Gráfico 14 - Número de casos por mês e tempo de vida dos VCMN no ano de 2010.

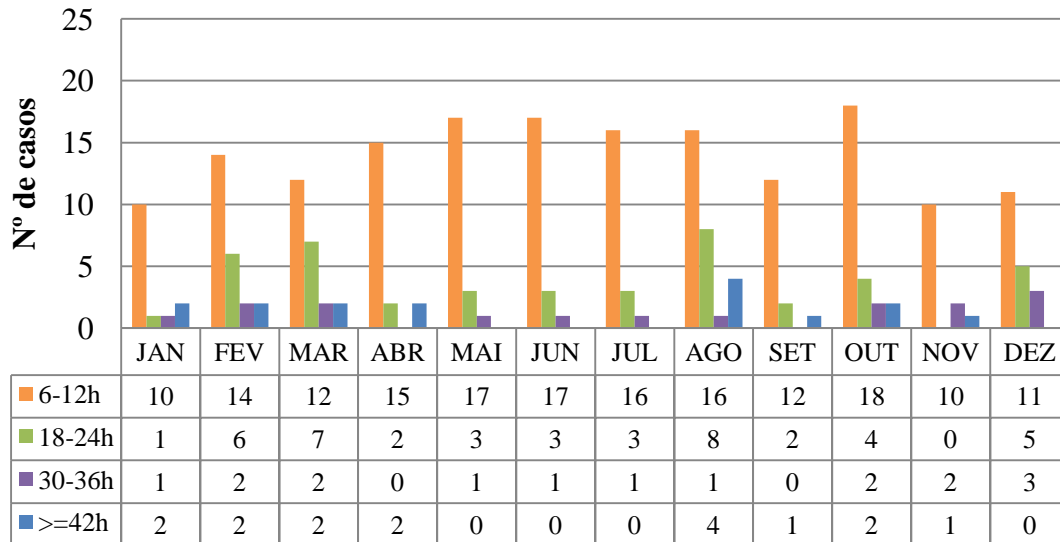


Fonte: Autora, 2012.

Os meses de janeiro, setembro e novembro apresentaram o menor número de casos (Gráfico 15), com mínimo em novembro (13 casos) e o maior número de casos observado em

agosto (29 casos). Em agosto foram registrados 4 casos com duração igual ou superior a 42 horas.

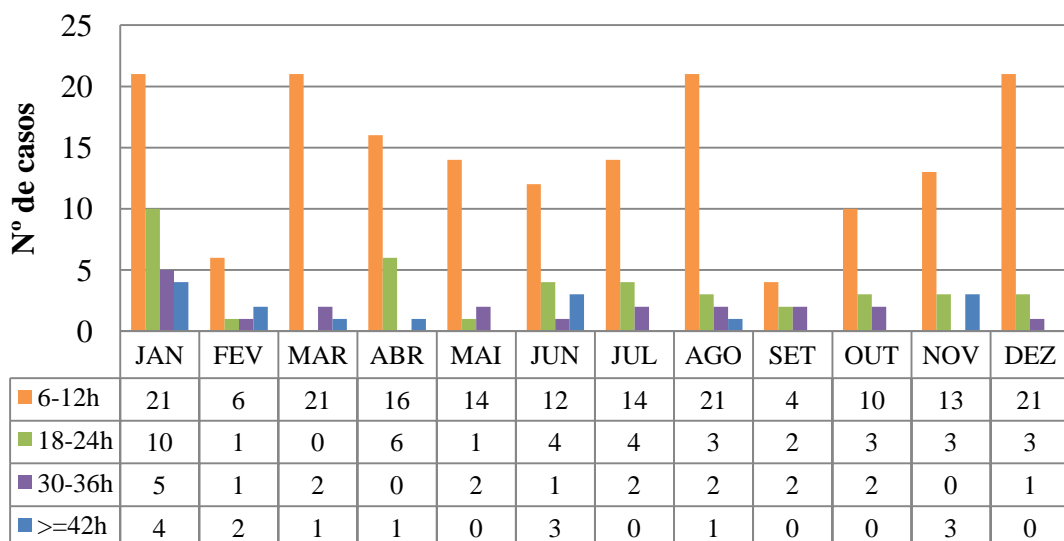
Gráfico 15 - Número de casos por mês e tempo de vida dos VCMN no ano de 2009.



Fonte: Autora, 2012.

Conforme apresentado no gráfico 16, foi observado um máximo em janeiro (40 casos). Neste mês também foram registrados os casos mais duradouros (duração igual ou superior a 42 horas). O menor número de casos foi registrado nos meses de setembro e fevereiro (sendo 8 e 10 casos respectivamente).

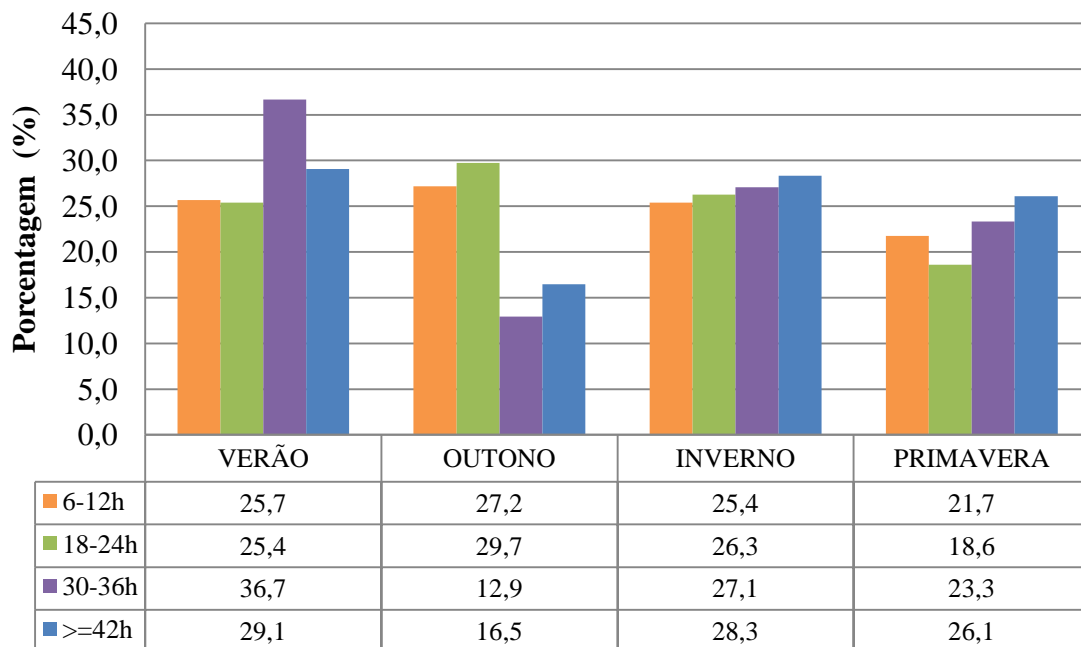
Gráfico 16 - Número de casos por mês e tempo de vida dos VCMN no ano de 2008.



Fonte: Autora, 2012.

O gráfico 17 apresenta o percentual de duração dos VCMN por estações, nos 3 anos analisados. A época do ano com maior percentual de casos é o verão, seguido pelo inverno. Observa-se que o maior percentual de casos com maior duração ocorreu no verão, sugerindo que os processos de formação podem ser semelhantes aos observados nos VCAN. No outono foram contabilizados os menores percentuais de durações, 16,5% com vida igual ou superior a 42 horas. Nas demais estações os VCMN com essa duração tiveram percentuais semelhantes, superiores a 26,1%.

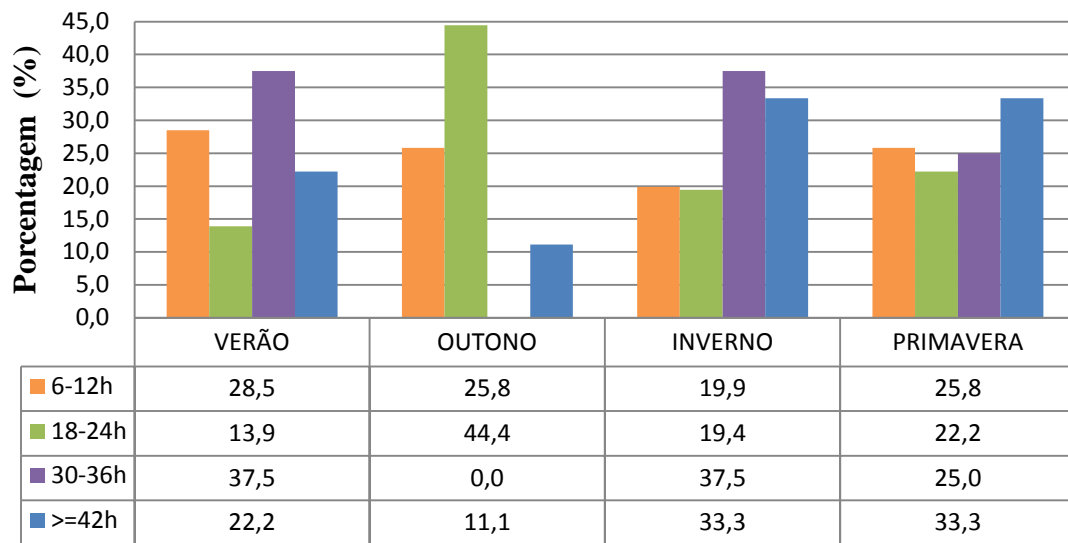
Gráfico 17 - Percentual de casos de VCMN por estação e duração, sendo a soma dos anos de 2010, 2009 e 2008.



Fonte: Autora, 2012.

Correlacionando a duração com a estação do ano, observa-se que os VCMN com menor tempo de vida (duração entre 6 – 12 h) tem um percentual similar ao longo das estações (Gráfico 18). Já os com duração de 18 a 24 horas destacam-se no outono, onde foram observados 44,4% dos casos. Os VCMN com maiores durações foram registrados de forma equivalente no inverno e primavera (33,3% em ambos) e em menor número no outono (11,1%).

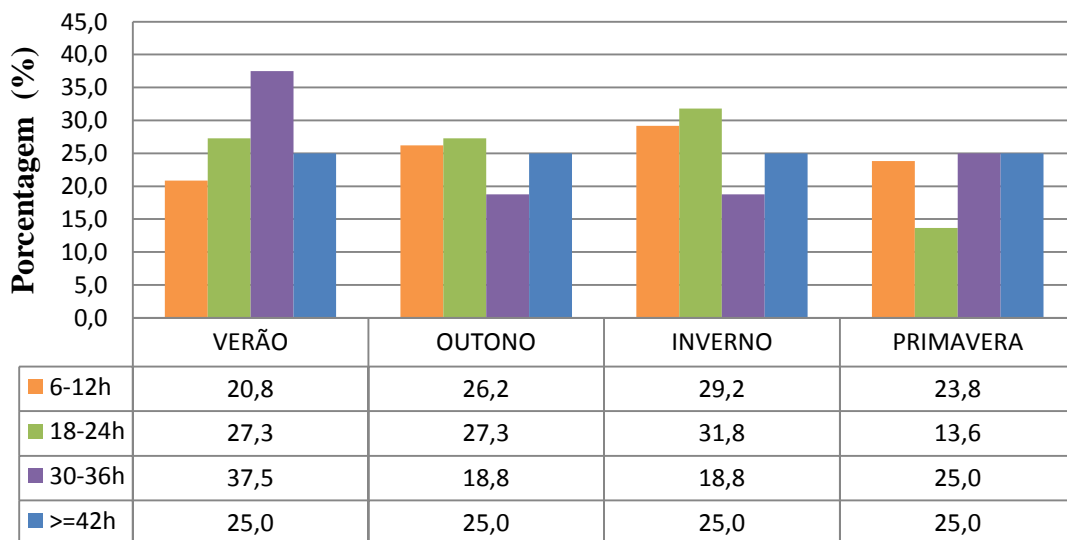
Gráfico 18 - Percentual de casos de VCMN por estação e duração no ano de 2010.



Fonte: Autora, 2012.

Os casos com duração entre 6-12h e 18-24h tiveram o maior percentual no inverno, 29,2% e 31,8% respectivamente. Os casos com duração entre 30-36h tiveram maior frequência no verão (37,5%). Os casos com duração maior ou igual a 42 horas foram distribuídos igualmente nas estações, ou seja, 25,0% em cada estação.

Gráfico 19 - Percentual de casos de VCMN por estação e duração no ano de 2009.

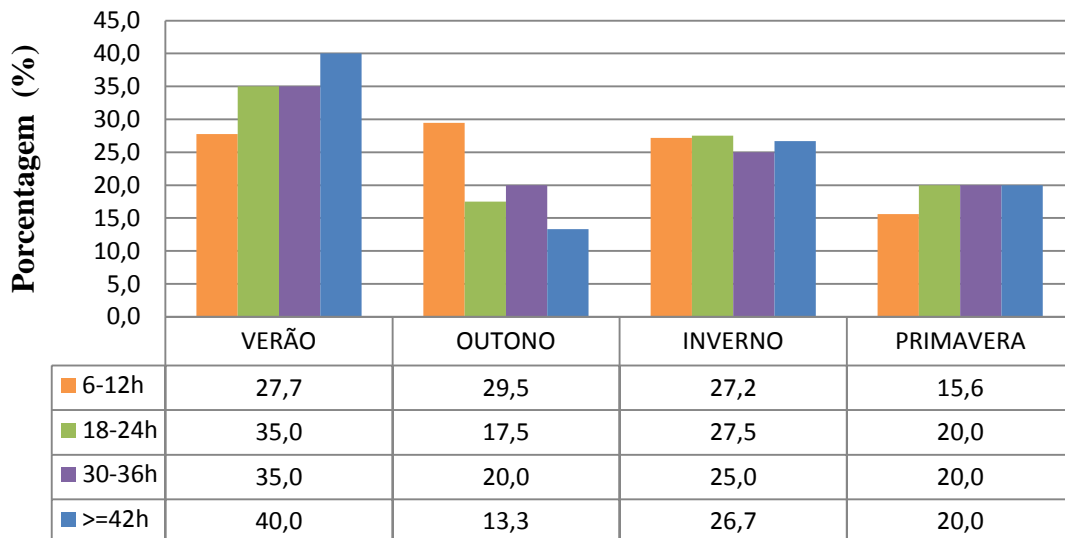


Fonte: Autora, 2012.

No ano de 2008 (Gráfico 20) observa-se nos casos com duração 6 - 12 horas a maior frequência no outono, 29,5%. Com duração entre 18 - 24 horas e 30 - 36 horas as maiores

frequências foram registradas no verão 35,0% em ambos. Os casos mais duradouros foram registrados com maior frequência no verão (40,0%) seguindo pelo inverno (26,7%).

Gráfico 20 - Percentual de casos de VCMN por estação e duração no ano de 2008.



Fonte: Autora, 2012.

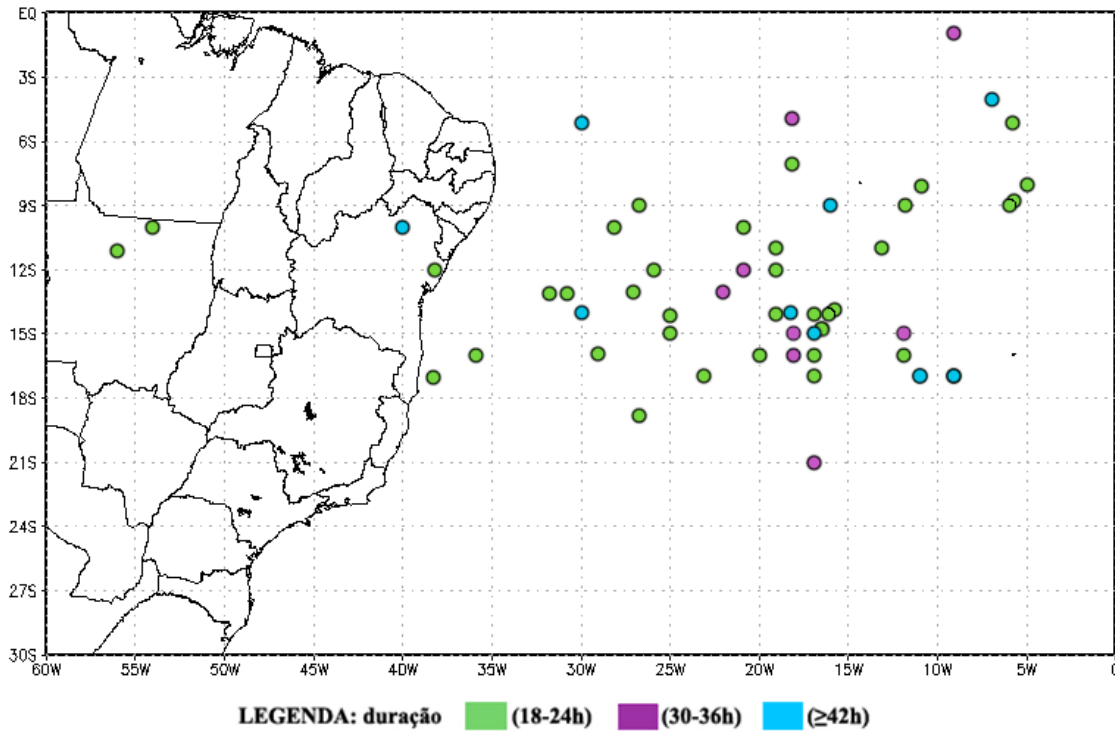
4.2 Distribuição espacial

4.2.1 Distribuição espacial anual

Dos 204 casos plotados nas figuras 14, 15 e 16 apenas 28 casos foram localizados sobre o continente, correspondendo a 13,7%, sendo registrado em 2008 o maior número (15 casos). Os localizados sobre o oceano se concentraram preferencialmente na faixa entre 6°S a 18°S. Dos 40 casos mais duradouros (em azul), apenas 4 foram localizados sobre o continente (10%).

A figura 14 mostra a posição média dos VCMN que tiveram duração a partir de 18h, pois os casos com duração entre 6 -12 h não foram plotados na imagem por conta da grande quantidade. Com sua predominância sobre o oceano, apenas 4 dos 53 casos mostrados na imagem foram observados sobre o continente e 97,5% dos casos foram observados na área entre 6-21°S. Os VCMN que tiveram duração entre 6-12h foram observados em 72,8% dos casos. Tiveram duração entre 18-24h em 18,6% (marcados em verde) dos casos e maior que 24h em 8,6%. O maior tempo de vida dos VCMN foi visto em julho, com 72h.

Figura 14 - Localização e tempo de vida dos VCMN em 2010, com duração igual ou superior a 18 horas.

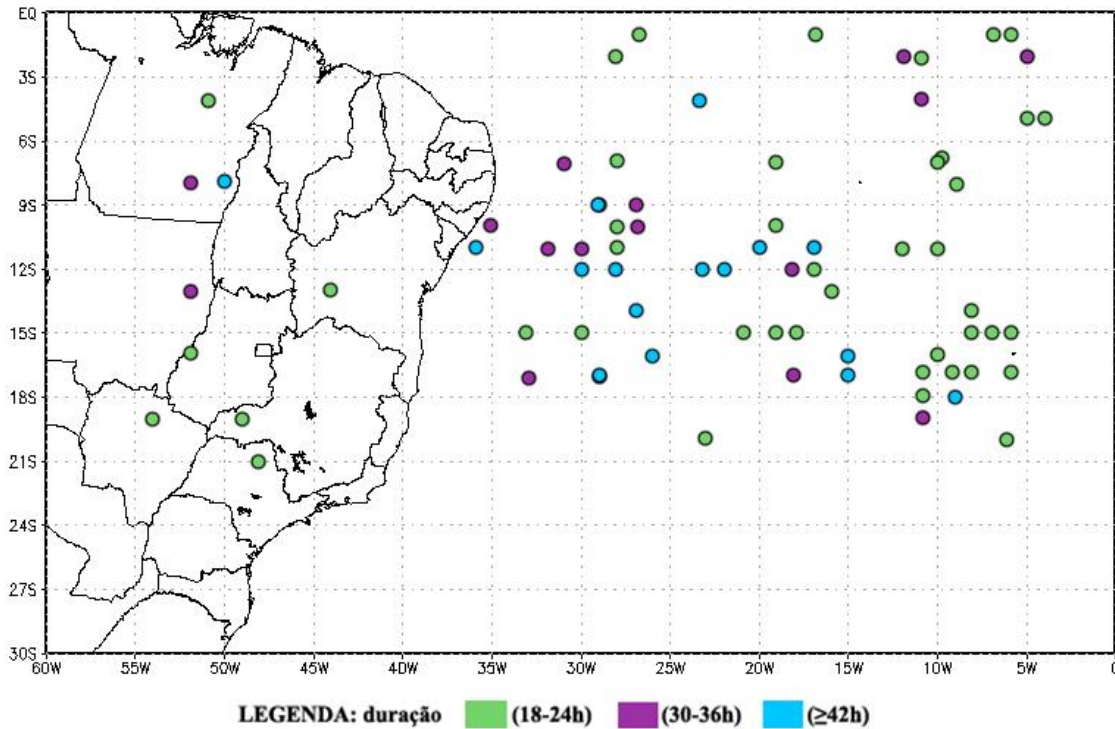


Fonte: Autora, 2012

Os VCMN que tiveram duração entre 6-12h foram observados em 70,2% dos casos. Tiveram duração entre 18-24h em 16,6% dos casos (Figura 15) e maiores que 24h em 13,2%. O maior tempo de vida dos VCMN foi visto em janeiro, com 78h.

Dos 75 casos plotados na figura 15, apenas 9 foram observados sobre o continente (12%). Em apenas 1 caso sobre o continente, no sudeste do estado do Pará, foi observado duração superior a 42 horas.

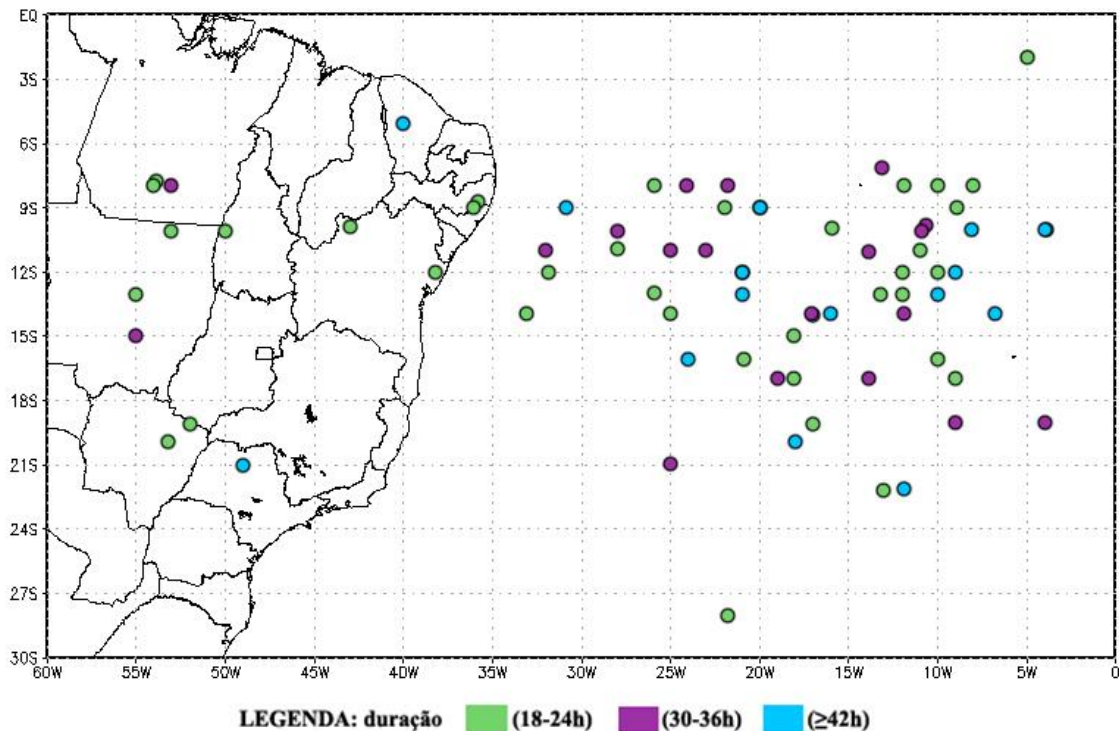
Figura 15 - Localização e tempo de vida dos VCMN em 2009, com duração igual ou superior a 18 horas.



Fonte: Autora, 2012.

Com relação ao tempo de vida 69,1% tiveram duração de até 12 horas, 15,9% até 24 horas, 8,9% até 36 horas e apenas 6,1% tiveram duração o superior a 42 horas. O maior tempo de vida dos VCMN foi visto em junho, com 90h. Com relação à distribuição espacial dos VCMN, observa-se uma maior concentração na faixa entre 6° S – 18°S (Figura 16), mas o padrão de distribuição se mantém semelhante aos demais anos.

Figura 16 - Localização e tempo de vida dos VCMN em 2008, com duração igual ou superior a 18 horas.



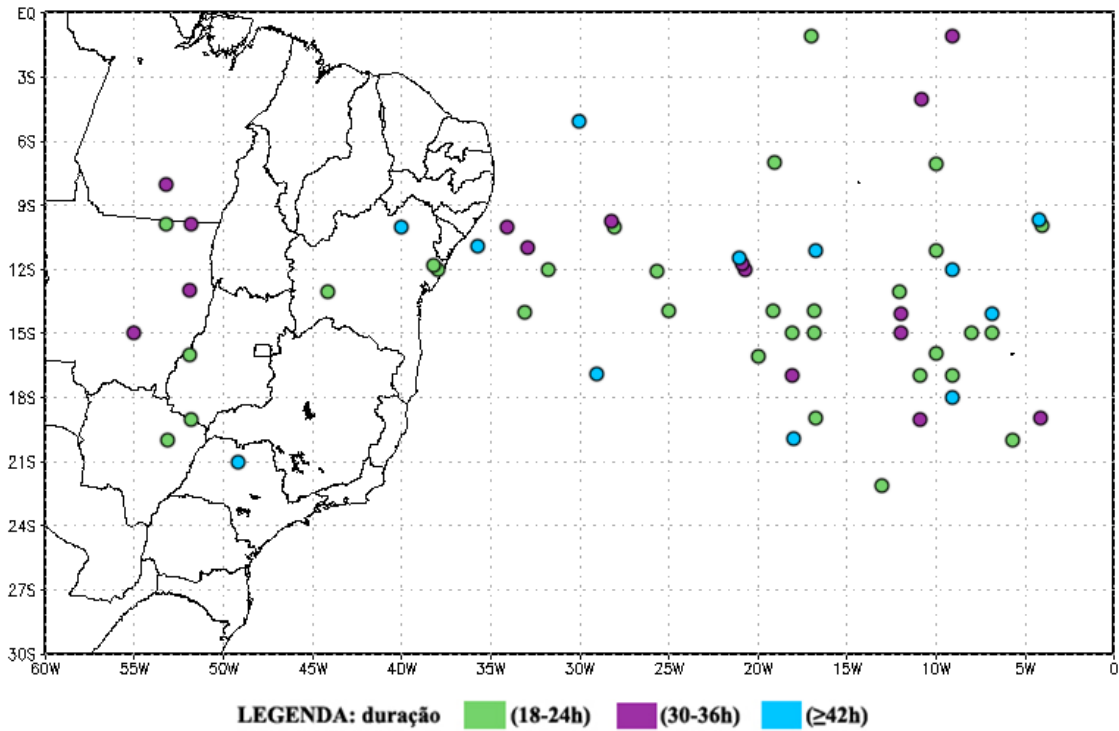
Fonte: Autora, 2012.

4.2.2 Distribuição espacial por estação

Na figura 17 observa-se a distribuição dos VCMN no verão de 2008, 2009 e 2010 juntos, diferenciados por tempo de vida. Do total de 204 casos plotados nas quatro estações, com duração a partir de 18 horas, 59 casos foram observados no verão, totalizando um percentual de 28,9%. Foram observados 13 casos sobre o continente, sendo 2 casos com duração igual ou superior a 42 horas, 4 com duração de 30-36 horas e 7 casos com duração de 18-24 horas.

Sendo assim no verão foi registrado o maior número de casos, também o maior número de casos sobre o continente. Dos 13 casos sobre o continente, 4 foram localizados sobre o nordeste, 1 sobre o sudeste, 7 sobre centro-oeste e 1 sobre norte.

Figura 17 - Localização e tempo de vida dos VCMN para o verão de 2008, 2009 e 2010, com duração igual ou superior a 18 horas.

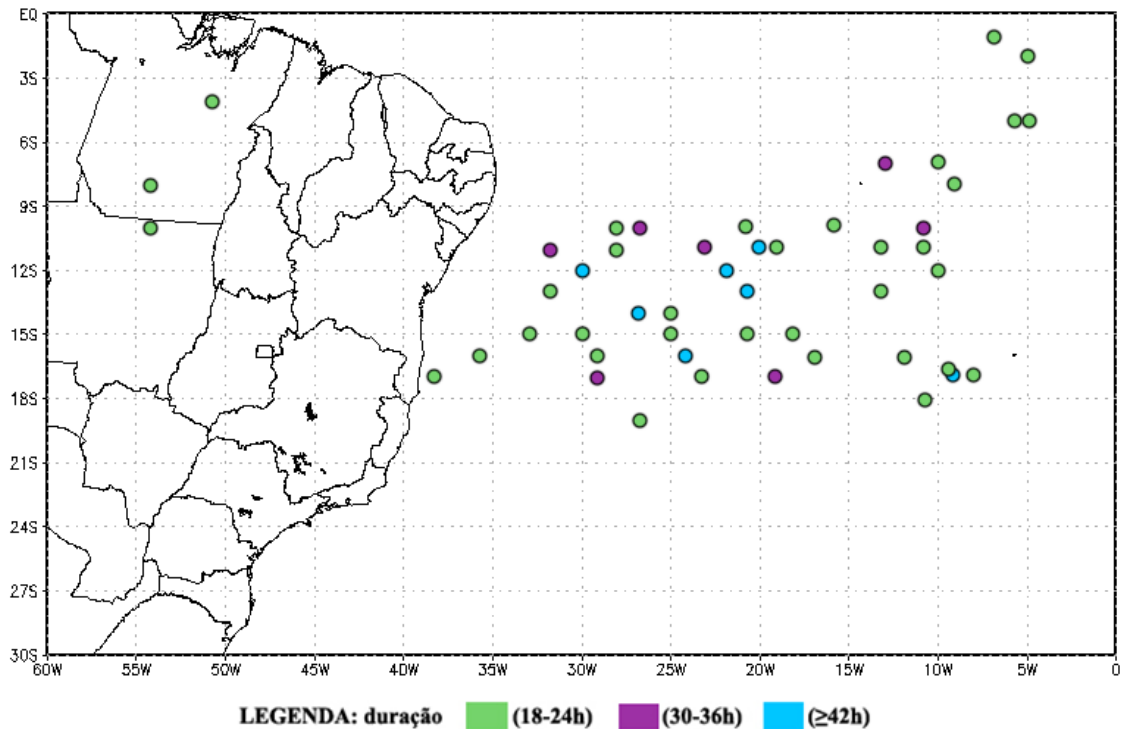


Fonte: Autora, 2012.

Para o outono de 2008, 2009 e 2010 foi plotada a figura 18, com o total de 49 casos (24,0% dos casos com duração igual ou superior a 18 horas). Deste total, três foram localizados sobre o continente, 2 no norte e 1 no centro-oeste, todos com duração de 18-24 horas. No período do outono os casos se localizaram preferencial na faixa entre 9°S e 18°S sobre o oceano.

Com relação ao tempo de duração, 85,7% dos casos mais duradouros (duração ≥ 42 horas) foram localizados na área de 11°S- 16°S e 19°W-31°W.

Figura 18 - Localização e tempo de vida dos VCMN para o outono de 2008, 2009 e 2010, com duração igual ou superior a 18 horas.

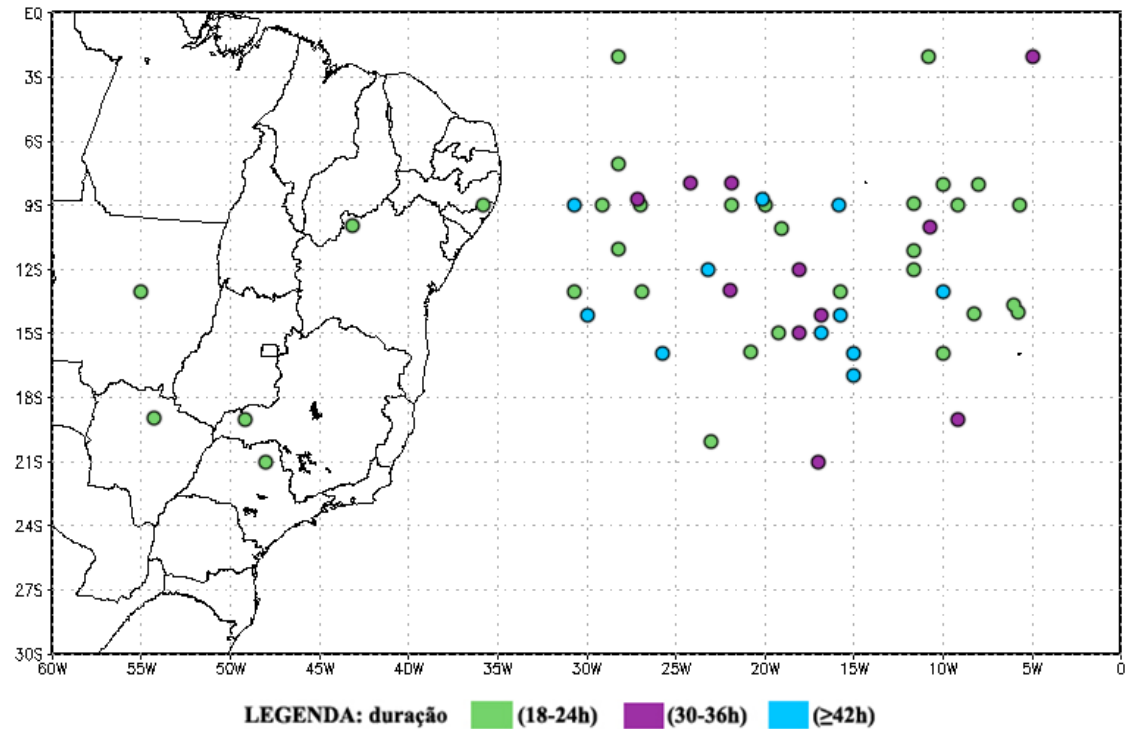


Fonte: Autora, 2012.

No inverno desses três anos (Figura 19) foram contabilizados 54 casos, 26,5% do total com duração igual ou superior a 18 horas, 6 desses sobre o continente, com duração entre 18-24 horas (ponto em verde no mapa). No período do inverno os casos se localizaram preferencial na faixa entre 8°S e 16°S sobre o oceano.

Vale ressaltar que no inverno foi observado um relevante número de casos, ficando abaixo apenas do número de casos observados no verão, o mesmo foi observado com relação aos casos mais duradouros (duração ≥ 42 horas), sendo observados 11 casos no inverno e 12 casos no verão.

Figura 19 - Localização e tempo de vida dos VCMN para o inverno de 2008, 2009 e 2010, com duração igual ou superior a 18 horas.

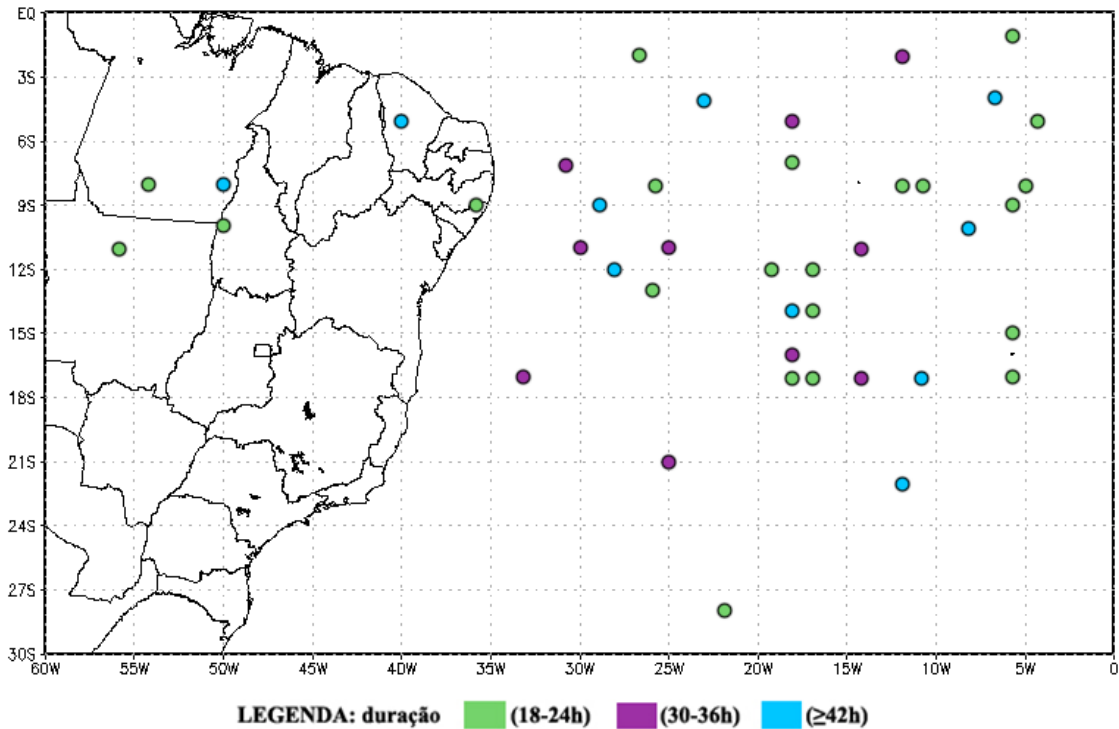


Fonte: Autora, 2012.

Na primavera (Figura 20) desses três anos em estudo, foram contabilizados 42 casos, o menor número dentre as outras estações, representando 20,6%. Quanto à distribuição espacial, foi observado um padrão com maior espalhamento, predominando na faixa do equador a 18°S, padrão semelhante ao observado no verão.

Com relação ao tempo de vida e distribuição espacial não foi observado nenhum padrão definido. Dentre os casos plotados na imagem, 10 tiveram duração igual ou superior a 42 horas, os quais foram observados tanto no continente quanto sobre o oceano. Com duração de 30-36 horas foram contabilizados 10 casos, todos sobre o oceano, distribuídos numa área ampla. Entre 18- 24 horas de duração têm-se 22 casos visualizados desde as proximidades do equador até 30°S.

Figura 20 - Localização e tempo de vida dos VCMN para a primavera de 2008, 2009 e 2010, com duração igual ou superior a 18 horas.



Fonte: Autora, 2012.

4.3 VCMN nos anos de La Niña e El Niño

Em janeiro de 2010 o fenômeno El Niño estava na fase ativa (Tabela 2), com predominância de águas superficiais mais quentes que o normal na região do Pacífico Equatorial, essa condição persistiu até maio. Em junho e julho foi observada uma condição de neutralidade, e em agosto iniciou-se o desenvolvimento do fenômeno La Niña, o qual foi observado até o fim de 2010.

Acompanhado as condições atmosféricas/oceânicas no ano de 2009 verifica-se que o ano iniciou com uma condição de anomalias negativas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) evidenciando a atuação do fenômeno La Niña, declinando em março para uma condição de neutralidade, a partir de julho iniciou a configuração do El Niño, persistindo até dezembro.

Continuando a análise dos campos oceânicos e atmosféricos de escala global em 2008, destacaram a atuação do fenômeno La Niña de janeiro a junho, seguindo de um período de neutralidade e retornando a condição de La Niña em dezembro.

Comparando o número de casos de VCMN com as condições de ENOS (no setor Niño 4) observados mês a mês, no verão (DJF) os máximos de casos de VCMN foram registrados em períodos de La Niña, nas demais estações não houve padrão, mostrando nenhuma relação direta.

Concordando assim com os estudos realizados Valverde Ramírez, Ferreira e Campos Velhos (2004) os quais avaliaram a relação entre a frequência de VCAN e os eventos de El Niño e La Niña prolongados, mas não observaram nenhuma relação direta. No estudo anterior de Valverde Ramírez, Kayano e Ferreira (1999) também não encontraram uma relação clara entre a diminuição ou aumento da frequência dos VCAN e os eventos de El Niño e La Niña. Entretanto, encontraram características relacionados à estrutura vertical.

Tabela 2 - Número de casos de VCMN e condições de EL Niño (EN) / La Niña (LN) e eventos de neutralidade (N), observados no setor do Niño 4.

2010	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
ENOS	EN	EN	EN	EN	EN	N	N	LN	LN	LN	LN	LN
Nº VCMN	20	22	14	30	13	12	20	14	18	21	16	13
2009	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
ENOS	LN	LN	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN
Nº VCMN	14	24	23	19	21	21	20	29	15	26	13	19
2008	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
ENOS	LN	LN	LN	LN	LN	LN	N	N	N	N	N	LN
Nº VCMN	40	10	24	23	17	20	20	27	8	15	19	25

Fonte: Autora, 2012.

4.4 Localizações de VCMN pela altura

Analisando e contabilizando cada campo de linha de corrente, foi possível definir os níveis preferenciais de surgimento do VCMN. Nota-se que 41% dos VCMN foram observados no nível de 700 hPa, 27% no nível de 600 hPa, 22% no nível de 500 hPa, 7% no nível de 400 hPa e apenas 3% deles no decorrer do seu desenvolvimento se estenderam ao nível de 800 hPa.

4.5 Estudo de casos

Para o estudo de casos, foram selecionados dois casos para uma análise mais detalhada, utilizando-se os seguintes critérios de escolha:

- A. Foi selecionado o caso cuja localização do VCMN fosse próximo ao NEB;
- B. Foi dada prioridade aos VCMN mais duradouros, com duração maior ou igual a 42 horas;
- C. A princípio optou-se por escolher casos que não coincidissentem com a atuação de um VCAN nas proximidades do NEB.

4.5.1 Caso 1- 12/06/2008 às 18 UTC até 14/06/2008 às 12UTC

4.5.1.1 Identificação e deslocamento

A evolução do VCMN através do campo de vorticidade no nível de 700 hPa é observada na figura 21. No primeiro momento ele se encontra na costa leste do NEB, com seu centro ao leste do estado de Sergipe. Nesse momento, um centro de vorticidade potencial ciclônica de -2×10^{-5} um pouco deslocado a sudeste da posição do centro do VCMN no campo de linhas de corrente, associado a esse sistema tem um cavado quase zonal com vorticidade ciclônica de -1×10^{-5} . Posteriormente (Figura 21b) o sistema fica menos configurado e o núcleo de fraca vorticidade ciclônica se posiciona a sudoeste da área central do sistema. Em sua fase final, no centro e toda a região sul do sistema, prevaleceram a vorticidade ciclônica fraca.

Figura 21 - Campos compostos da vorticidade reativa ($\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$) e escoamento em 700 hPa, para: (a)12/06/2008 às 18UTC, (b)13/06/2008 às 12UTC e (c)14/06/2008 às 12UTC (Continua).

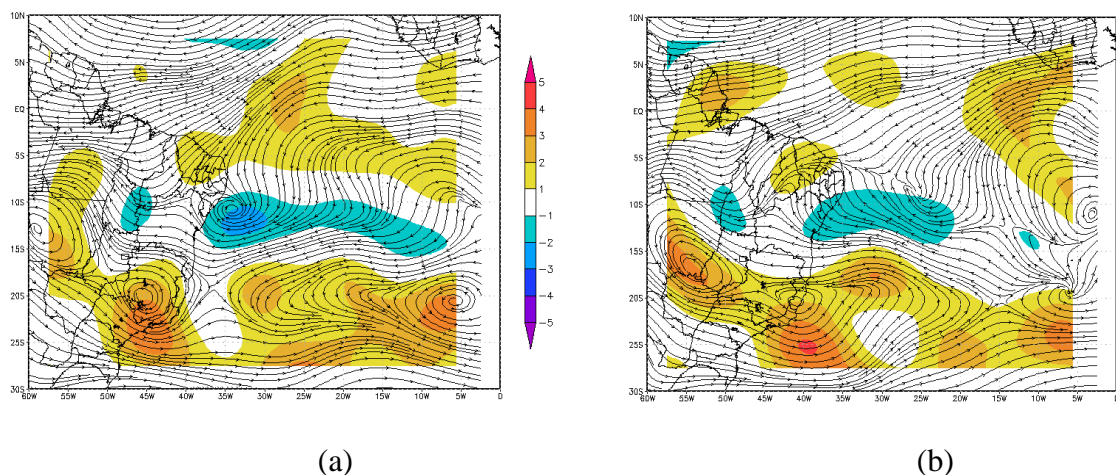
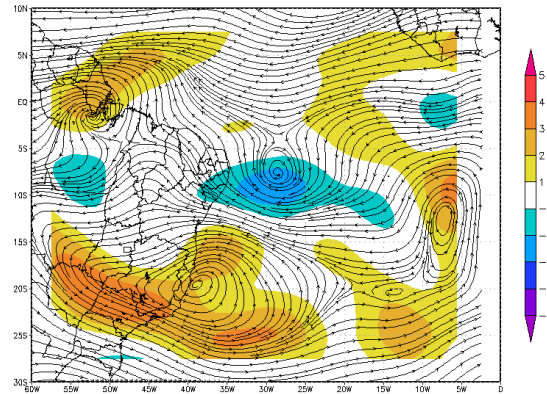


Figura 21 - Campos compostos da vorticidade reativa ($\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$) e escoamento em 700 hPa, para: (a) 12/06/2008 às 18UTC, (b) 13/06/2008 às 12UTC e (c) 14/06/2008 às 12UTC (Continuação).

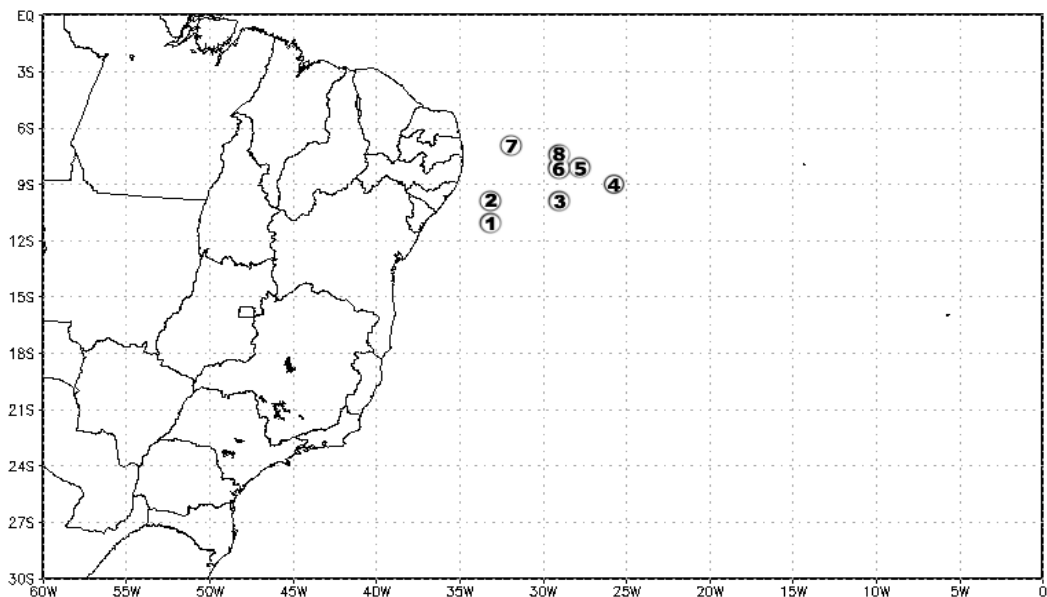


(c)

Fonte: Autora, 2012.

Na figura 22 é apresentado o posicionamento e o deslocamento dos VCMN de 6 horas em 6 horas, do dia 12 a 14 de junho de 2008. Inicialmente o VCMN foi observado nas proximidades da costa do NEB, ao leste dos estados de Sergipe e Alagoas. Posteriormente se afastou mais do continente se posicionando em torno de 30°W. Entretanto, em todo período se manteve no quadrante entre 6°S-12°S e 27°W -32°W.

Figura 22 - Posicionamento médio e deslocamento dos VCMN, no período de 12 a 14 de junho de 2008.

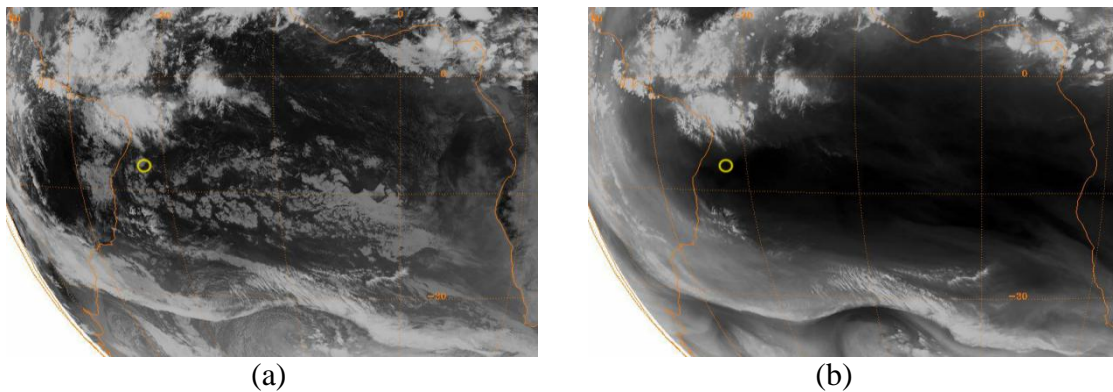


Fonte: Autora, 2012.

Na análise das imagens de satélite para o dia 12/06/2008 às 18UTC (Figura 23), observa-se a atuação de LI sobre a região norte do nordeste associado à ZCIT, estes sistemas

se posicionam ao norte do VCMN. É notável a atuação do jato subtropical no sul do Brasil. Sobre a área oceânica, a frente fria ondulou entre o litoral de São Paulo e o norte da Região Sul. Observa-se também um sistema frontal nas proximidades do litoral do Rio Grande do Sul. A nebulosidade observada foi cumulonimbus associado às LI nas proximidades do VCMN ocorreu ao norte, e nas periferias observou-se stratocumulus.

Figura 23 - Imagem do satélite Meteosat - 9 para o dia 12/06/2008 às 18UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV.



Fonte: NOAA/NESDIS/NCDC, adaptada pela Autora, 2012.

Na figura 24 para o dia 13/06/2008 às 12 UTC, ainda se observa a atuação do jato subtropical e atuação conjunta da ZCIT e a LI. Só que menos intensa que na imagem anterior

Figura 24 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 13/06/2008 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continua).

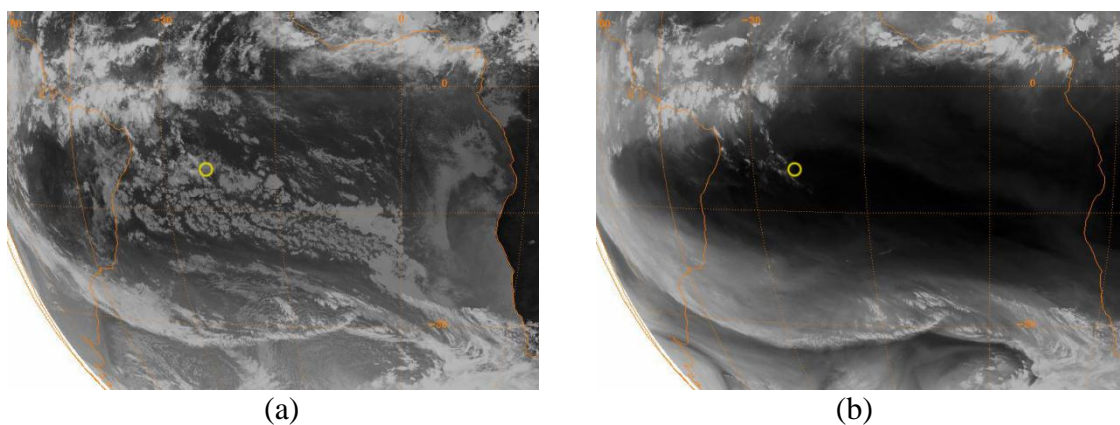
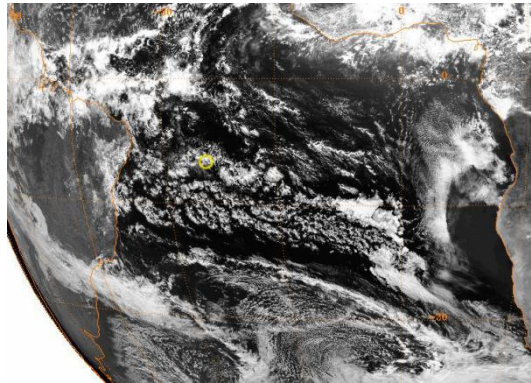


Figura 24 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 13/06/2008 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continuação).



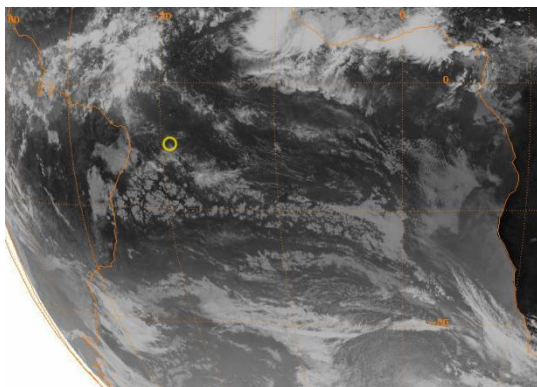
(c)

Fonte: NOAA/NESDIS/NCDC, adaptada pela Autora, 2012.

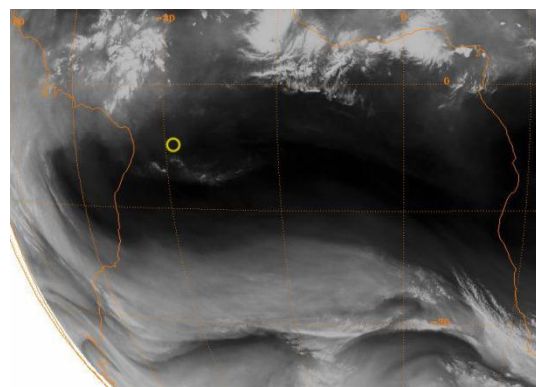
Na fase final de duração do VCMN (Figura 25) mantém-se um padrão semelhante ao observado no dia anterior, com uma leve diminuição na nebulosidade.

Segundo o boletim do climanálise, nesse período destacou-se a atuação do jato subtropical durante a primeira quinzena de junho, especialmente no período de 12 e 15, quando atingiu magnitude média superior a 70 m/s sobre a Região Sul do Brasil, contribuindo para a maior atividade dos sistemas frontais e incursão de massas de ar frio sobre o centro-sul do Brasil.

Figura 25 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 14/06/2008 às 12UTC, nos canais: a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continua).

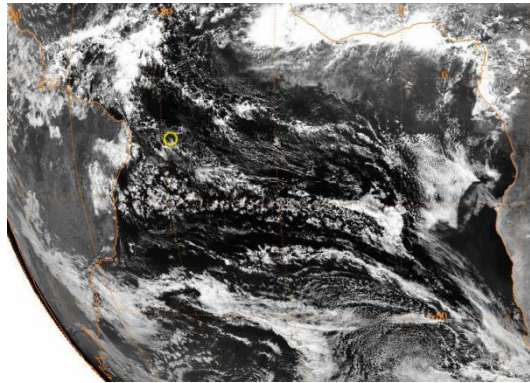


(a)



(b)

Figura 25 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 14/06/2008 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continuação).



(c)

Fonte: NOAA/NESDIS/NCDC, adaptada pela Autora, 2012.

Na tabela 3 é mostrada a distribuição vertical e temporal do VCMN. Observa-se que o sistema teve duração de 48 horas. Nas primeiras 6 horas de vida, o VCMN foi verificado nos níveis de 700 hPa a 600 hPa e nos demais apenas em 700 hPa.

Tabela 3 - Distribuição vertical do VCMN, no período de 12 a 14 de junho de 2008.

Níveis de Pressão (hPa)	12.06.08		13.06.08		14.06.08			
	UTC							
	18	00	06	12	18	00	06	12
200								
300								
400								
500								
600	X							
700	X	X	X	X	X	X	X	X
800								
900								
1000								

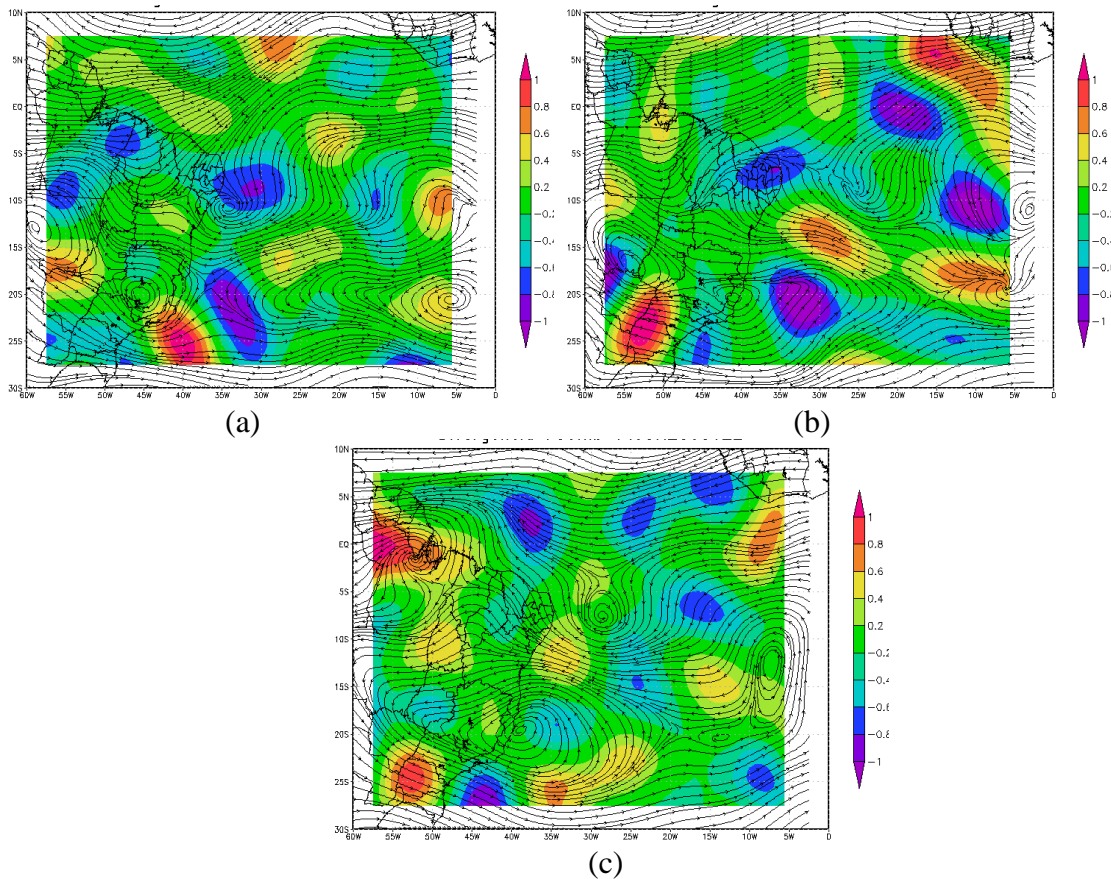
Fonte: Autora, 2012.

4.5.1.2 Estrutura e movimentos verticais

Antes da formação do VCMN, mas na mesma região de origem, foi identificada uma área de forte convergência de massa e confluência. Em todo o período de existência do VCMN foi observado à predominância de convergência de massa na região central do VCMN

(Figura 26). A princípio foi observada convergência leve, passando para uma leve divergência as 00UTC do dia 13/06/2008, depois a convergência começou a se intensificar até seu pico máximo às 18UTC do dia 13/06/2008 e desintensificando até o fim do seu ciclo de vida às 12UTC do dia 14/06/2008.

Figura 26 - Campos compostos de divergência horizontal ($\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$) e escoamento em 700 hPa, para: (a)12/06/2008 às 18UTC, (b)13/06/2008 às 12UTC e (c) 14/06/2008 às 12UTC.



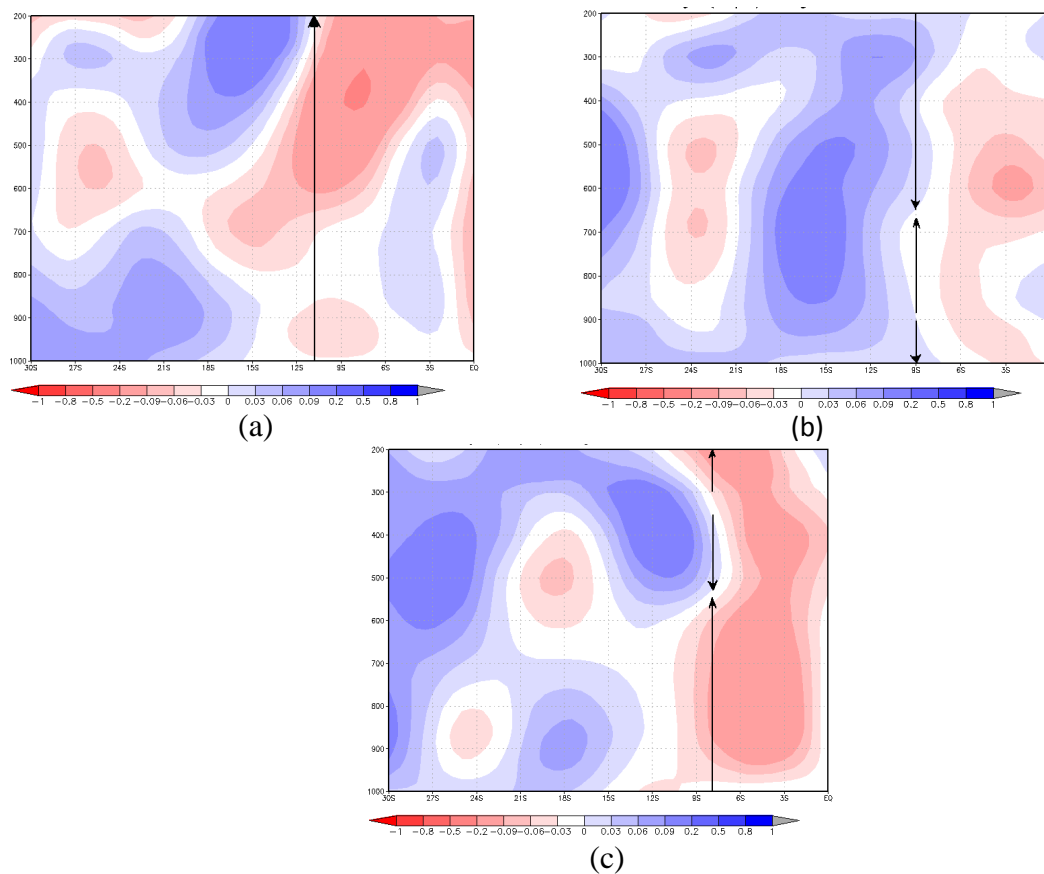
Fonte: Autora, 2012.

Quanto aos movimentos verticais, observa-se na fase inicial do VCMN (Figura 27a) a predominância de movimentos verticais ascendentes, fracos até o nível de 700 hPa e de moderado a forte as proximidades de 300 hPa.

Já numa fase intermediária (Figura 27b), foram verificados movimentos descendentes fracos de 900 hPa a superfície, movimentos ascendentes fracos deste ultimo até 650 hPa, da ordem de $-0,03 \text{ Pa/s}$ e movimentos descendentes de fraco a moderado de 650 hPa a 200 hPa.

No ultimo campo em que ainda se observa o VCMN (Figura 27c), é visto predominância de movimentos verticais ascendentes desde a superfície até o nível de 550 hPa e do nível de 320 hPa a 200 hPa.

Figura 27 - Seção vertical de ômega (Pa/s) em 11°S (a), 9°S (b), 8°S (c) de latitude para: 12/06/2008 às 18UTC, 13/06/2008 às 12UTC e 14/06/2008 às 12UTC, respectivamente. As setas indicam: ↑ movimentos ascendentes e ↓ movimentos descendentes.



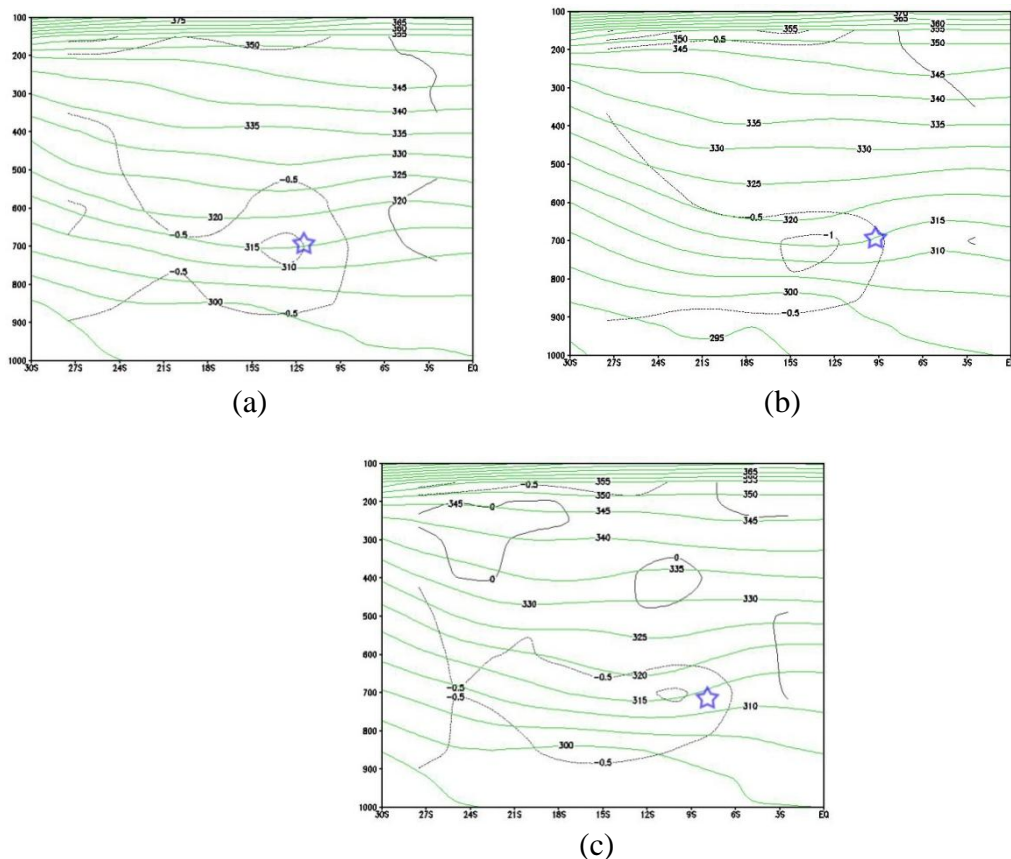
Fonte: Autora, 2012.

Na figura 28 é apresentado o perfil vertical da vorticidade potencial de Ertel em coordenadas isobáricas, no centro do VCMN no seu momento inicial, desenvolvimento médio e momento final de vida. Na figura 28a, na fase inicial de desenvolvimento, se observa o centro fechado de vorticidade potencial de -1 UVP, no nível em que foi observado o VCMN (700 hPa). Nos campos apresentados não há evidências de incursões de ar estratosférico, verificados através dos valores da vorticidade potencial de Ertel que não ultrapassaram -1 UVP. Foram observados aproximadamente no nível de 700 hPa (nível onde foi observado o

VCMN) centros fechados de -1 UVP no centro ou proximidades do VCMN. Essa característica foi observada até o momento final de sua vida (Figura 28c).

Conforme Holton *et al* 1995 independente do método de identificação, os VCAN podem estar associados com intensa troca de ar entre estratosfera-troposfera. Tal característica não foi associada ao desenvolvimento do VCMN, pois não foram observados nenhuma anomalia de vorticidade potencial que indicasse a incursão de ar estratosférico, confirmados pelo lineares de vorticidade potencial inferiores a -1,0 UVP.

Figura 28 - Secção vertical em coordenada vertical de pressão, da temperatura potencial (K, em verde) e vorticidade potencial de Ertel (UVP, em preto) para: (a) 12/06/2008 às 18 UTC em 33°W; (b) 13/06/2008 às 12 UTC em 26°W; (c) 14/06/2008 às 12UTC em 29°W. A estrela em azul marca o centro do VCMN.

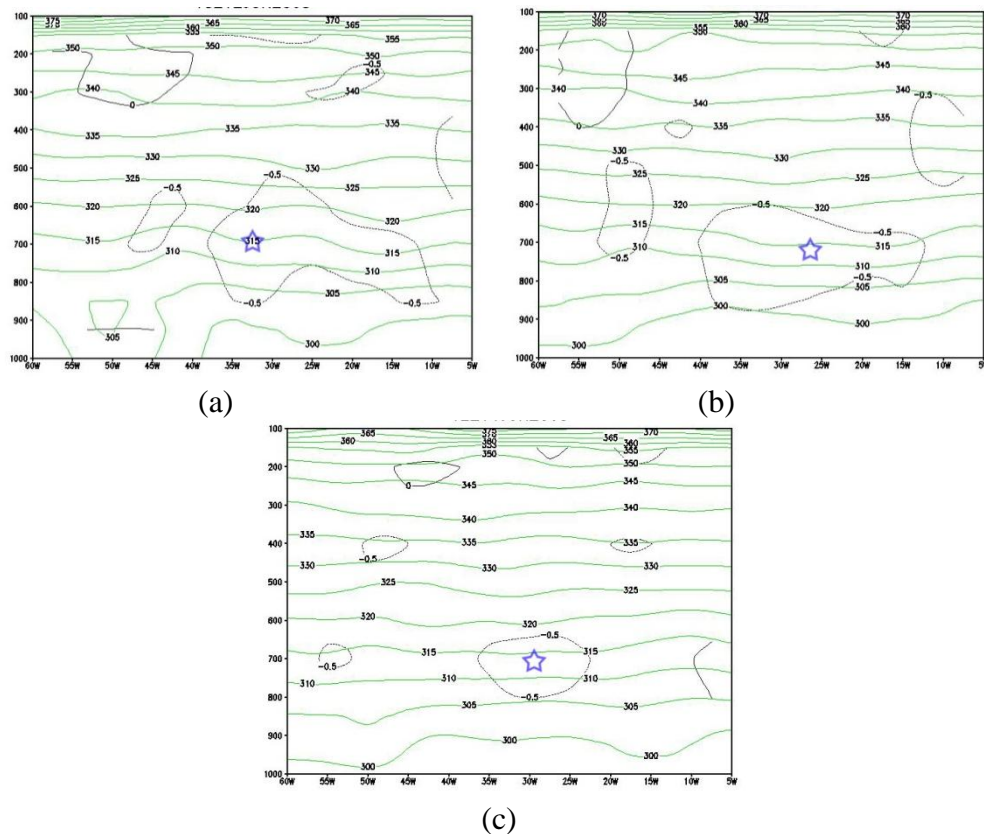


Fonte: Autora, 2012.

No corte latitudinal sobre o centro do VCMN (Figura 29) para os mesmos períodos da imagem anterior, mostra que o sistema está envolto no núcleo de vorticidade potencial de -0,5 UVP, o qual foi se desintensificando até último caso no qual se observa o sistema. Quanto a ondulação da temperatura potencial, observa-se uma leve ondulação sobre o centro do VCMN

(Figura 29a), a qual foi se desconfigurando, até ficarem paralelas na proximidade do sistema no fim de vida (Figura 29c).

Figura 29 - Secção vertical em coordenada vertical de pressão, da temperatura potencial (K, em verde) e vorticidade potencial de Ertel (UVP, em preto) para: (a) 12/06/2008 às 18 UTC em 11°S; (b) 13/06/2008 às 12 UTC em 9°S; (c) 14/06/2008 às 12UTC em 8°S. A estrela em azul marca o centro do VCMN.



Fonte: Autora, 2012.

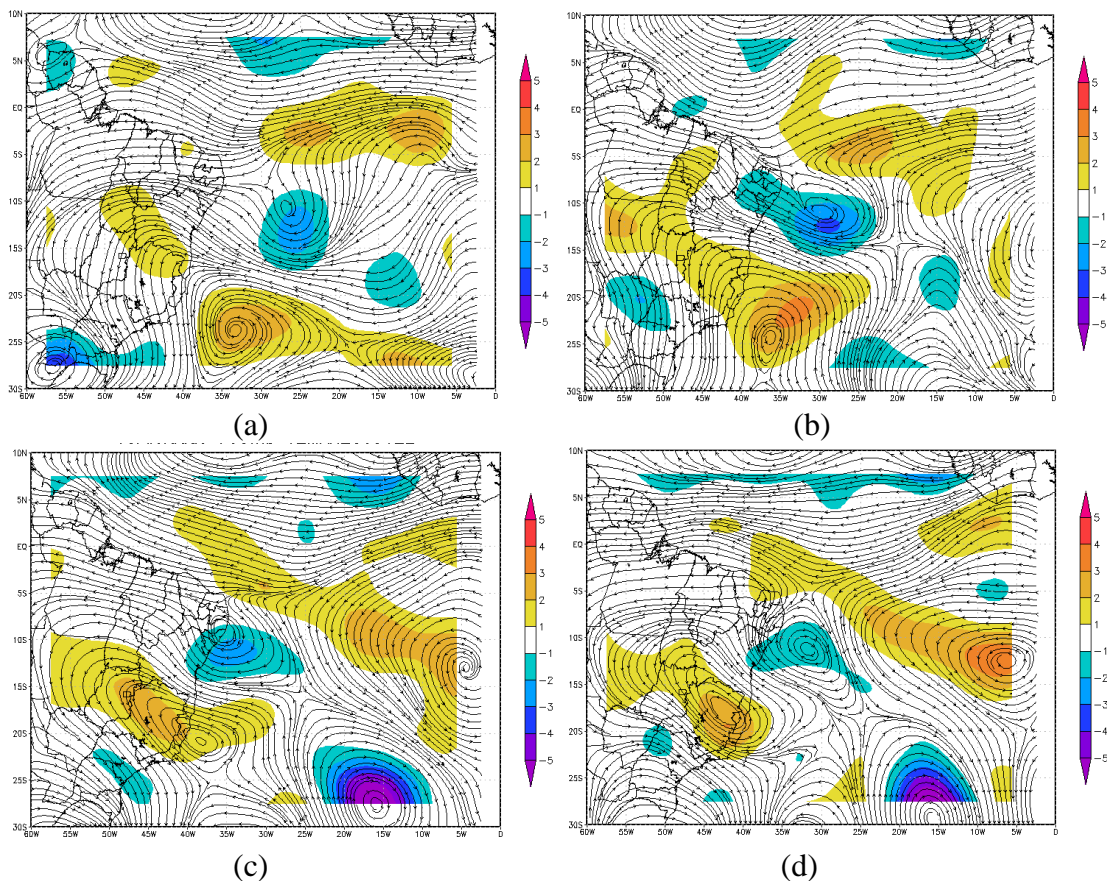
4.5.2 Caso 2- 10/03/2009 às 12 UTC até 13/03/2009 às 12 UTC

4.5.2.1 Identificação e deslocamento

Associado ao escoamento de leste e entre duas cristas inicia-se a formação do VCMN (Figura 30a), numa região de vorticidade relativa entre -1×10^{-5} e -2×10^{-5} . Posteriormente (Figura 30b) essas cristas se intensificam, bem como a vorticidade anticiclônica associada a elas se intensifica, com isso também é observado a intensificação do VCMN e da vorticidade ciclônica do seu centro. Na figura 30c e 30d observa-se o VCMN associado a uma circulação ciclônica com forte vorticidade ciclônica, bem como os sistemas de anticiclones e crista que

estão acoplados e atuam desde 40°S até as proximidades do Equador com alinhamento SE/NW.

Figura 30 - Campos compostos da vorticidade relativa ($\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$) e escoamento em 700 hPa, para: (a) 10/03/2009 às 12UTC, (b) 11/03/2009 às 12UTC, (c) 12/03/2009 às 12UTC e 13/03/2009 às 12UTC.

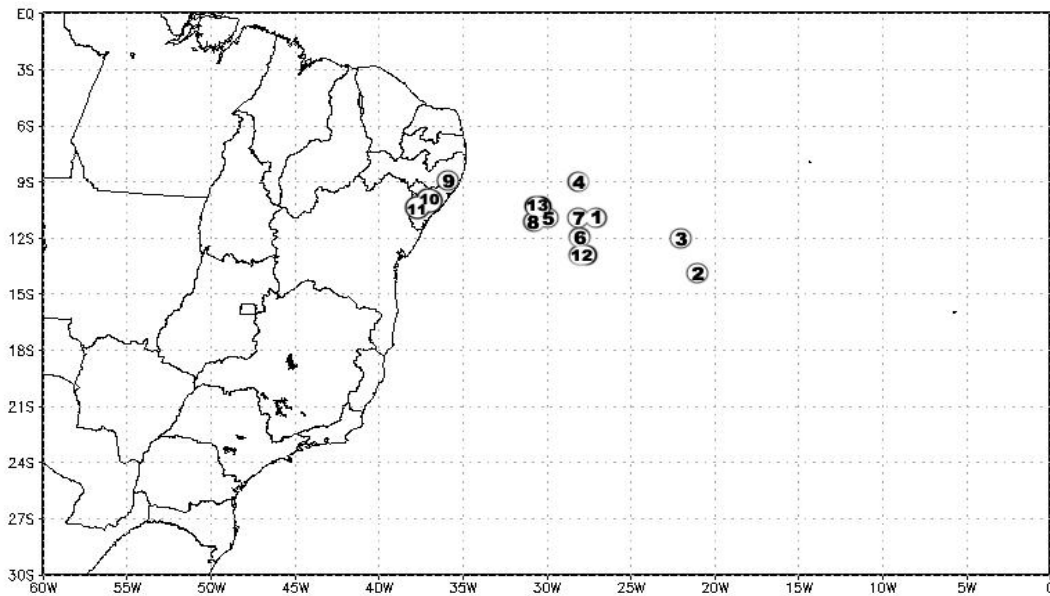


Fonte: Autora, 2012.

Na figura 31 é mostrado o deslocamento do VCMN durante todo o seu tempo de vida. Em boa parte do tempo de vida, ele se manteve sobre o oceano na área entre 8°S- 14°S e 20°W-33°W, e das 12 UTC do dia 12/03/2009 até às 00 UTC do dia 13/03/2009 foi observado sobre a costa leste do NEB, entre o estados de Pernambuco (PE) e Sergipe (SE).

Quanto a trajetória, o sistema teve origem em 11°S/27°W desloca-se na direção sudeste para 14°S/22°W, depois no sentido NW, onde permaneceu mais estacionário, ficando na área entre 9°S- 12°S e 28°W- 32°W depois de deslocando para o continente e chegando ao fim da vida em 10°S/31°W.

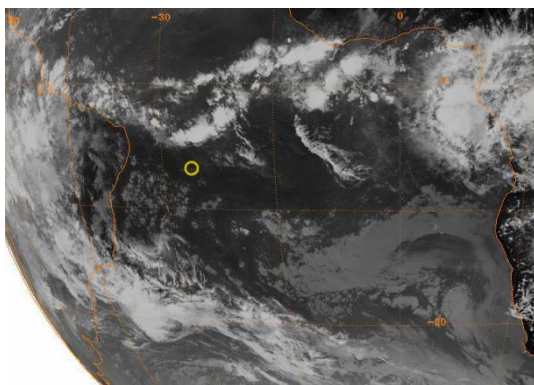
Figura 31 - Posicionamento médio e deslocamento dos VCMN, no período de 10 a 13 de março de 2009.



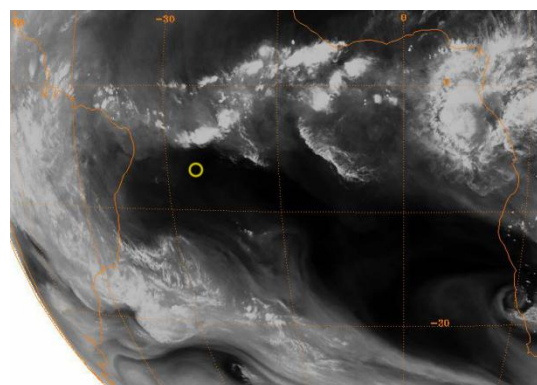
Fonte: Autora, 2012.

A figura 32 refere-se ao início do surgimento do VCMN, imagens apresentadas nos canais IR, WV e VIS, respectivamente. Observa-se uma nebulosidade significativa sobre o continente associado ao cavado em altos níveis e a um cavado em superfície sobre o oceano, a leste do estado de SP, o qual favorece a convergência de umidade. Também verifica-se a atuação do jato subtropical, nas proximidades de 30°S na direção NW/ SE. Na periferia norte do VCMN foi observado cumulonimbus isolados, ligados a ZCIT. Nas periferias S e SW nota-se a existência de cumulus, na região central do VCMN observa-se cumulus isolados.

Figura 32 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 10/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continua).

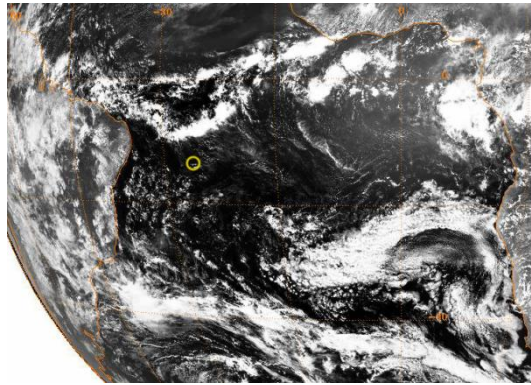


(a)



(b)

Figura 32 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 10/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continuação).

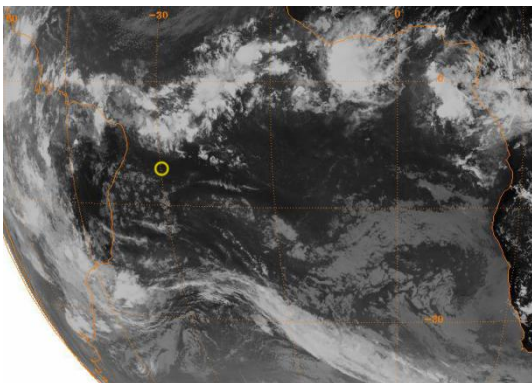


(c)

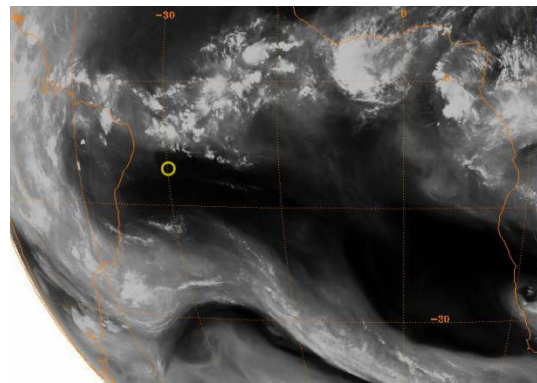
Fonte: NOAA/NESDIS/NCDC, adaptada pela Autora, 2012.

Após 30 horas de surgimento do VCMN (Figura 33), observa-se a persistência da ondulação na ZCIT em direção a ele, esta ondulação se definiu após o surgimento dele. A nebulosidade associada a ZCIT se intensifica e mantém sua curvatura em direção ao sistema. Persiste a formação de cumulus principalmente na periferia a SW e W. Observa-se a maior ondulação da corrente de jato em relação ao dia anterior.

Figura 33 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 11/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continua).

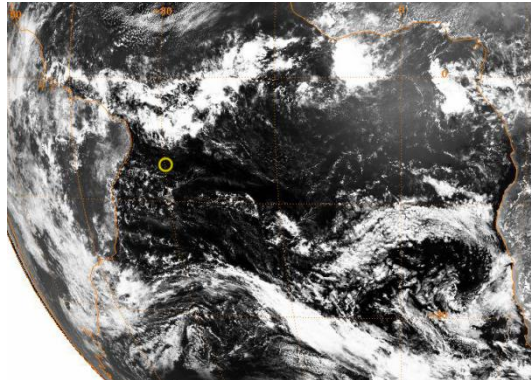


(a)



(b)

Figura 33 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 11/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continuação).

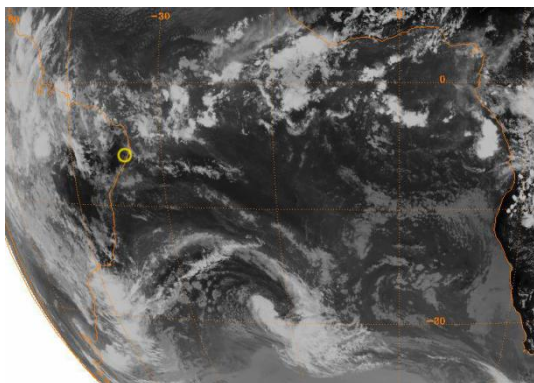


(c)

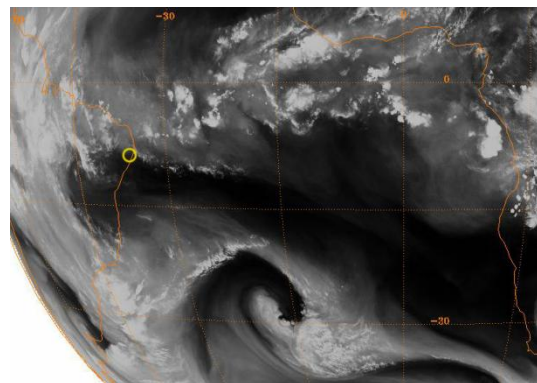
Fonte: NOAA/NESDIS/NCDC, adaptada pela Autora, 2012.

Na figura 34 são apresentadas as imagem de satélite com 54 horas após a formação do sistema, observa-se a formação de uma família de ciclones, um nas proximidade do extremo sul brasileiro e o outro sobre o oceano Atlântico. A ondulação da ZCIT em direção ao VCNM se desconfigura, e a banda de nebulosidade associada a ZCIT fica menos intensa sobre o oceano e abrange uma faixa um pouco mais larga. Na periferia norte do VCMN observa-se a predominância de nuvens médias, do tipo altostratus e altocumulus e nas demais periferias observam-se cumulus. O setor com ausência de umidade, próximo ao centro do sistema, visto na imagem de vapor d'água se estreita, sobre a influência do sistema frontal sobre o oceano.

Figura 34 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 12/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continua).

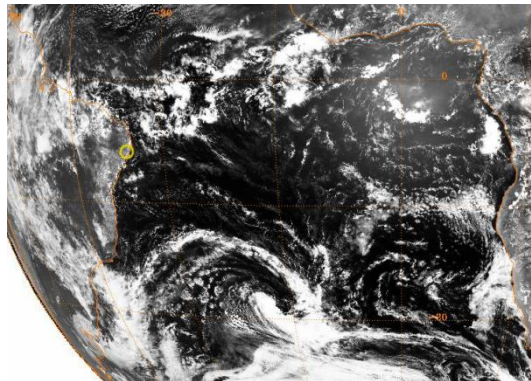


(a)



(b)

Figura 34 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 12/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continuação).

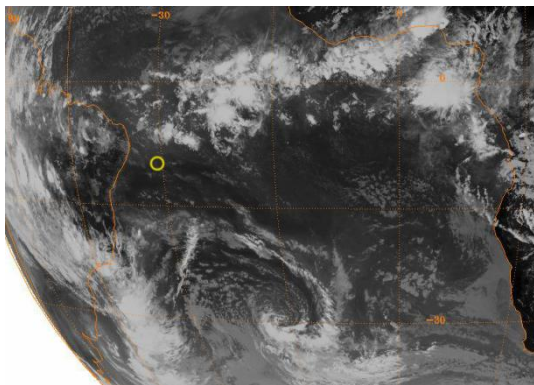


(c)

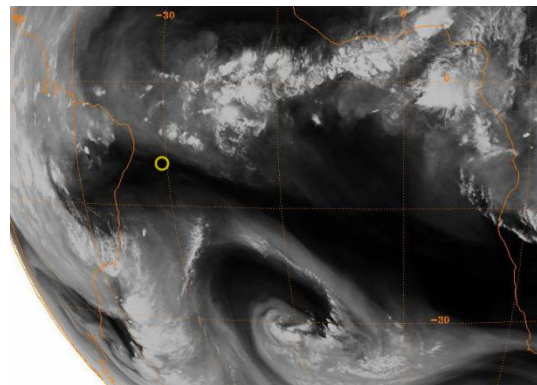
Fonte: NOAA/NESDIS/NCDC, adaptada pela Autora, 2012.

Na fase final de vida, no dia 13/03/2009 às 12 UTC (Figura 35), observa-se a ZCIT menos intensa acima do VCMN, é observado atuação de um sistema frontal na costa do RS e outro sobre o oceano alinhando-se com ele e a influência de sua nebulosidade fica mais próximo a periferia sul, diminui o número de cumulus na periferia NW e W.

Figura 35 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 13/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continua).

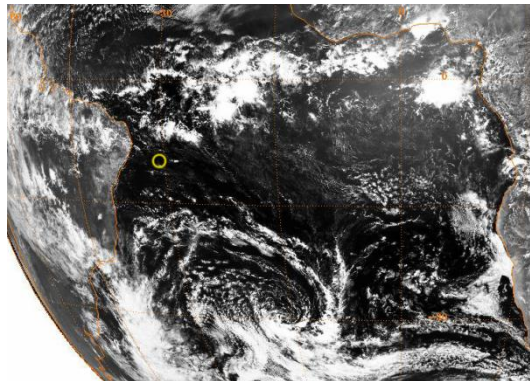


(a)



(b)

Figura 35 - Imagem do satélite Meteosat – 9, para o dia 13/03/2009 às 12UTC, nos canais: (a) IR, (b) WV e (c) VIS (Continuação).



(c)

Fonte: NOAA/NESDIS/NCDC, adaptada pela Autora, 2012.

Na tabela 4 é apresentada a estrutura vertical do VCMN ao longo da sua vida, do dia 10/03/09 às 12UTC a 13/03/09 às 12UTC. Observa-se que desde sua gênese até sua dissipação, o VCMN permaneceu no nível de 700 hPa, e teve duração total de 78 horas.

Tabela 4 - Distribuição vertical do VCMN, no período de 10 a 13 de março de 2009.

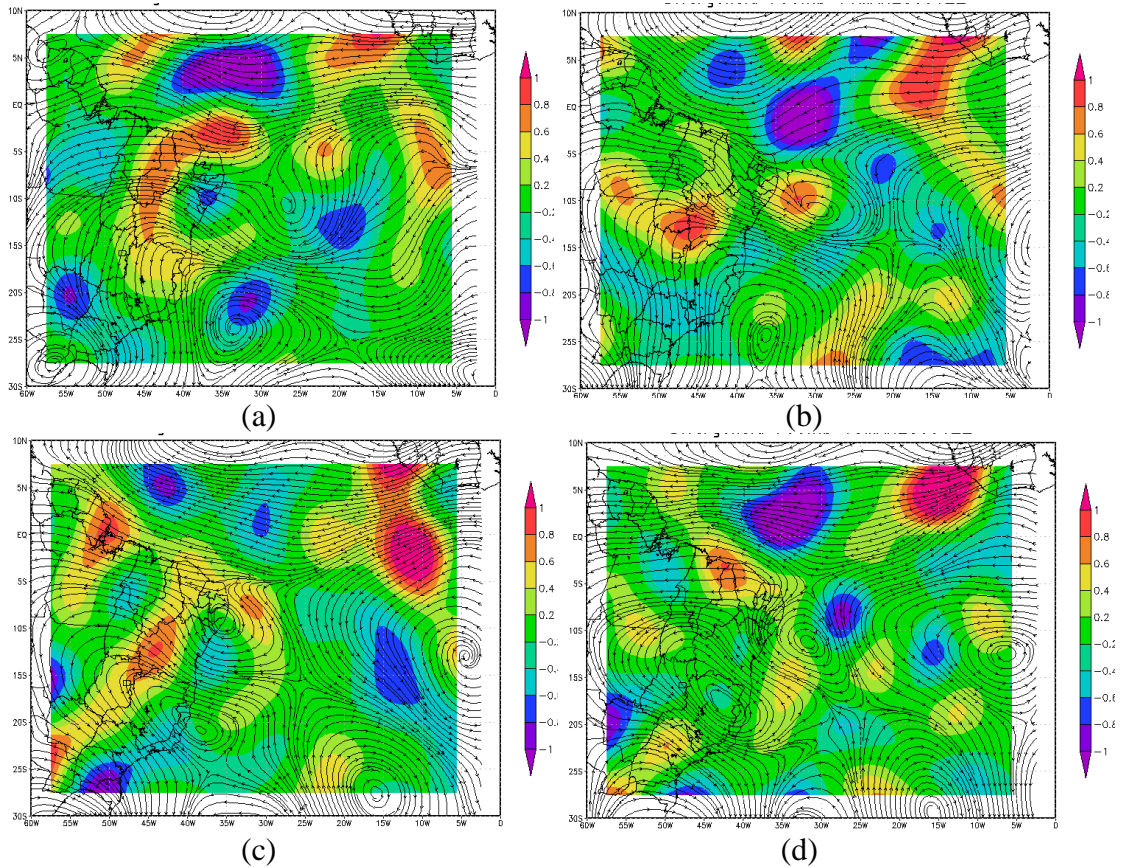
Níveis de Pressão (hPa)	10.03.09		11.03.09				12.03.09				13.03.09		
	UTC												
	12	18	00	06	12	18	00	06	12	18	00	06	12
200													
300													
400													
500													
600													
700	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
800													
900													
1000													

Fonte: Autora, 2012.

4.5.2.2 Estrutura e movimentos verticais

A princípio foi observado divergência nula (Figura 36 a), na figura seguinte, 30 horas após o surgimento do VCMN (Figura 36 b), é notado um núcleo de divergência deslocado a NW do centro do sistema. Na figura 36c há o predomínio de divergência ao redor do sistema, com um núcleo de leve convergência ao sul do sistema. No campo que representa o momento final do sistema nota-se divergência próximo do nulo, e na região das cristas na parte equatorial, observa-se divergência a esquerda e convergência a direita.

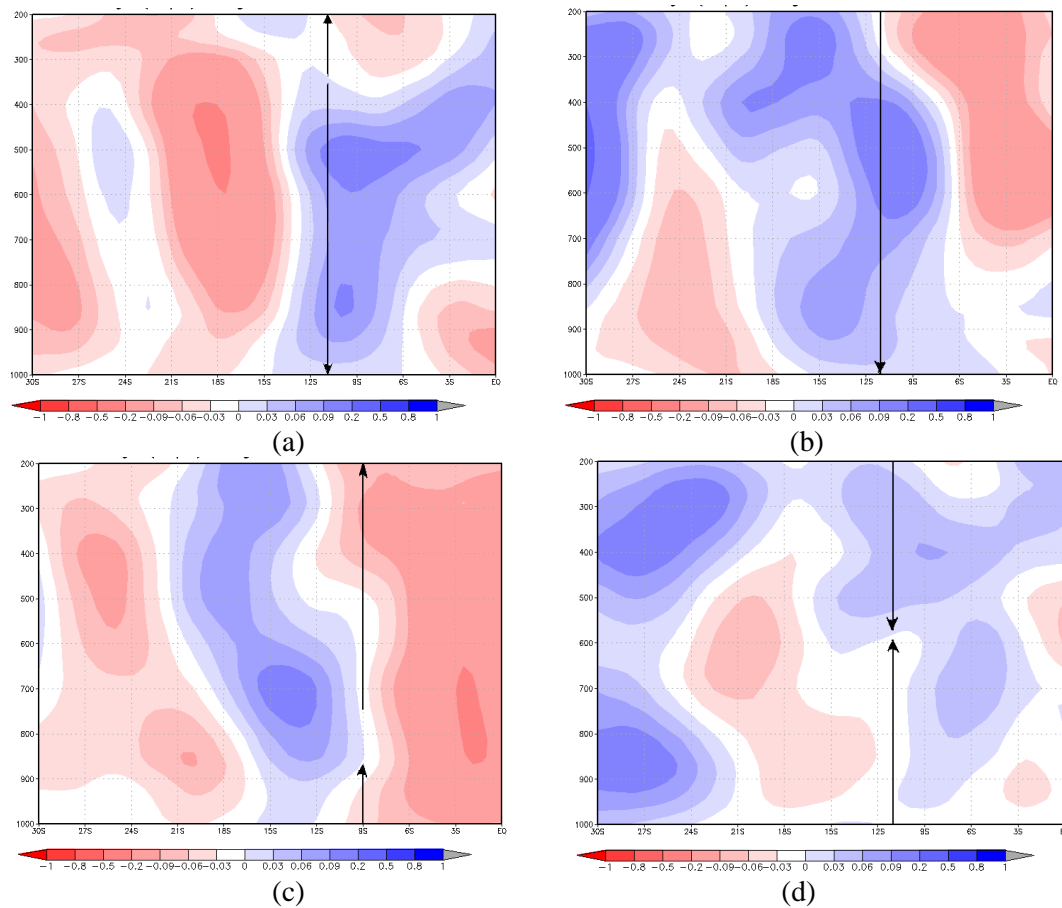
Figura 36 - Campos compostos de divergência horizontal ($\times 10^{-5} s^{-1}$) e escoamento em 700 hPa, para: (a) 10/03/2009 às 12UTC, (b) 11/03/2009 às 12UTC, (c) 12/03/2009 às 12UTC e 13/03/2009 às 12UTC.



Fonte: Autora, 2012.

No campo de movimento vertical, inicialmente observa-se que prevaleceram os movimentos verticais descendentes (Figura 37 a), com exceção dos altos níveis. Na figura 37 b, 30 horas após o surgimento do VCMN é notável a incidência dos movimentos verticais descendentes, sendo mais intensos nos níveis médios. Com 60 horas após o surgimento (Figura 37 c) prevalecem os movimentos verticais ascendentes de leve a moderados. Já na fase final (Figura 37 d) é observado movimentos verticais ascendentes fracos até aproximadamente o nível de 620 hPa e a partir deste movimentos verticais descendentes.

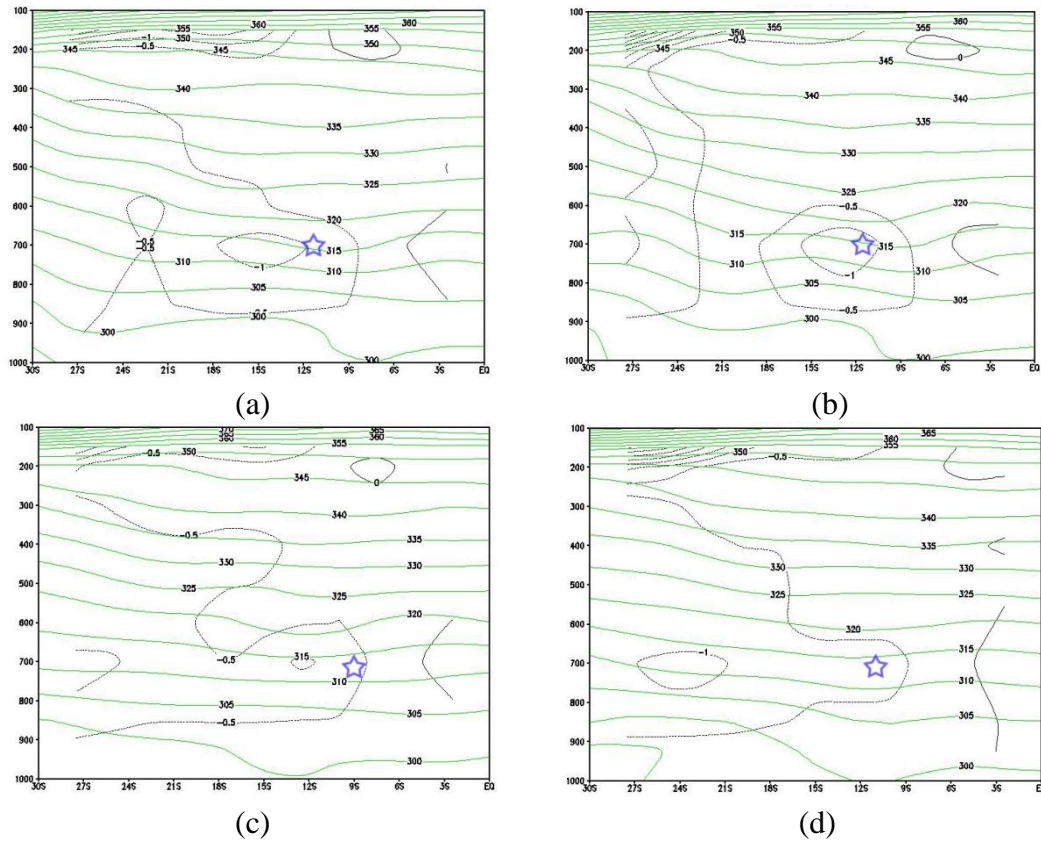
Figura 37 - Seção vertical de ômega (Pa/s) em 11°S (a), 11°S (b), 9°S (c) e 11°S de latitude, para os dias 10/03/2009 (a), 11/03/2009 (b), 12/03/2009 (c) e 13/03/2009 todos às 12 UTC. As setas indicam: ↑ movimentos ascendentes e ↓ movimentos descendentes.



Fonte: Autora, 2012.

Na figura 38 é apresentado o campo de vorticidade potencial em um corte meridional ao longo do centro do VCMN. No horário de sua formação (Figura 38a) foi observado um núcleo de -1 UVP no nível de 700 hPa, mas a esquerda do seu centro, que estava localizado em 11°S e 27°W. Na figura 38b, 30 horas após sua gênese foram observados dois centros fechados de -0,5 UVP e -1,0 UVP entre os níveis de 900 hPa a 600 hPa. Neste horário o centro do VCMN ficou na região de -1,0 UVP. Nos demais campos apresentados observa-se um enfraquecimento e afastamento do núcleo de -1,0 UVP do seu centro.

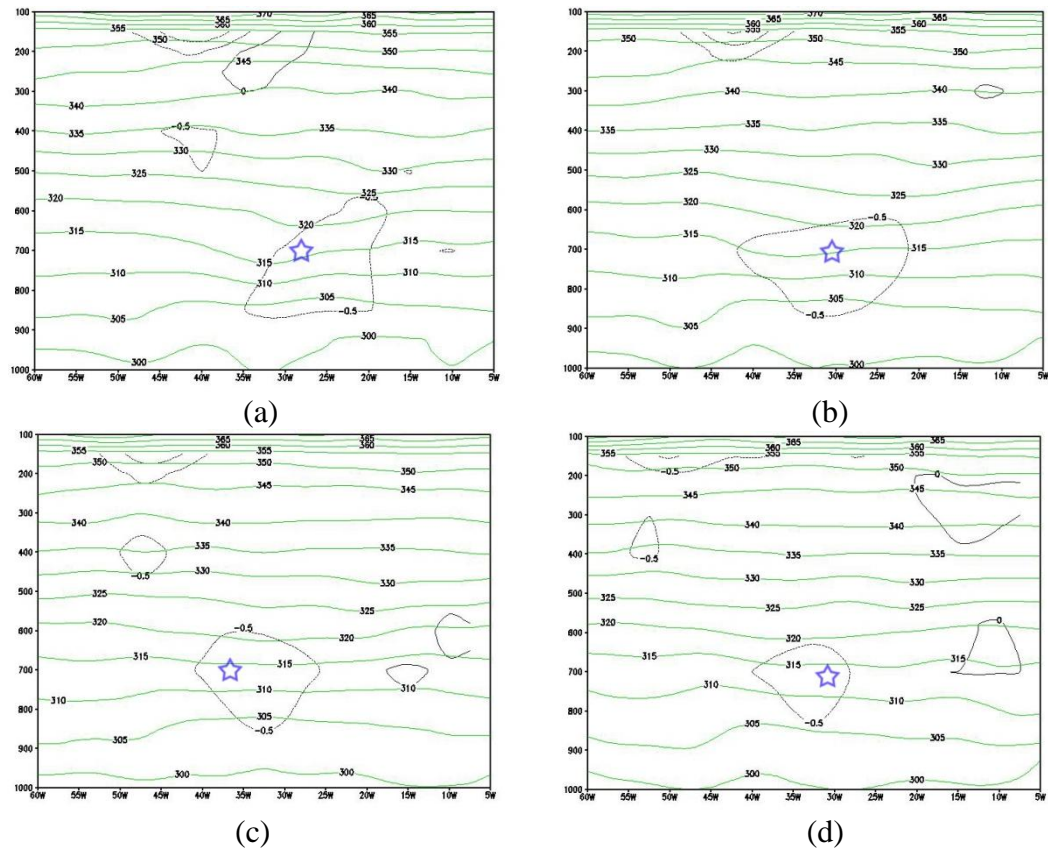
Figura 38 - Secção vertical em coordenada vertical de pressão, da temperatura potencial (K, em verde) e vorticidade potencial de Ertel (UVP, em preto) para: (a) 10/03/2009 às 12 UTC em 27 °W; (b) 11/03/2009 às 12 UTC em 30 °W; (c) 12/03/2009 às 12 UTC em 36°W; e (d) 13/03/2009 às 12 UTC em 31°W. A estrela em azul marca o centro do VCMN.



Fonte: Autora, 2012.

Na figura 39 é apresentado o campo de vorticidade potencial em um corte latitudinal ao longo do centro do VCMN. Foi observado inicialmente uma leve ondulação nas linhas de temperatura potencial a esquerda do centro do VCMN, que se encontra no nível de 700 hPa, um núcleo de -0,5 UVP que envolve o sistema abrange os níveis de 550 hPa a 870 hPa. Na figura 39b ainda persiste o núcleo de -0,5 UVP, as isolinhas de temperatura potencial apresentam uma ondulação menos notável. Nas figuras 39c e 39d observa-se a redução ao longo do tempo do núcleo de -0,5 UVP e ausência de ondulação na temperatura potencial.

Figura 39 - Secção vertical em coordenada vertical de pressão, da temperatura potencial (K, em verde) e vorticidade potencial de Ertel (UVP, em preto) para: (a) 10/03/2009 às 12 UTC em 11°S; (b) 11/03/2009 às 12 UTC em 11°S; (c) 12/03/2009 às 12 UTC em 09°S; e (d) 13/03/2009 às 12 UTC em 11°S. A estrela em azul marca o centro do VCMN.



Fonte: Autora, 2012.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com as análises elaboradas nos permitem afirmar que, durante o período analisado (3 anos), foram observados 696 casos de VCMN, sendo que o máximo foi verificado em 2008 (248 casos) e mínimo em 2010 (204 casos).

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%, registrando um total de 185 casos. Em geral, foi observada pouca variação sazonal.

No que diz respeito à *duração*, observa-se 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.

Quanto à *distribuição espacial*, foram plotados os casos que tiveram duração a partir de 18h, pois os com duração entre 6 -12 h foram observados em grande número. Dos 204 casos plotados nos três anos, apenas 28 casos foram localizados sobre o continente, correspondendo a 13,7%. Os localizados sobre o oceano se concentraram preferencialmente na faixa entre 6°S a 18°S. Dos 40 casos mais duradouros (duração maior ou igual a 42 horas), apenas 4 foram localizados sobre o continente (10%).

Comparando o número de casos de VCMN com as condições de *ENOS* (no setor Niño 4), não foi observada nenhuma relação direta.

No tocante a *distribuição vertical* dos VCMN nos níveis de pressão, nota-se que 41% dos VCMN foram observados no nível de 700 hPa, 27% no nível de 600 hPa, 22% no nível de 500 hPa, 7% no nível de 400 hPa e apenas 3% deles no decorrer do seu desenvolvimento se estenderam ao nível de 800 hPa.

No estudo de caso foram selecionados casos que atuaram nas proximidades do NEB e que tiveram um tempo de vida igual ou superior a 42 Horas.

O primeiro caso ocorreu do dia 12/06/2008 às 18 UTC até 14/06/2008 às 12 UTC, foi observado no nível do 700 hPa, teve duração de 48 horas e foi observado na costa leste do NEB, se deslocando no quadrante 7°S - 11°S e 25°W - 33°W . Nas imagens de satélite foi observada a atuação de LI em conjunto com a ZCIT, bem com a atuação do jato subtropical. A nebulosidade observada nas proximidades do VCMN foi ao norte cumulonimbus associado às LI, e nas demais periferias stratocumulus. No campo de vorticidade foi observado vorticidade ciclônica fraca em todo período.

Quanto aos movimentos verticais em todo o período de existência do VCMN foi observada a predominância de convergência de massa na região central. No campo de ômega inicialmente foi observado a predominância de movimentos verticais ascendentes. Ao longo do seu desenvolvimento foram observados movimentos ascendentes do nível de 890 hPa ao nível de 730 hPa e nas demais camadas movimentos descendentes, com movimentos descendentes intensos na periferia sul e movimentos ascendentes na periferia norte. Na fase final os movimentos ascendentes se intensificaram e predominaram de superfície até o nível de 420 hPa.

Na secção vertical em coordenada vertical de pressão da temperatura potencial e vorticidade potencial de Ertel, no corte latitudinal o centro do sistema se localizou sempre sobre um núcleo de -0,5 UVP. Já no corte meridional, o sistema se localizou sobre ou nas proximidades de um núcleo de -1,0 UVP.

O Segundo caso ocorreu do dia 10/03/2009 às 12 UTC até 13/03/2009 às 12 UTC, foi observado também no nível de 700 hPa e teve duração de 78 horas. Sobre o VCMN foi observada vorticidade ciclônica fraca durante todo o período. Em boa parte do tempo de vida, ele se manteve sobre o oceano na área entre 8°S - 14°S e 20°W - 33°W , e das 12 UTC do dia 12/03/2009 até às 00 UTC do dia 13/03/2009 foi observado sobre a costa leste do NEB, entre os estados de PE e SE. Analisando as imagens de satélites foi observada uma nebulosidade associada à convergência de umidade na direção NW/SE que depois se configurou numa ZCAS. Na periferia norte do VCMN foi observado cumulonimbus isolados, ligados a ZCIT, nas periferias S e SW nota-se a existência de cumulus, na região central observa-se cumulus isolados.

O campo de divergência foi observado mais intenso próximo ao centro do sistema no dia 11/03/2009 e no dia 12/03/2009 nas periferias ao leste e oeste. No campo de ômega,

inicialmente foram observados o predomínio de movimentos descendentes, já no dia 12/03/2009 foi notável atuação de movimentos ascendentes na periferia norte e movimentos descendentes ao sul.

Na secção vertical em coordenada vertical de pressão, da temperatura potencial e vorticidade potencial de Ertel, foi observado um padrão similar ao visto no primeiro caso, onde se observa na secção meridional a presença de núcleo de -0,5 UVP na região do VCMN e na secção latitudinal um núcleo de -1,0 UVP que se apresenta mais intenso no dia 11/03/2009.

Sugestões para novas pesquisas:

- Ampliar o conjunto de dados a ser estudado e o número de estudo de casos.
- Ampliar a área de estudo.
- Estudar a influência deste sistema na sua área de atuação.

REFERÊNCIAS

- APPENZELLER, C.; DAVIES, H. C.; NORTON, W. A. Fragmentation of stratospheric intrusions. **J. Geophys. Res.**, v. 61, p. 73-87, 1996.
- ARAGÃO, J. O. **Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1975. (INPE-789-TPT/017).
- BARBOSA, T. F. **Intrusão de vortacidade potencial na alta troposfera sobre o Atlântico Tropical Sul e sua relação com a precipitação no NE do Brasil**. 118 f – Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. (INPE-14170-TDI/1087)
- 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, 2000. p. 612-619. CD-ROM, (INPE-12473-PRE/7775). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1915/2005/03.15.19.20>>. Acesso em: 31 jan. 2008.
- BELL, G. D. ; KEYSER, D. Shear and curvature vorticity and potential-vorticity interchanges: interpretation and application to a cutoff cyclone event. **Monthly Weather Review**, v. 121, n. 1, p. 76-102, 1993.
- BJERKNES, J. **On the structure of moving cyclones**. **Geophys. Publ.**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 1919.
- _____; SOLBERG, H. Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation. **Geophys. Publ.**, v. 3, n. 1, p. 3-18, 1922.
- BLUESTEIN, H. B. **Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes: observations and theory of weather systems**. London: Oxford University Press, 1992. v. 2.
- BRABO ALVES, J. M., TEIXEIRA, R. F. B., FERREIRA, A. G. Um intenso sistema convectivo de mesoescala no setor leste do nordeste: o caso de 20 a 21 de maio de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 1, p. 19-31, 2001.
- CAMPOS, A. M. V.; FEDOROVA, N. Corrente de jato do nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- CARVALHO, L. C., FEDOROVA, N., LEVIT, V. Análise dos produtos do modelo ETA de alta resolução para o estado de Alagoas: parte 5: zona frontal sobre o nordeste brasileiro análise dos produtos do modelo ETA de alta resolução para o estado de Alagoas. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13.; CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Brasília, DF: SBMET, 2004.
- CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. 11. ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2009. v. 1.

COHEN, J. C .P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade da Amazonia. **Climanálise**, Cachoeira Paulista, v. 4, n. 11, p. 34-39, 1989.

COUTINHO, E. C.; FISCH, G. Distúrbios ondulatórios de leste (Dols) na região do centro de lançamento de Alcântara-MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 193-203, 2007.

CRUZ, C. D. **Determinação sinótica dos fatores que favorecem as influências frontais sobre o estado de alagoas**. 138 f. 2008. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008. (MET-UFAL- MS-052)

DANIELSEN, E. F.; HIPSKIND, R. S. Stratospheric – Tropospheric exchange at polar latitudes in summer. **J. Geophys. Res.**, v. 85, p. 393-400, 1980.

DEAN, G. A. **The three dimensional wind structure over South America and associated rainfall over Brazil**. São José dos Campos: INPE, 1971. (LAFE-164).

ERTEL, H. Ein neuer hydrodynamischer wirbelsatz. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 59, p. 271-281, 1942.

ESPINOZA, E. S. **Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico Tropical**. 1996, 149 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica**. Pelotas: Editora da UFPel, 2001. v. 2.

_____. et al. Verificação das trajetórias das parcelas de ar pelo modelo HYSPLIT no caso de CCM em Maceió-Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2004. (CD-ROM).

_____. et al. Frontal zone on the North-East of Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8., 2006. Foz do Iguaçu. **Proceedings...** São José dos Campos: INPE, 2006. CD-ROM, p. 1765-1768.

FRANK, N. L. The weather distribution with upper tropospheric cold lows in the tropics: U. S. Weather Bureau, Southern Region. **Technical Memorandum**. n. 28, Oct. 1966.

FUNATSU, B. M. **Estudo sinótico-dinâmico de ciclogênese usando vorticidade potencial**. 1999. 145 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999. (INPE-7264-TDI/706).

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias de alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil**. 1982. 80 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982. (INPE – 2685-TDL/126).

_____; KOUSKY, V. E. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no Oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, p. 19-28, 1986.

GEMIACKI, L. **Atuação de Sistemas Frontais na Estação Seca do Nordeste do Brasil.** 121 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2005. (MET-UFAL-MS-035).

GOMES, H. B. **Estudo da Corrente de Jato próximo ao Estado de Alagoas.** 2003. 113 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2003. (MET-UFAL-MS-019).

HAKIM, G.J.; BOSART, L.F. E KEYSER, D. The Ohio Valley wave-merger cyclogenesis event of 25-26 January 1978: part 1: multiscale case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, n. 9, p. 2663-2692, 1995.

HOLTON, J. R., Haynes, P. H., McIntyre, M. E., Douglass, A. R., Rood, R. B., and Pfister, L., Stratosphere-troposphere exchange, **Rev. Geophys.**, 33, 403–439, 1995.

_____. **Introduction to dynamic meteorology.** 3. ed. San Diego: Academic, 1992. (International Geophysics; v. 48).

HOSKINS, B. J.; MCINTYRE, M. E.; ROBERTSON, A. W. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 111, n. 470, p. 877-946, 1985.

KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, Sept. 1979.

_____; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551. 1981.

LEMES, M. A. M.; MOURA, A. D. **Fundamentos de dinâmica aplicados à meteorologia e oceanografia.** São José dos Campos: FUNDEC, 1998. v. 1.

_____; _____. _____. 2. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2002. v. 1.

MADDOX, R. A. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, Mesoscale Convective Complexes. **Monthly Weather Review**, v. 111, p. 1475-1493, 1983.

_____. Mesoscale convective complexes. **Bulletin American Meteorology Society**. v. 61, p. 1374-1387. 1980.

MATTOS, L. F. **Frontogênese na América do Sul e precursores de friagem no estado de São Paulo.** 2003. 213 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. (INPE-11519-TDI/957).

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. The climatology of droughts and drought prediction. In: PARRY, M. L.; CARTER, T.R.; KONIJN, N. T. (Ed.). **The impact of climate variations on agriculture: assessments in semi-arid regions**. Dordrecht: The Netherlands Kluwer Academic Publishers, 1988. v. 2, p. 305-323.

PAIXÃO, E. B.; GANDU, A. W. Caracterização do vórtice ciclônico de ar superior sobre o nordeste do Brasil: parte 1. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET. 2000. p. 3422-3428.

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

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

PONTES DA SILVA, B. F. et al. **Mecanismos associados às precipitações intensas observadas entre os dias 13 e 14 de janeiro de 2005 no sertão do estado de Alagoas**. Trabalho apresentado ao 15º Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, 2008a. Apresentação oral.

_____. et al. **El Niño-Oscilação Sul e sua relação com as precipitações observadas no período chuvoso de Alagoas entre 2003 e 2006**. 2008. Trabalho apresentado ao 15º Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, 2008b. Poster.

_____. **Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no estado de Alagoas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas, Natalia Fedorova, 2008c.

_____. et al. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 295-310, 2011.

POSTEL, G. A.; HITCHMAN, M. H. A climatology of Rossby wave breaking along the subtropical tropopause. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 56, n. 3, p. 359-373, 1999.

QUADRO, M. F. L. **Um estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994. (INPE-6341-TDI/593).

REEDER, M. J.; SMITH, R. K. Mesoscale meteorology. **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston: American Meteorological Society, v. 27, n. 49, p. 201-241, 1998.

ROSSBY, C.G. et al. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action. **Journal of Marine Research**, v. 2, n. 1, p. 38-55, 1939.

SANTURETTE, P.; GEORGIEV, C. G. **Weather analysis and forecasting: applying satellite water vapor imagery and potential vorticity analysis**, Burlington: Elsevier Academic Press, 2005. 200 p.

SATYAMURTY, P. Rudimentos de meteorologia dinâmica. São José dos Campos: INPE, 2004.

SELUCHI, M. E. et al. The Northwestern Argentinean Low: a study of two typical events. **Monthly Weather Review**, v. 131, p. 2361-2378, 2003.

SIGNORINI, E. **Processos sinóticos associados com a intensificação da extremidade da frente fria no sul do Brasil**. 2001. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

SILVA, L. A. **A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas**. 2005. 131 f (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. (INPE-14488-TDI/1169).

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

SOUZA, I. F.; COSTA, O. A. Atuação da frente fria no estado de Sergipe, outubro/1993. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., Belo Horizonte, 1994. **Anais...** Belo Horizonte, 1994. v. 1, p. 149-151.

STRANG, D. M. G. D. **Análise climatológica das normais pluviométricas do Nordeste do Brasil**. 29 p. São José dos Campos: Centro Técnico Aeroespacial, 1972. (IAE-M-02/72), 1972.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.78, p.2771-2777, 1997.

TOMAS, R. A.; WEBSTER, P. J. Horizontal and vertical structure of cross-equatorial wave propagation. **Journal of the Atmosphere Sciences**. v. 51, n. 11, p. 1417-1430, 1994.

UVO, C. R. B.; NOBRE, C. A. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do nordeste do Brasil: parte 1: a posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. **Climanálise**, v. 4, n. 7, p.34-40, 1989.

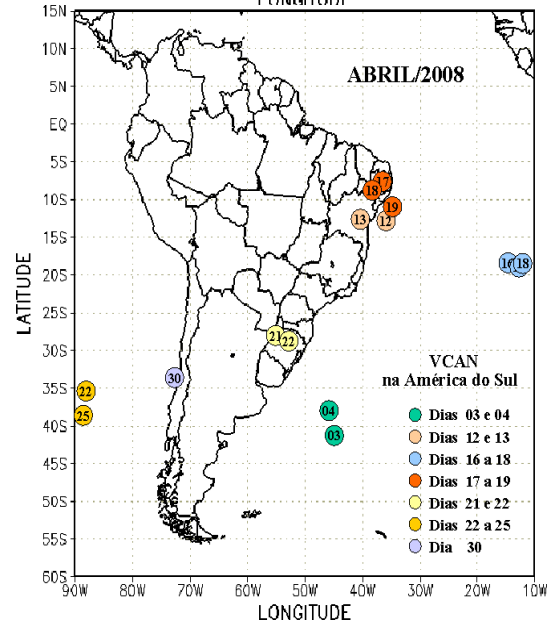
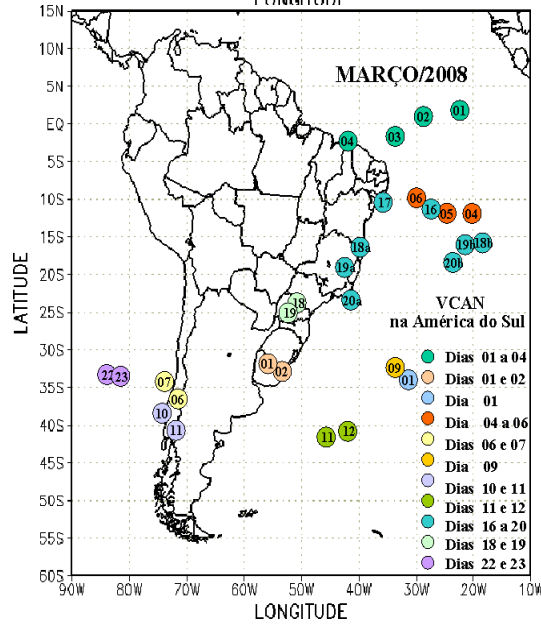
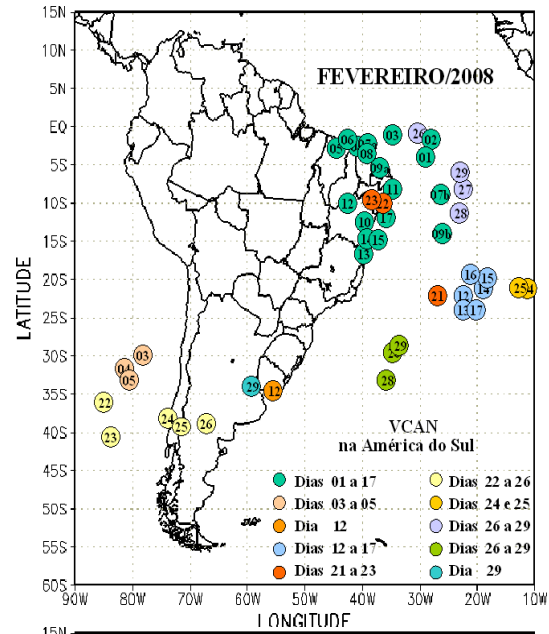
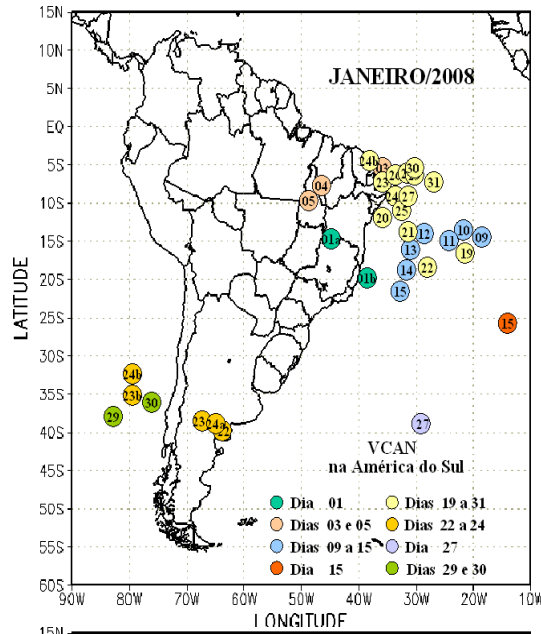
VALVERDE RAMIREZ, M. C. **Padroes climaticos dos vortices ciclonicos em altos niveis no nordeste do Brasil**. 1996. 132 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996. (INPE-6408-TDI/618).

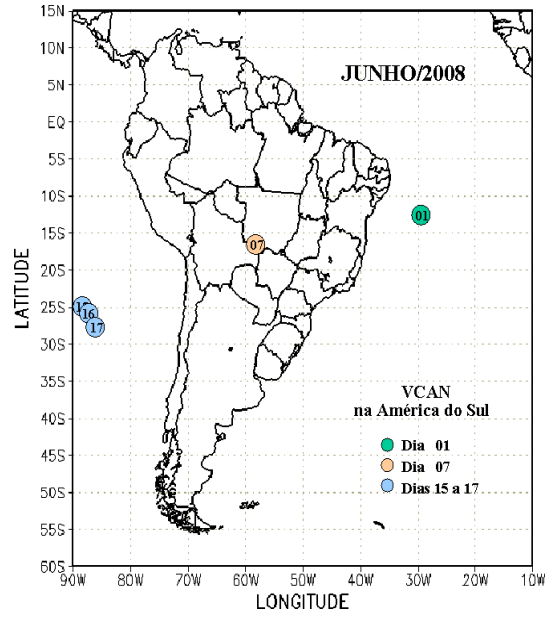
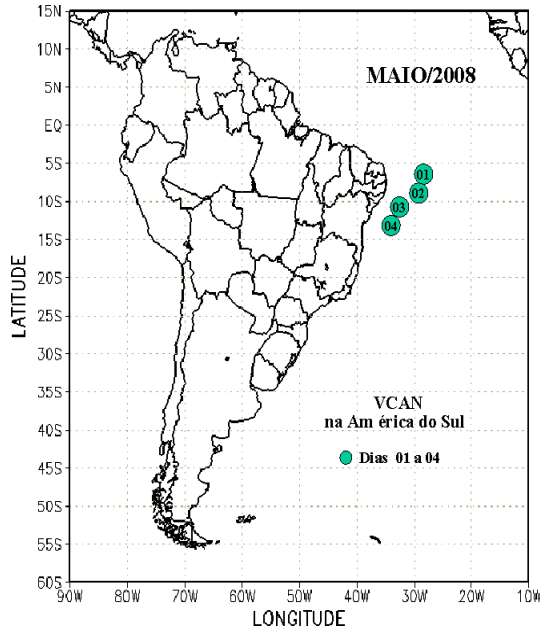
VAREJAO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia: versao digital 1. In: _____. **Perturbações atmosféricas**. Recife, 2005. p. 444-446.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: Imprensa. Universitária da UFV, 1991. 449 p.

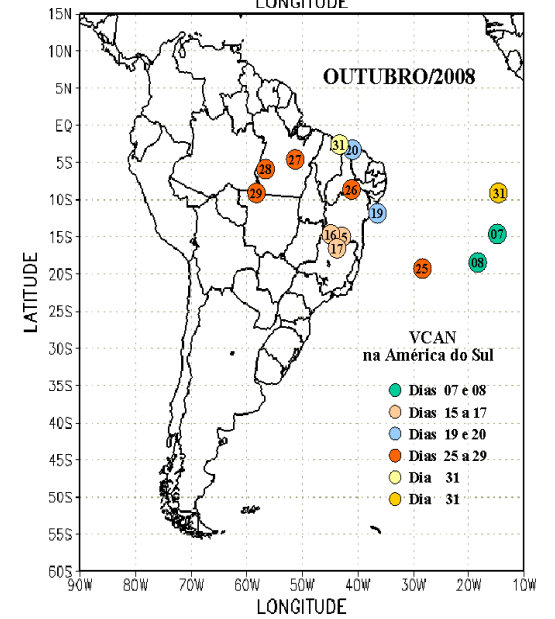
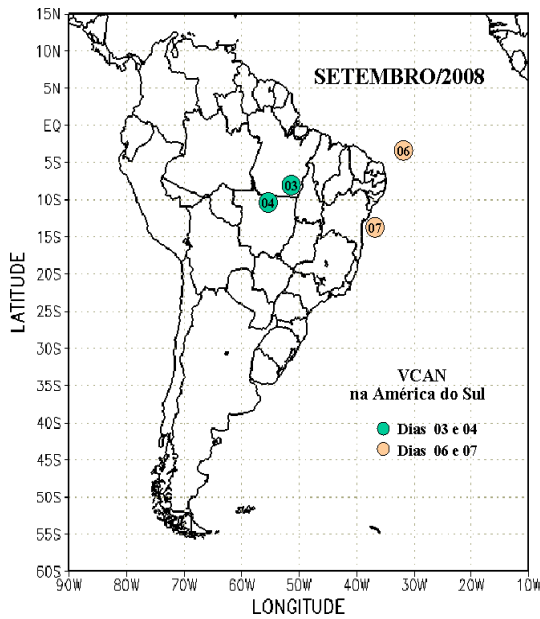
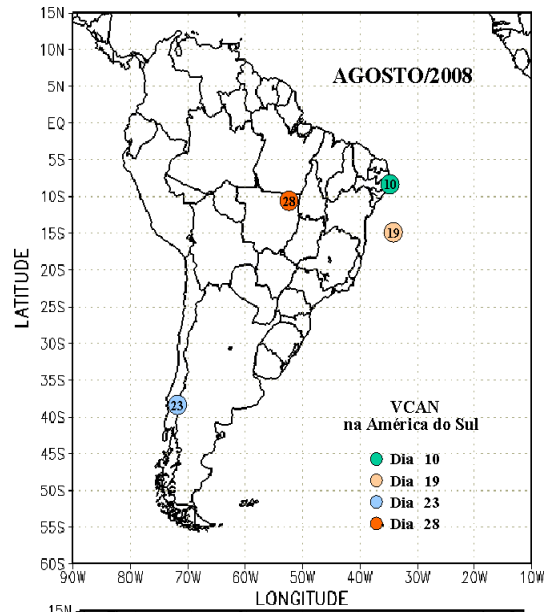
ANEXO

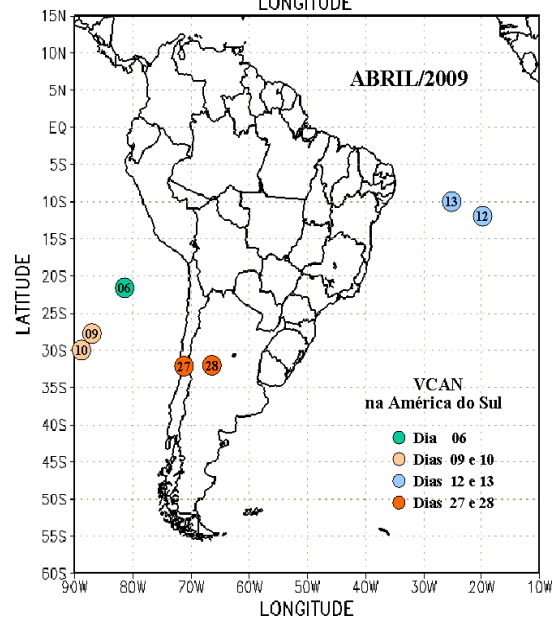
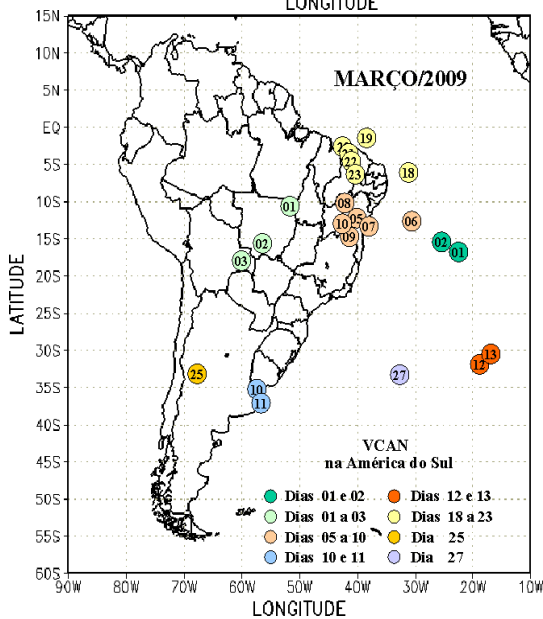
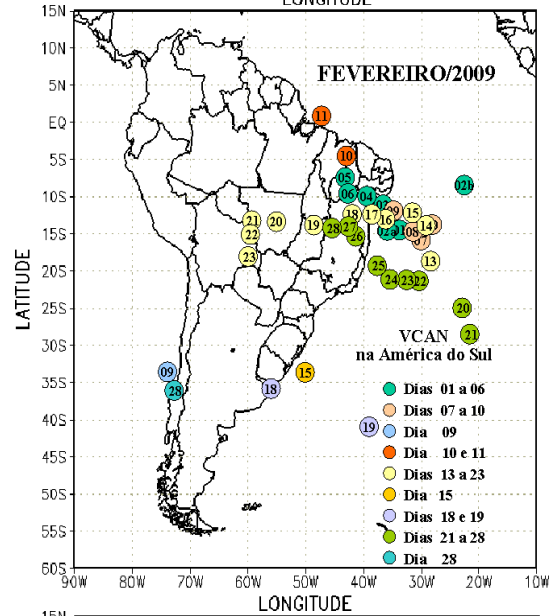
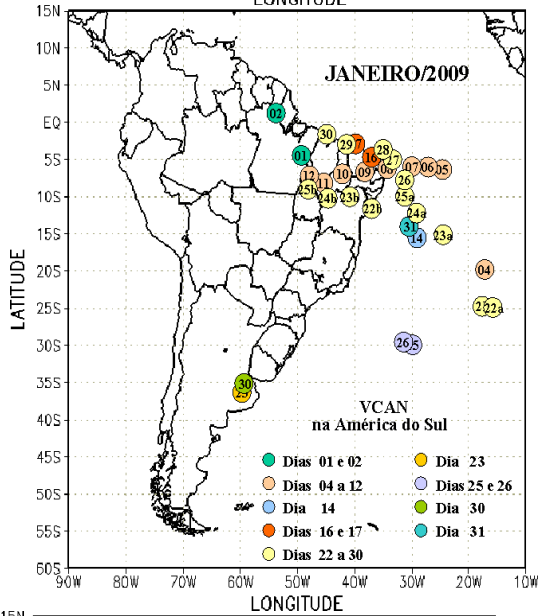
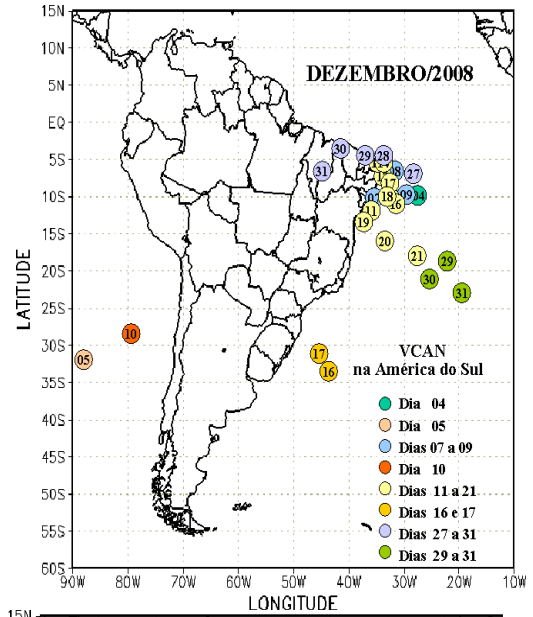
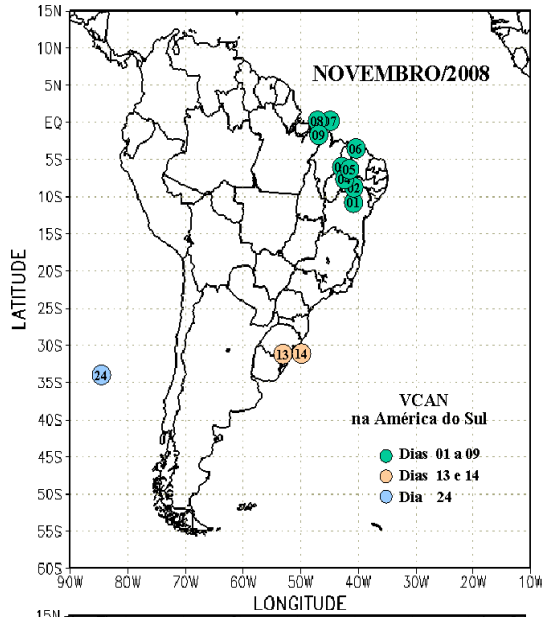
Anexo - Posição dos centros dos VCAN, com a indicação dos dias de atuação sobre a América do Sul, de janeiro de 2008 a dezembro de 2010.

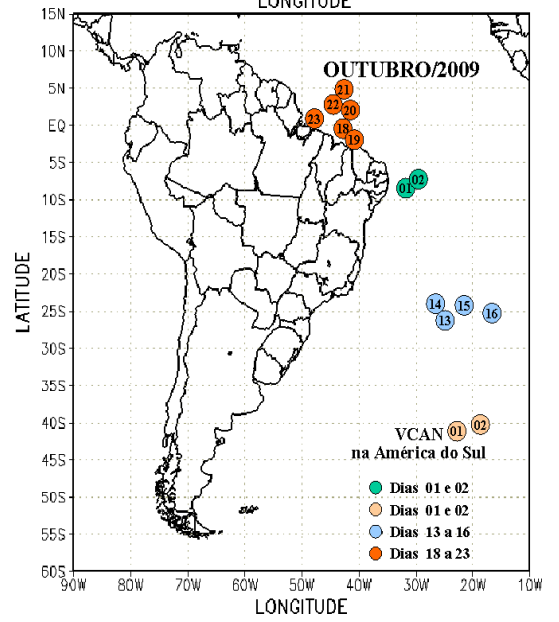
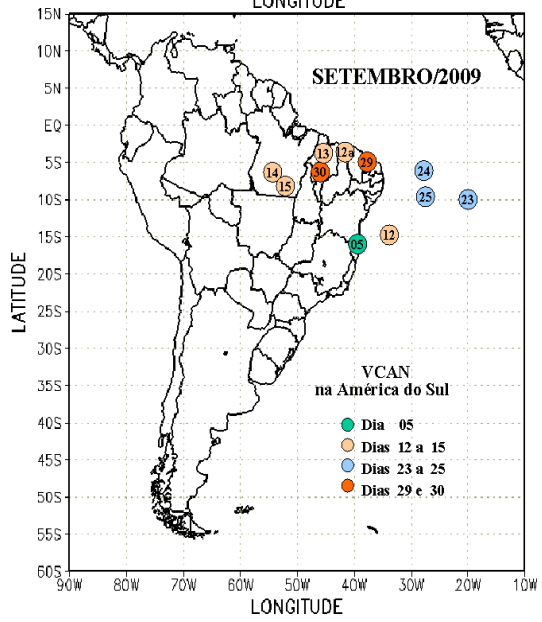
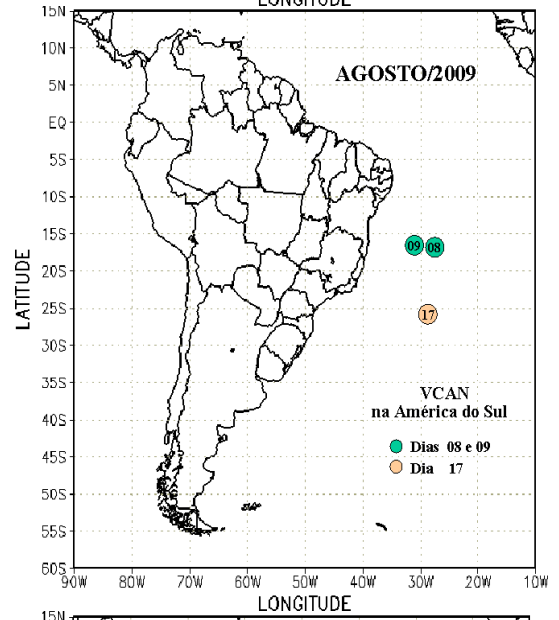
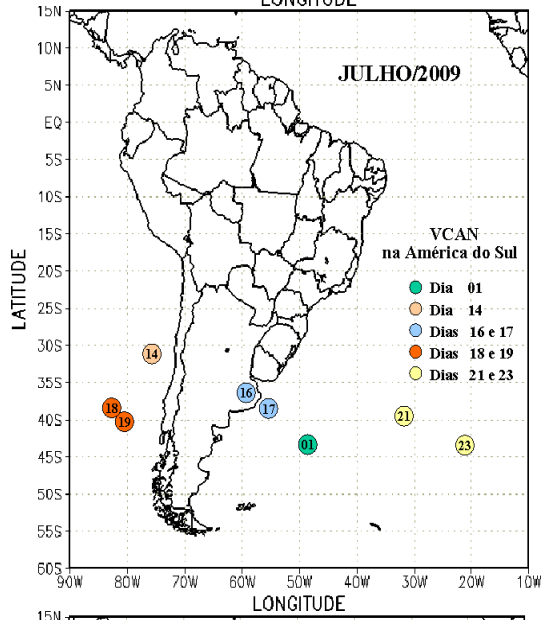
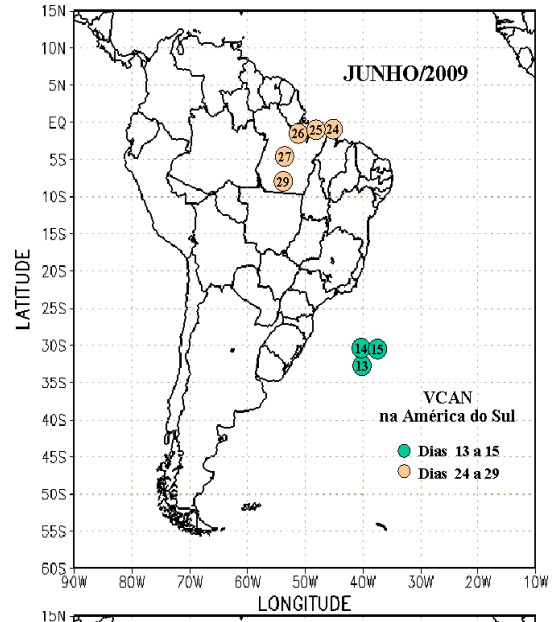
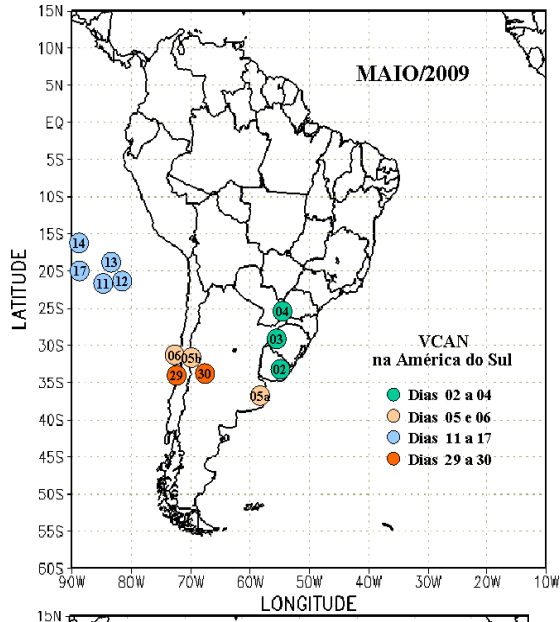


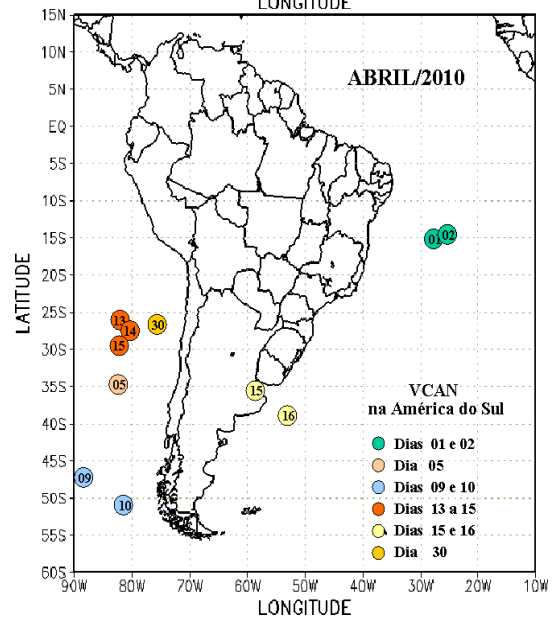
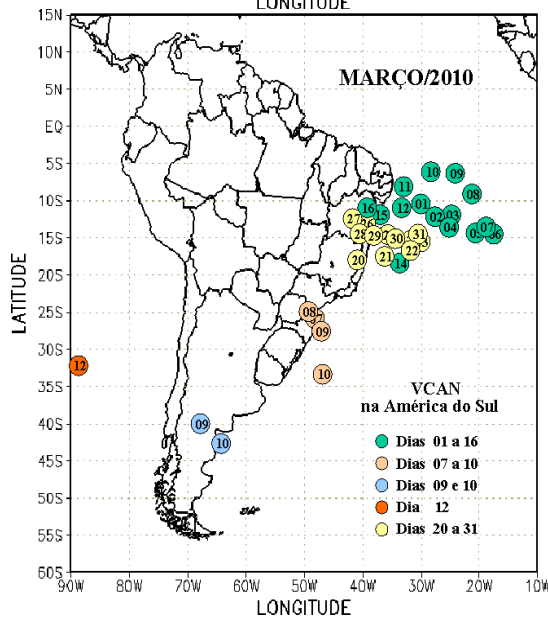
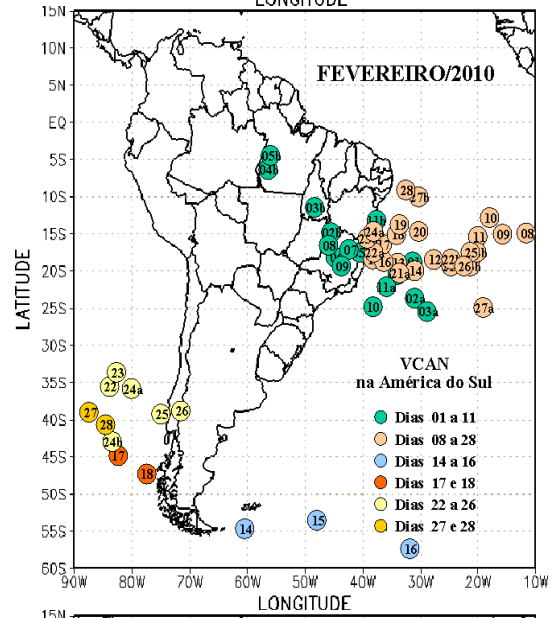
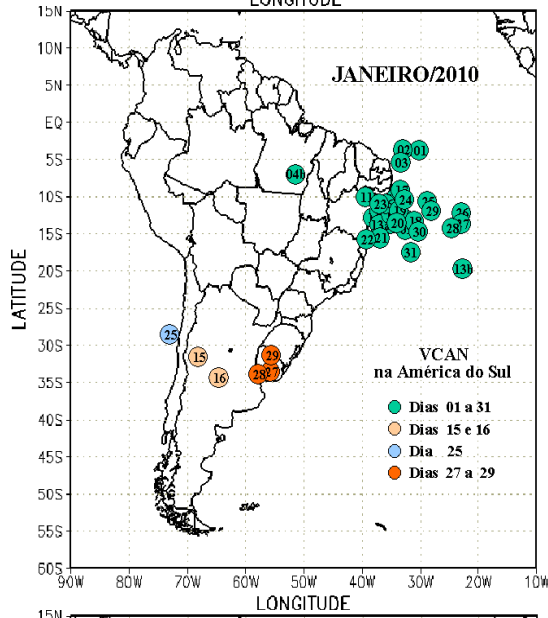
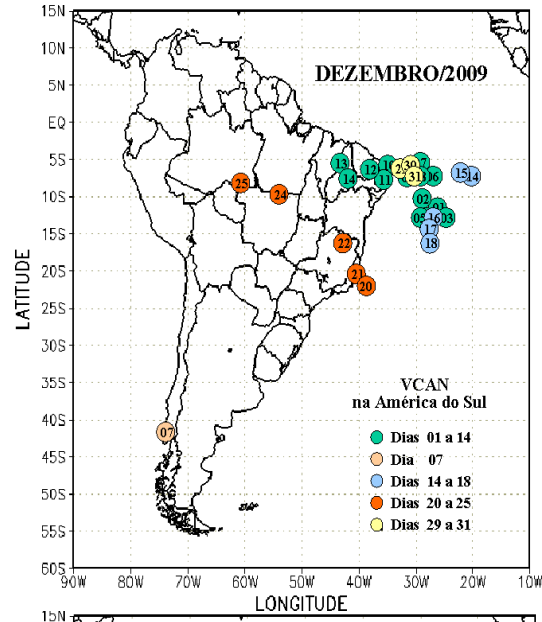
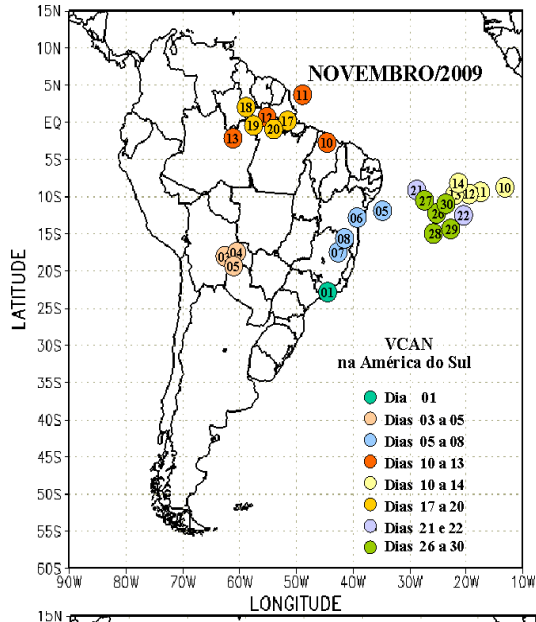


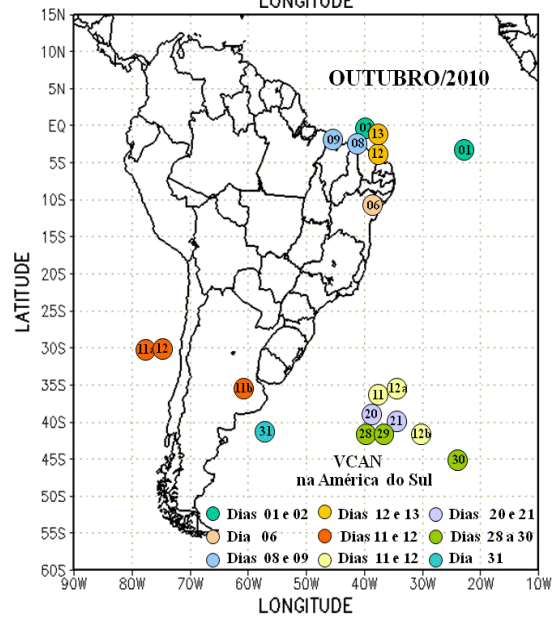
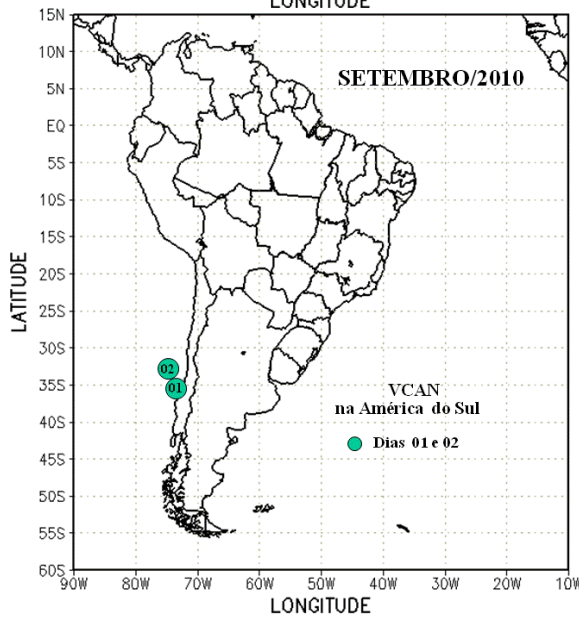
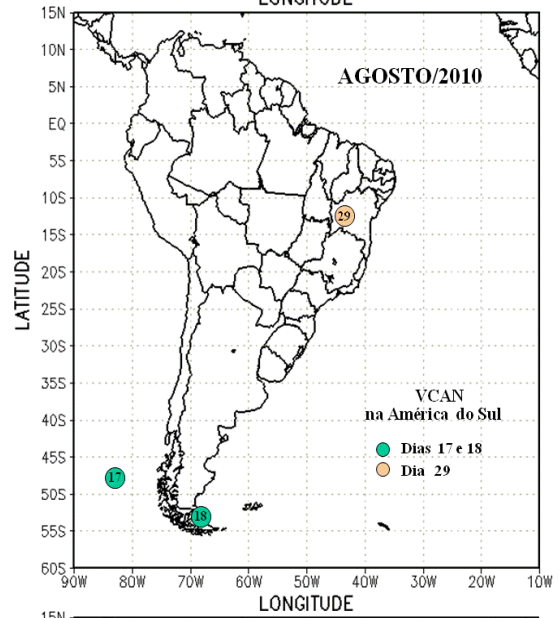
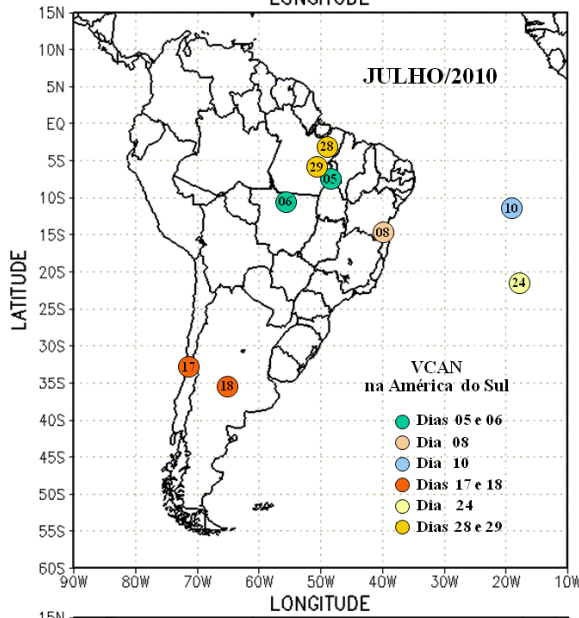
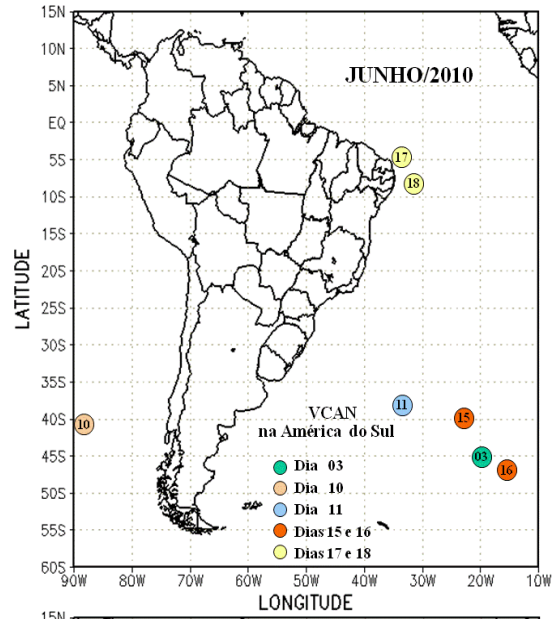
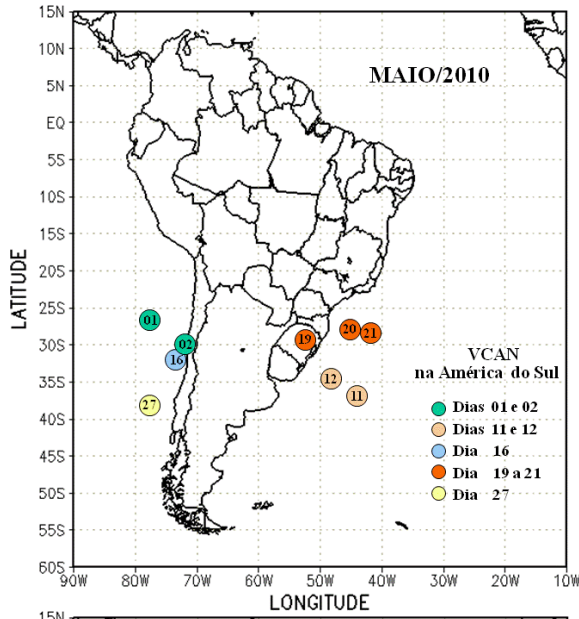
Não houve

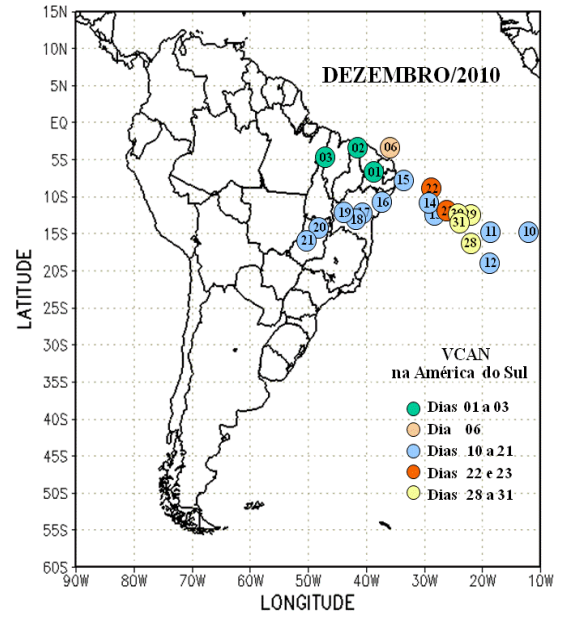
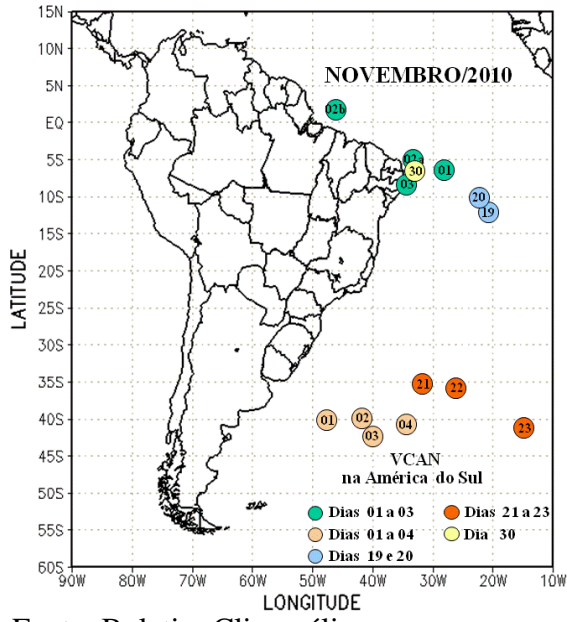












Fonte: Boletim Climanálise.