MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ASPECTOS SINÓTICOS-CLIMATOLÓGICOS ASSOCIADOS A ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL

Marcelo Brauer Zaicovski

Dissertação de Mestrado em Meteorologia, orientada pelo Dr. Manoel Alonso Gan, aprovada em Setembro de 1999.

> INPE São José dos Campos Novembro de 1999

Aprovado pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de **Mestre** em **Meteorologia.**

Dr. Nelson Jesus Ferreira
Dr. Manoel Alonso Gan
Dr^a Marley Cavalcante de L. Moscati
Dr^a Iracema Fonseca de A Cavalcanti
Dr. Pedro Leite da Silva Dias
Membro da Banca

Convidado

Candidato: Marcelo Brauer Zajcovski

São José dos Campos, 30 de setembro de 1999.

Para meus pais, Fernando e Maria Nelza e minha irmã Cristiane com carinho

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, por toda a força que tive no desenvolvimento deste mestrado.

Ao INPE por ter proporcionado a oportunidade de realizar este trabalho, assim como fornecer a estrutura para tal realização.

Aos membros da banca examinadora, pelos comentários, críticas e sugestões, na defesa da dissertação.

Ao meu orientador, Dr. Manoel Alonso Gan pela confiança e auxílio no transcorrer deste mestrado.

Aos meus colegas de turma, em especial (Gilsânia, Gustavo, Hélio, Joana, João, Marco, Maurício, Natália, e Oyama), pelas lições de amizade e vida.

Ao Dr. José Paulo Bonati, pelo fornecimento dos dados de Radiação de Onda Longa (ROLE) para o período de estudo deste trabalho, bem como as rotinas de leitura.

Ao Dr. Shigetoshi Sugahara, do IPMET/Bauru, pelo auxílio na decodificação dos dados de ROLE entre 1979-1988.

Ao Dr. Tércio Ambrizzi, pela liberação do uso das reanálises do NCEP pertencentes ao banco de dados do IAG/USP, para utilização neste estudo.

Ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), na pessoa do Dr. Alexandre Guetter, pelo estímulo para a finalização, assim como pela paciência na liberação do expediente para a conclusão deste mestrado.

Ao Mário, pelo auxílio na revisão final do texto.

A Josiane, por toda compreensão e carinho nas horas difíceis.

Por fim, a CAPES pelo financiamento da bolsa de pesquisa pelo período de dois anos.

RESUMO

Neste trabalho são estudadas as características sinóticas-climatológicas da atmosfera sobre a América do Sul (AS) durante a ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Através de dados diários de Radiação de Onda Longa (ROLE) obtidos junto ao IPMET e NCAR, para o período compreendido entre os anos de 1990-1994, estabeleceu-se um método objetivo para a seleção de casos de ZCAS, onde testes estatísticos foram os critérios para a detecção dos episódios. Os casos selecionados sugerem que a ZCAS pode ser classificada em três tipos quanto a orientação da sua convecção (Tipo I, Tipo II e Tipo III), sendo o Tipo I o mais freqüente e corresponde ao caso climatológico da ZCAS. O mês de Fevereiro é o mais propício à ocorrência da ZCAS, sendo que os meses de verão constituem a maioria dos episódios. Com dados das reanálises do NCEP, gerou-se campos combinados de algumas variáveis meteorológicas as quais auxiliaram na observação diária dos sistemas atmosféricos atuantes sobre a AS. Assim foi possível observar o início, manutenção e decaimento dos casos de ZCAS. A presença da Alta da Bolívia e a convergência de umidade em baixos níveis ajuda na manutenção da ZCAS, sendo que nem sempre o Vórtice Ciclônico em Altos Níveis sobre o Nordeste brasileiro mostra-se configurado.

ABSTRACT

The synoptical and climatological characteristics of the atmosphere over South America during the occurrence of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) are studied in this work. An objective method was created to select the SACZ cases, employing daily Long Wave Radiation (LWR) data from 1990 to 1994. obtained from the IPMET and NCAR data set. Statistical tests were the criteria employed for the episodes detection. The selected cases suggest a three-type (Type I, Type II and Type III) classification for the SACZ, considering the convection orientation. Type I is the most frequent and corresponds to the climatological SACZ. February is the most likely month for the occurrence of the SACZ and the summer months include the majority of the episodes. The daily observation of the atmospheric systems over South America was auxiliated by the analysis of combined fields of meteorological variables generated from the NCEP reanalysis data. These results made possible the observation of the beginning, manutention and decay of the SACZ. The presence of the Bolivian High, Upper Tropospheric Cyclonic Vortices over Brazilian Northeast and humidity convergence at low levels contributes to the SACZ manutention.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xviii
LISTA DE SÍMBOLOS	xix
LISTA DE SIGLAS	xxi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
3	
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 - Características Físicas	7
2.2 - Influências Remotas	16
2.3 - Estudos com Modelos Numéricos	19
CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA	22
3.1 - Área de Estudo	22
3.2 - Dados utilizados	23
3.3 - Metodologia empregada	27
3.3.1 - Descrição do Método Objetivo	27
3.3.2 - Análise Sinótica dos casos de ZCAS	36
CAPÍTULO 4 - SELEÇÃO DOS CASOS DE ZCAS	38
CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASOS	45

5.1 - Caso de ZCAS ocorrido entre os dias 25 e 31 de dezembro de 1990	47
5.2 - Caso de ZCAS ocorrido entre os dias 15 e 23 de fevereiro de 1993	66
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 - Trimestre mais chuvosos no Brasil	9
2.2 - Campo do escoamento em 500 hPa sete dias após o escoamento ultrapassar os Andes	10
2.3 - Campo de fluxo de convergência de umidade integrado verticalmente para um caso de ZCAS, (a) reanálises NCEP-NCAR, (b) reanálises NASA/DAO para eventos positivos.	11
2.4 - Campo de fluxo de convergência de umidade integrado verticalmente para um caso de não haver ZCAS, (a) reanálises NCEP-NCAR, (b) reanálises NASA/DAO para eventos negativos	12
2.5 - Modelo esquemático de padrões de grande escala para a circulação ao redor da ZCAS	13
2.6 - Composição em pêntadas de campos de θ_e em pêntadas 500 hPa	15
2.7 - Configurações do primeiro modo estendido. Áreas com "loadings" negativos estão sombreados. A isolinha de zero foi omitida	18
3.1 - Área de seleção para os casos de ZCAS	22
3.2 - Campo de ROLE representando o padrão típico da convecção, a partir dos casos obtidos por Quadro (1994)	30

3.3 - Diagrama Esquemático do Método Objetivo de Seleção de Casos de

ZCAS	32
3.4 – Gráfico comparando a correlação diária do mês de Dezembro/1990 e a significância, feita pelo teste T	35
4.1 - Tipos de ZCAS. (a) Tipo I - convecção orientada na forma de uma banda de orientação NW/SE, com orientação para o norte; (b) Tipo II - convecção organizada na forma de uma banda de orientação NW/SE, orientada para o sul; (c) Tipo III - convecção organizada na forma de banda, de orientação	
meridional	44
5.1 - Evolução do campo de ROLE para os dias: (a) 24/12/90, (b) 25/12/90, (c) 27/12/90, (d) 29/12/90 e (e) 31/12/90	48
5.2 - Campos meteorológicos do dia 21/12/90: a) velocidade vertical em 500 hPa (sombreado), dada em hPa·s ⁻¹ e pressão ao nível médio do mar, dada em hPa; b) convergência de umidade em 925 hPa (sombreado), dada em s ⁻¹ e temperatura potencial equivalente em 925 hPa em K	50
5.3 – Campos meteorológicos do dia 21/12/90: a) vorticidade relativa em 850 hPa, dada em s ⁻¹ ; d) umidade relativa em 700 hPa (sombreado), em % e vetor vento em 850 hPa, em m·s ⁻¹	50
5.4 - Campos meteorológicos do dia 21/12/90: a) divergência de massa em 300 hPa (sombreado), dada em s ⁻¹ e vetor vento em 300 hPa, dada em m·s ⁻¹ ; b) vorticidade relativa em 300 hPa, dada em s ⁻¹	51
5.5 - Como na Figura 5.2, mas para 24/12/90	53
5.6 - Como na Figura 5.3, mas para 24/12/90	53

5.7 - Como na Figura 5.4, mas para 24/12/90	54
5.8 - Como na Figura 5.2, mas para 25/12/90	55
5.9 - Como na Figura 5.3, mas para 25/12/90	56
5.10 - Como na Figura 5.4, mas para 25/12/90	57
5.11 - Como na Figura 5.2, mas para 27/12/90	58
5.12 - Como na Figura 5.3, mas para 27/12/90	58
5.13 - Como na Figura 5.4, mas para 27/12/90	59
5.14 - Como na Figura 5.2, mas para 29/12/90	60
5.15 - Como na Figura 5.4, mas para 29/12/90	61
5.16 - Como na Figura 5.2, mas para 30/12/90	62
5.17 - Como na Figura 5.3, mas para 30/12/90	62
5.18 - Como na Figura 5.4, mas para 30/12/90	63
5.19 - Como na Figura 5.2, mas para 31/12/90	64
5.20 - Como na Figura 5.3, mas para 31/12/90	65

5.21 - Como na Figura 5.4, mas para 31/12/90	65
5.22 - Evolução do campo de ROLE para os dias: (a) 14/02/93, (b) 15/02/93, (c) 17/02/93, (d) 19/02/93, (e) 21/02/93 e (f) 23/02/93	68
5.23 - Campos meteorológicos do dia 10/02/93: a) velocidade vertical em 500 hPa (sombreado), dada em hPa·s ⁻¹ e pressão ao nível médio do mar, dada em hPa; b) convergência de umidade em 925 hPa (sombreado), dada em s ⁻¹ e temperatura potencial equivalente em 925 hPa dada em K.	69
5.24 - Campos meteorológicos do dia 10/02/93: a) vorticidade relativa em 850 hPa, dada em s ⁻¹ ; b) umidade relativa em 700 hPa (sombreado), em % e vetor vento em 850 hPa, dado em m·s ⁻¹	70
 5.25 - Campos meteorológicos do dia 10/02/93: a) divergência de massa em 300 hPa (sombreado), dada em s⁻¹ e vetor vento em 300 hPa, dado em m·s⁻¹; b) vorticidade relativa em 300 hPa, dada em s⁻¹ 	71
5.26 - Como na Figura 5.23, mas para 14/02/93	72
5.27 - Como na Figura 5.24, mas para 14/02/93	73
5.28 - Como na Figura 5.25, mas para 14/02/93	73
5.29 - Como na Figura 5.23, mas para 15/02/93	74
5.30 - Como na Figura 5.24, mas para 15/02/93	75
5.31 - Como na Figura 5.25, mas para 15/02/93	76
5.32 - Como na Figura 5.23, mas para 17/02/93	76

5.33 - Como na Figura 5.24, mas para 17/02/93	77
5.34 - Como na Figura 5.25, mas para 17/02/93	78
5.35 - Como na Figura 5.23, mas para 19/02/93	79
5.36 - Como na Figura 5.24, mas para 19/02/93	79
5.37 - Como na Figura 5.25, mas para 19/02/93	80
5.38 - Como na Figura 5.23, mas para 21/02/93	81
5.39 - Como na Figura 5.24, mas para 21/02/93	82
5.40 - Como na Figura 5.25, mas para 21/02/93	83
5.41 - Como na Figura 5.23, mas para 23/02/93	84
5.42 - Como na Figura 5.24, mas para 23/02/93	85
5.43 - Como na Figura 5.25, mas para 23/02/93	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Número de dias com informação de ROLE obtida pelo NCAR no período de 1990-1994	26
Tabela 3.2 - Episódios de ZCAS estudados por Quadro (1994)	29
Tabela 4.1 - Casos de ZCAS detectados, pelos métodos visual e objetivo para o período de 1990 a 1994	39
Tabela 4.2 - Casos de ZCAS obtidos pelo método visual e casos incompletos (duração menor que 5 dias) detectados pelo método objetivo, para o período de 1990-1994	41
Tabela 4.3 - Número de casos de ZCAS e total de dias com episódios de ZCAS (números entre parênteses) distribuídos pelos meses do ano utilizados na seleção pelo método visual	42
Tabela 4.4 - Número de casos de ZCAS e total de dias com episódios de ZCAS (números entre parênteses) distribuídos pelos meses do ano utilizados na seleção pelo método objetivo	42

LISTA DE SÍMBOLOS

- p pressão no nível inicial (hPa)
- r razão de mistura (g·Kg⁻¹)
- T_d temperatura do ponto de orvalho (K)
- T_k temperatura absoluta do ar (K)
- T_L temperatura absoluta no nível de condensação por levantamento (K)
- u componente zonal do vento (m·s⁻¹)
- v componente meridional do vento (m·s⁻¹)
- θe temperatura potencial equivalente (K)
- R_{X,Y} correlação entre a matriz padrão e a matriz de cada dia;
- n número de pontos de grade das matrizes;
- Xi valor de ROLE em cada ponto de grade da matriz padrão;
- X- valor médio de ROLE da matriz padrão;
- Yi valor de ROLE em cada ponto de grade da matriz diária;
- Y valor médio de ROLE da matriz diária;
- Sx desvio padrão da matriz padrão;
- Sy desvio padrão da matriz diária;
- n número de pontos da matriz;

X₁ - posição do ponto de grade onde ROLE é <= 235 Wm⁻² na direção lesteoeste;

- X₂ valor do ponto de grade na posição 1, sentido leste-oeste;
- Y₁ posição do ponto de grade onde ROLE é <= 235 Wm⁻² na direção norte-sul;
- Y2 valor do ponto de grada na posição 1, sentido norte-sul;
- Z altura geopotencial;
- ζ vorticidade relativa;
- K Kelvin;

η - eta;

- ω velocidade vertical;
- α nível de significância;

LISTA DE SIGLAS

AB - Alta da Bolívia

AL - Alagoas

AS - América do Sul

ASAS - Alta Subtropical do Atlântico Sul

AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer

BA-Bahia

CCM - Complexos Convectivos de Mesoescala

CISK - Conditional Instability for Second Kind

COLA - Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CT - Convecção Tropical

CTA/IAE/ACA - Centro Técnico Aeroespacial/Instituto de Aeronáutica e

Espaço/ Divisão de Ciências Atmosféricas

DCA/IAG/USP - Divisão de Ciências Atmosféricas/Instituto Astrônomico e

Geofísico/Universidade de São Paulo

DJF - Dezembro-Janeiro-Fevereiro

DIST - distância euclidiana para cada dia

DMS - Divisão de Meteorologia por Satélites

ECMWF - European Center for Medium-Range Weather Forecasts

ENOS - El-Niño/Oscilação Sul

ES - Espírito Santo

FFG - Função Frontogenética

GO - Goiás

GrADS - Grid Analysis and Display System

hPa - hecto pascal (10² Pa)

HS - Hemisfério Sul

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

- IPMET Instituto de Pesquisas Meteorológicas
- JST Jato Subtropical
- LMD Laboratoire de Météorologie Dynamique
- MA Maranhão
- MCG Modelo de Circulação Geral
- MG Minas Gerais
- MS Mato Grosso do Sul
- MT Mato Grosso
- NASA/DAO National Aeronautics and Space Administration/ Data
- Assimilation Office
- NCAR National Center for Atmospheric Research
- NCEP National Center for Environmental Prediction
- NE Nordeste
- NEB- Nordeste Brasileiro
- NW Noroeste
- OAS Oceano Atlântico Sul
- OMJ Oscilação Madden-Julian
- PA Pará
- PE Pernambuco
- PI Piauí
- PNM Pressão Reduzida ao Nível Médio do Mar
- PR Paraná
- RAMS Regional Atmospheric Modeling System
- RJ Rio de Janeiro
- RO Rondônia
- ROLE Radiação de Onda Longa Emergente
- RS Rio Grande do Sul
- S Sul
- SE Sergipe

- SE Sudeste
- SF Sistemas Frontais
- SP São Paulo
- SW Sudoeste
- SC Santa Catarina
- TIROS-N Television Infrared Observational Satellite
- TO Tocantins
- TSM Temperatura da Superfície do Mar
- UR umidade relativa (%)
- VCAN Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
- ZCAS Zona de Convergência do Atlântico Sul
- ZCIT Zona de Convergência Intertropical
- ZCPS Zona de Convergência do Pacífico Sul
- ZFB Zona Frontal Baiu
- ZPS Zonas de Precipitação Subtropical

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O regime de precipitação na América do Sul (AS) é bem caracterizado durante todas as estações do ano, sendo que o período de verão, Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), apresenta seu valor máximo junto a porção tropical do continente (região Amazônica), enquanto que no inverno, os máximos de precipitação são verificados no Noroeste (NW) do continente.

Este regime de precipitação é auxiliado por alguns sistemas atmosféricos atuantes durante o verão na AS, onde pode-se citar:

- a Alta da Bolívia (AB) circulação anticiclônica em altos níveis que tem seu início na primavera (Kousky e Kagano, 1981);
- o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) localizado junto à costa leste do Nordeste brasileiro (Kousky e Gan, 1981);
- a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) localizada à leste do continente sul-americano;
- 4. os sistemas frontais (SF) têm participação importante na quantidade de precipitação principalmente sobre as Regiões Sul e Sudeste do Brasil, sendo que o deslocamento destes sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala, cuja intensificação ou dissipação está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente (Lemos e Calbete, 1996). As Regiões Sul e Sudeste do Brasil são regiões

frontogenéticas como mostram Satyamurty e Mattos (1989).

A presença de SF semi-estacionários sobre a Região Sudeste do Brasil por um tempo mínimo de quatro dias caracteriza a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), cuja ocorrência se dá nos meses de maior atividade convectiva do Hemisfério Sul (HS) (Quadro, 1994). A ZCAS é caracterizada pela presença de uma banda de nebulosidade com orientação NW/SE, com precipitação associada durante sua permanência, influindo diretamente no regime de precipitação na porção leste e central da AS tropical, durante o verão austral (Figueroa e Nobre, 1990). Alguns episódios de ZCAS causam precipitação intensa na região onde ela estaciona (Silva Dias, 1988 e Silva Dias et al., 1991), causando sérios danos a população.

A banda de nebulosidade associada aos SF interage com a convecção tropical (CT) da região Amazônica formando uma espécie de sistema acoplado entre os vários elementos atmosféricos típicos do verão, como a AB, Cavado do Nordeste, Jato Subtropical (JST). Oliveira (1986) em seu trabalho sobre a interação entre a CT e os SF na AS, dividiu o continente sul-americano em quatro faixas, desde a latitude de 40°S até a latitude de 20°S e observou que na faixa latitudinal de 35°S a 20°S (bandas 2 e 3), estão as regiões de maior interação entre a convecção tropical estabelecida na Amazônia Central e a costa leste da AS. Kousky e Virji (1982) notaram que o aumento da CT acontece, primeiramente, no Estado do Amazonas (AM), posteriormente aumentando em direção à região central e leste da bacia Amazônica. De acordo com a definição de ZCAS empregada atualmente, alguns dos casos estudados por Oliveira (1986) poderiam ser classificados como sendo ZCAS, bastando para isso haver uma frente estacionária durante um tempo mínimo de 4 dias, com convergência de umidade em baixos níveis.

Apesar dos estudos da ZCAS terem iniciado a mais de 10 anos, muitas dúvidas pairam sobre o comportamento atmosférico da ZCAS. Em alguns casos, a organização da convecção na região da ZCAS está associada à penetração de um sistema frontal na região subtropical do Brasil (Oliveira, 1986). Entretanto, não se conhece ainda inteiramente os mecanismos responsáveis pela manutenção da banda de nebulosidade semi-estacionária por vários dias sobre uma determinada região. Alguns mecanismos atmosféricos, tais como o sistema CT e AB acoplado dinamicamente, os efeitos remotos sobre o cavado semi-estacionário em níveis médios associado a ZCAS, a convergência de umidade estacionada nos baixos níveis em associação aos Andes e, por fim, os efeitos das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Atlântico Sul (OAS) próximo à banda de nebulosidade da ZCAS podem ser os responsáveis pelo surgimento de um evento ZCAS na Região Sudeste do Brasil.

Estudos mais recentes sobre a ZCAS visam o melhor entendimento de seus mecanismos físicos e dinâmicos. Visto que a ZCAS está associada a circulação de verão e localizada sobre a AS, o pleno conhecimento de sua formação, manutenção e dissipação é de suma importância, pois através destas informações pode-se dispor de elementos para melhorar a previsão do tempo, auxiliando assim, a sociedade através de seus órgãos de defesa civil. Para execução de estudos que visam detectar a presença da ZCAS pode-se utilizar vários tipos de análises, como por exemplo: numéricas e observacionais.

Por outro lado, a utilização de dados diários de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE), permite estimar a convecção presente na atmosfera e com isto inferir a presença de nebulosidade convectiva sobre uma determinada região. Os campos de ROLE permitem uma melhor compreensão das alterações que a atmosfera sofre à medida que um evento ZCAS se configura. Para isto, foi

3

desenvolvido uma metodologia visando selecionar os casos de ZCAS através de um método objetivo composto de rotinas computacionais, descrito em detalhes no capítulo referente à metodologia.

A partir da elaboração deste método objetivo de seleção, este trabalho tem como finalidade:

- fazer uma seleção de episódios de ZCAS ocorridos durante um período de cinco anos de dados (1990-1994), utilizando-se o método objetivo e uma análise visual utilizando imagens de satélite;
- fazer um estudo das características dinâmicas da ZCAS sobre o continente sul-americano, seguindo a metodologia de Kodama (1992), que comprovou que a parte oceânica da ZCAS comporta-se como um sistema frontal;

Esta dissertação está organizada em mais 5 capítulos. No capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica dos trabalhos observacionais e de modelagem numérica que envolvam a ZCAS. O capítulo 3 apresenta os dados utilizados neste trabalho e uma discussão sobre a qualidade dos mesmos. Neste capítulo, a metodologia no estudo também é explicada em termos de como o método objetivo foi concebido e de seus problemas de operação. O capítulo 4 mostra a seleção dos casos de ZCAS, obtidos através do método objetivo. No capítulo 5 são apresentados estudos de casos de ZCAS, analisando-se a dinâmica e a sinótica associada ao evento. Por fim, no último capítulo, são feitas considerações finais sobre os resultados obtidos neste trabalho e as sugestões para futuros estudos que tratem sobre o sistema ZCAS.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo da ZCAS é relativamente recente. Somente na década de 70 surgiram os primeiros trabalhos descrevendo a banda de nebulosidade associada à estes sistemas (Taljaard, 1972; Krishnamurty et al., 1973, Streten, 1973), localizada na costa leste da AS. Na década de 80, com o aumento das pesquisas sobre o assunto, obteve-se um grande avanço em seu conhecimento. Hoje, sabe-se que a ZCAS é uma banda de nebulosidade convectiva, podendo ou não estar associada a uma frente estacionária, que ocorre durante o período compreendido entre os meses de outubro a março. Quadro (1994) sugere que a existência da ZCAS está relacionada à alguns sistemas meteorológicos persistentes por um período mínimo de quatro dias, tais como um cavado em níveis médios posicionado sobre o continente sul-americano e um sistema frontal estacionário na Região Sudeste. Nesta situação, também pode ocorrer a presença de fortes gradientes de temperatura potencial equivalente (θ_e) no nível de 500 hPa, ao longo da ZCAS.

Normalmente, a ZCAS é citada em trabalhos que envolvem circulações típicas de verão sobre a AS. Alguns trabalhos de revisão sobre a ZCAS, como o de Silva Dias (1995) e Rocha e Gandu (1996), citam os possíveis mecanismos para sua origem, que são:

 liberação de calor latente associada ao sistema acoplado dinamicamente entre a convecção sobre a AS e a AB. A atmosfera aquece-se através de liberação de calor latente, abaixando a pressão na superfície, contribuindo para a manutenção e intensificação da convergência de massa e de vapor d'água nos baixos níveis, sustentando assim a convecção, num exemplo de Instabilidade Condicional de Segunda Espécie (Conditional Instability for Second Kind -CISK);

- 2. os efeitos remotos na manutenção do cavado em níveis médios associado à ZCAS podem ser resultados da variabilidade intrasazonal que este sistema tem em relação ao fenômeno Oscilação de 30-60 dias ou Oscilação Madden-Julian (OMJ) (Casarin e Kousky, 1986). A questão é qual a influência dos efeitos remotos sobre a circulação atmosférica que define a ZCAS? Assim como qual é o papel desempenhado pelo ENOS (El-Niño/Oscilação Sul) no regime de chuvas associado à ZCAS? Em termos de modelagem de escala global, muitos trabalhos, tal como o de Grimm e Silva Dias (1995), mostram as teleconexões existentes entre a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e a ZCAS. Marton e Silva Dias (1996) discutem a relação entre ZCPS/ZCAS em termos de energia cinética verificando que a partir de uma desorganização da ZCPS, ocorre o aumento da atividade da ZCAS;
- 3. a permanência da convergência de massa em baixos níveis na região da ZCAS associada aos Andes, foi alvo de simulações numéricas feitas por Figueroa et al. (1995) As simulações consideram fontes de calor colocadas em diversas posições na região da Amazônia, verificando assim a localização da convergência de umidade em baixos níveis. A conclusão foi que a cordilheira influi no posicionamento dos centros de baixa pressão na baixa troposfera como uma resposta à liberação de calor latente no Brasil Central;
- 4. a presença de anomalias quentes de TSM no Oceano Atlântico, orientadas na mesma direção da ZCAS, pode ser a resposta do oceano as anomalias do

vento sobre as superfícies oceânicas causada pela circulação atmosférica na região da ZCAS (Nobre, 1988). Uma possível realimentação entre a anomalia quente de TSM e a convecção ao longo da ZCAS pode ocorrer.

Visando um melhor entendimento do que já foi estudado sobre ZCAS, esta revisão é dividida em três partes. A primeira seção trata sobre as características físicas detectadas nas ZCAS, a segunda sobre a influência da variabilidade de grande escala sobre a ZCAS e a terceira mostra os experimentos com modelagem numérica da atmosfera e seus efeitos na ZCAS.

2.1 - Características Físicas

O termo ZCAS foi utilizado pela primeira vez por Oliveira (1982), de uma forma bastante genérica, o qual considerou como sendo uma zona de convergência do Atlântico Sul toda e qualquer região de convergência de massa, tais como sistemas frontais e VCAN. Atualmente, o termo ZCAS é utilizado quando certas condições atmosféricas são estabelecidas. As primeiras características das ZCAS foram observadas por Calheiros e Silva Dias (1988), que destacaram que esta é formada por uma banda de nebulosidade que cobre o sul da Amazônia, parte das Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, e estende-se pelo OAS até o sul da África do Sul. As frentes estacionárias na Região Sudeste seriam o principal sistema meteorológico a organizar a nebulosidade, sendo que o seu tempo de duração varia de uma a três semanas, também comprovado por Kousky e Virji (1982) e Oliveira (1986). A direção preferencial no sentido NW/SE, partindo da região de convecção em direção a leste é uma das características das chamadas Zonas de Precipitação Subtropical (ZPS), como afirma Kodama (1992). A partir

disto, a ZCAS acaba estendendo-se desde a Amazônia central até o OAS, passando pela Região Sudeste do Brasil. A circulação de grande escala associada com a ZCAS é influenciada pelo aquecimento local e pela orografia, tendo conexão com a oscilação intrasazonal tropical.

As características da ZCAS ficaram melhor definidas após os trabalhos de Kodama (1992) e de Quadro (1994), onde ficaram marcantes algumas importantes configurações que ocorrem durante os episódios de ZCAS. Kodama (1992) utilizando campos de algumas variáveis meteorológicas como altura geopotencial (Z), temperatura, θ_e e vento, fez um estudo comparativo entre a Zona Frontal Baiu (ZFB), a qual surge na costa leste do continente asiático, associada com a convecção do Tibete, e se estende pelo oceano Pacífico, passando pelo Japão, e a porção subtropical da ZCPS e da ZCAS (tratando somente da parte oceânica). Neste estudo a ZFB, a ZCPS e a ZCAS foram chamadas de ZPS.

Segundo Kodama (1992), como há mais precipitação do que evaporação na região da ZCAS, a manutenção da convecção deve ocorrer devido a convergência de umidade. Quadro (1994) também obteve este resultado através dos campos de divergência de umidade em baixos níveis no formato de pêntadas, ratificando trabalhos anteriores como por exemplo Satyamurty e Rao (1988). Parte da região central e sudeste do Brasil tem seu período de precipitação mais intensa durante os meses de verão (DJF) (Rao e Hada, 1980), como mostra a Figura 2.1. A precipitação na ZCAS contribui intensamente para o regime de chuvas nesta região, podendo atingir 400 mm/mês durante o período de maior atividade convectiva (Kodama, 1992).

8


Fig. 2.1 - Trimestres mais chuvosos no Brasil. As letras representam os meses consecutivos de chuvas intensas. FONTE: Rao e Hada (1990), p. 83.

Outra característica importante da ZCAS é a presença de um cavado semiestacionário em 500 hPa sobre a costa leste da AS, formado devido a presença dos Andes. Satyamurty et al. (1980) concluíram que o cavado de grande escala gerado pelos Andes (Figura 2.2) é favorável para que os sistemas frontais permaneçam estacionárias por períodos mais longos na costa leste da América do Sul, deste modo, propiciando condições para o desenvolvimento de sistemas de baixa pressão e vórtices de mesoescala, caracterizando assim a ZCAS. Esta conclusão foi comprovada no estudo de Figueroa (1990), porém, existe a necessidade de uma manutenção dinâmica em altos níveis para que este padrão de escoamento fique semi-estacionária por um certo período. Uma forçante seria o JST, que pode ter um papel importante na definição da configuração, assim como a presença do anticiclone em altos níveis a sotavento do Andes (AB), que com sua circulação pode auxiliar na persistência da ZCAS e o cavado do Nordeste, que também seria uma forçante dinâmica no sentido de manter a estacionalidade do sistema frontal (Figueroa, 1997). Qualquer alteração dessas configurações pode ocasionar a não estacionalidade do cavado e com isso ter um movimento natural da onda longa para leste.



Fig. 2.2 - Campo de escoamento em 500 hPa sete dias após este ultrapassar os Andes. FONTE: Satyamurty et al. (1980), p. 518.

Kodama (1992) mostra que o transporte de umidade em baixos níveis, importante na manutenção de chuvas intensas na região da ZCAS, ocorre devido à alguns fatores, podendo-se destacar: o giro dos ventos alísios para o sul devido a influência da Cordilheira dos Andes, que assim transportam umidade desde a Amazônia até a costa leste da AS (Quadro, 1994); a presença da ASAS que com sua configuração acaba também transportando umidade do OAS para a região onde forma-se a ZCAS (Kodama, 1992, Quadro, 1994). A Figura 2.3 mostra o fluxo de convergência de umidade integrado verticalmente para uma situação de ZCAS (denominado evento negativo), utilizando os dados das reanálises do National Center for Environmental Prediction (NCEP) e da National Aeronautics and Space Administration/Data Assimilation Office (NASA/DAO). A análise desta figura mostra que o fluxo de convergência de umidade fica localizada a leste do litoral da Região Sudeste do Brasil, caracterizando assim o evento. Ambas reanálises (NCEP e NASA/DAO) mostram isto. No caso de não existência da ZCAS (evento positivo) como a Figura 2.4 ilustra, o fluxo de convergência de umidade fica mais localizado ao sul do Brasil, região do Rio da Prata. Portanto, o posicionamento do fluxo de convergência de umidade é um fator importante na determinação de um evento de ZCAS.



Fig. 2.3 - Campo de fluxo de convergência de umidade integrado verticalmente para um caso de ZCAS, (a) reanálises NCEP-NCAR, (b) reanálises NASA/DAO para eventos positivos. Unidade em 100 g.cm⁻¹.s⁻¹. FONTE: Paegle e Mo (1997), p. 284.



Fig. 2.4 - Campo de fluxo de convergência de umidade integrado verticalmente para um caso de não haver ZCAS, (a) reanálises NCEP-NCAR, (b) reanálises NASA/DAO para eventos negativos. Unidade em 100gcm⁻¹s⁻¹. FONTE: Paegle e Mo (1997), p. 284.

A conexão entre o cavado semi-estacionário em médios níveis sobre a Região Sul do Brasil, e o movimento ascendente de ar quente e úmido corrente abaixo associado à convergência do fluxo de umidade na região da ZCAS é importante para a manutenção da convecção (Kodama, 1992, Quadro, 1994). Um modelo esquemático mostrando estas condições características de um evento ZCAS é mostrado na Figura 2.5 (Kodama, 1993). Ao analisar-se esta figura, percebe-se que a zona de convergência possui associada a si um centro de alta pressão subtropical, com a presença de uma corrente de jato subtropical em altos níveis e um centro de baixa pressão quente.



Fig. 2.5 - Modelo esquemático de padrões de grande escala para a circulação ao redor da ZCAS. Adaptado para o Hemisfério Sul a partir de Kodama (1993), p. 606.

Outra característica atmosférica associada a ZCAS é uma região com vorticidade relativa (ς) positiva em 200 hPa sobre a ZCAS que determina as regiões propícias para a manifestação do fenômeno. O campo de ς em altos níveis caracteriza bem a presença da ZCAS (Quadro, 1994).

Outras considerações sobre as ZPS também foram feitas por (Kodama, 1992):

- a) presença de uma camada super-úmida e zonas baroclínicas associadas ao jato subtropical de altos níveis na região da ZPS;
- b) separa duas massas de ar com características distintas entre si. Em baixas latitudes encontra-se uma massa de ar convectivamente instável. Já em latitudes médias há a presença de uma massa de ar estável. Isto foi verificado através do campo de θ_e , onde seu gradiente mostra a separação entre as massas com direção igual a da nebulosidade convectiva, isto é NW/SE, delineando uma zona de separação entre a massa quente e úmida, oriunda dos trópicos, da massa fria e seca procedente das latitudes médias e altas. Esta característica também foi observada por Quadro (1994) nos campos compostos de pêntadas de θ_e em 500 hPa. A Figura 2.6 mostra essa composição para três pêntadas correspondentes aos 28 casos de ZCAS selecionados por Quadro (1994), com duração de 15 dias entre os anos de 1980-1989, onde foi verificado a presença de gradiente de θ_e na região climatológica de ocorrência da ZCAS.

Kodama concluiu que para formar uma ZPS em regime quasi-estacionário é necessário que duas condições sejam satisfeitas. São elas:

- (a) o escoamento em baixos níveis proveniente do pólo deve predominar na periferia oeste das altas extratropicais (30°S-35°S);
- (b) presença do escoamento do jato subtropical em altos níveis.



Fig. 2.6 - Composição em pêntadas de campos de θ_e. 500 hPa.
(a) primeira pêntada; (b) segunda pêntada; (c) terceira pêntada, em intervalos de 1K.
Fonte: Quadro (1994)

Segundo Kodama (1993) quando as duas condições não são totalmente satisfeitas, as ZPS podem enfraquecer. A partir destas condições, Kodama inferiu

que o JST propicia a frontogêneses nos subtrópicos juntamente com escoamentos provenientes da região do pólo. Assim, a instabilidade convectiva aumenta.

Durante períodos com a presença da ZCAS também foi verificada a interação com outros sistemas atmosféricos, tais como: o VCAN sobre o Nordeste do Brasil (Figueroa, 1997); a presença de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) formados e desenvolvidos sobre o Paraguai e Argentina; a AB, que afeta a localização da ZCAS (Quadro, 1994).

Além dos sistemas, a convergência de ar tropical com o ar extratropical gera uma forte região de instabilidade entre as duas massas devido a influência da ASAS (Satyamurty e Rao, 1988).

Uma outra maneira de avaliar a evolução da ZCAS é em termos da Função Frontogenética (FFG), resultado do produto entre o gradiente de temperatura, a deformação horizontal e a divergência de massa, podendo ser calculada utilizando a temperatura ou θ_{e} , seguindo a metodologia desenvolvida por Mattos (1988). Calderon e Gandu (1996) analisando as características da circulação média observada sobre a AS, notaram a existência de núcleos positivos de FFG na região da ZCAS.

2.2 - Influências Remotas

A interação entre as ondas de diferentes escalas espaciais e temporais acabam tendo influência sobre fenômenos meteorológicos, podendo-se citar o ENOS e a

OMJ (Madden e Julian, 1971, 1972). Em relação ao El-Niño, Quadro (1994), analisando os efeitos deste fenômeno nos campos de vorticidade e de precipitação, chegou à conclusão que o El-Niño contribui negativamente sobre a ocorrência das ZCAS. Durante anos de El-Niño a CT pode-se formar mais para oeste (concordando com os resultados de Horel e Jones, 1990) desfavorecendo a organização da ZCAS ou causando sua formação fora de sua região preferencial.

A influência da OMJ sobre a ZCAS foi alvo de alguns trabalhos, tal como o de Casarin e Kousky (1986), que ao monitorarem as anomalias do escoamento atmosférico das ROLE, observaram uma relação entre a ZCAS e a ZCPS através da OMJ. A ZCAS organiza-se 15 (quinze) dias após a ZCPS começar a enfraquecer. Kayano e Kousky (1992) também observaram tal resposta da ZCAS em relação a ZCPS através do campo de "loadings" da Função Ortogonal Empírica Estendida (FOEE). O termo "loading" refere-se em cada ponto de grade ao coeficiente de correlação entre a série de anomalias filtradas de ROLE (utilizadas no cálculo das FOEEs) e as componentes principais para um modo (representado por uma següência temporal de padrões correspondentes aos passos de tempo). A análise da Figura 2.7, mostra que a següência de padrões ilustra uma propagação dos "loadings" negativos para leste com o tempo. Este padrão caracteriza-se por um dipolo de "loadings" orientado na direção lesteoeste, que se desloca para leste com o tempo, sendo mais nítida no Oceano Pacífico Oeste. Além disso, Calheiros e Silva Dias (1988) sugeriram que um deslocamento da ZCPS ocasionaria a desorganização da ZCAS. Tanto Satyamurty e Rao (1988) quanto Nobre (1988) também fizeram referência sobre a relação entre a ZCPS e ZCAS. Entretanto, Nobre (1988) comparou também a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) com a ZCAS em termos de variação temporal e espacial e a sua dinâmica.



Fig. 2.7 - Configurações do primeiro modo estendido. Áreas com "loadings" negativos estão sombreados. A isolinha de zero foi omitida. FONTE: Kayano e Kousky (1992), p. 596.

D'Almeida e Grimm (1998), através de análises espectrais de dados de ROLE observaram que as oscilações intrasazonais dentro da banda de 30-60 dias influenciam significantemente a atividade convectiva sobre o Estado de São Paulo (SP), com seus ciclos apresentando uma pequena diferença em relação aos ciclos observados na região do Pacífico Central Sul. Ambrizzi et al. (1998) também mostraram que a atividade da ZCAS tem relação com as ondas que se propagam desde a região do Oceano Pacífico. Entretanto, ainda não foram feitos estudos mais profundos da relação entre estas zonas de convergência. A intensificação da convecção na parte leste do Brasil é um resultado do acoplamento da convecção associada a ZCIT e a ZCAS ao final do mês de fevereiro. (Kayano et al., 1990).

2.3 - Estudos com Modelos Numéricos

O estudo de modelagem atmosférica consiste de uma área importante dentro da meteorologia pois, permite a simulação de sistemas meteorológicos e possibilita a compreensão dos processos físicos e dinâmicos envolvidos.

A utilização de modelos de área limitada permite verificar os mecanismos dinâmicos e físicos que influenciam no comportamento da atmosfera durante o evento de ZCAS. Figueroa (1995), através de um modelo não-linear multinível de equações primitivas em coordenada vertical η, estudou a influência da Cordilheira dos Andes na circulação atmosférica de verão sobre a América do Sul, utilizando uma forçante térmica na região Centro-oeste do Brasil. Uma de suas conclusões foi que os Andes favorecem a formação de uma faixa de convergência com orientação NW/SE, coincidindo com a posição climatológica da ZCAS, quando comparada ao campo de ROLE. Além disso, verificou-se que há dois ramos de escoamento importantes em baixos níveis associados com a ZCAS: o primeiro com ventos de Nordeste (NE) na parte nordeste do Brasil, os quais são mais fortes quando utiliza-se o campo de escoamento médio zonal como campo inicial

do modelo; o segundo, com ventos de sul (S) e sudoeste (SW), que atuam sobre a Argentina, devido a influência dos Andes.

Figueroa (1997) apresenta um esquema ilustrativo que tenta explicar os mecanismos que ocorrem durante a formação da ZCAS e suas influências na AS, onde a ZCAS, o VCAN e a AB formam um sistema termicamente acoplado quase-geostróficamente. Neste sistema o VCAN é gerado a partir do estabelecimento da ZCAS, que é mantida pelo transporte de umidade desde a região de convecção da Amazônia, sendo a AB também dependente dessa convecção. A passagem de sistemas transientes e fatores de grande escala também exercem influência sobre a ZCAS, afetando também os outros sistemas da circulação citados.

Tanajura (1998) através de uma comparação entre o campo de precipitação obtidos de um modelo de circulação geral (MCG) e de um modelo ETA (modelo de área limitada em coordenadas verticais η), mostrou que o modelo ETA consegue obter um padrão parecido com o da ZCAS. Foi estabelecido um índice baseado no vento zonal em 200 hPa e no vento meridional em 850 hPa. Este índice mostrou que o padrão de ZCAS encontrado é altamente correlacionado com a precipitação sobre a região da ZCAS acima de 75%, confirmando resultados de Kodama (1993). Tanajura (1998) deixa claro porém, que a performance do modelo regional depende muito que a climatologia do MCG seja a mais realística possível, pois a mesma serve de condição inicial do modelo de área limitada.

Silva e Gandu (1998a) simulam um evento de ZCAS utilizando outro tipo de modelo de escala regional, o RAMS (Regional Atmospheric Modeling System)

20

desenvolvido pela Universidade do Colorado, EUA (Pielke et al., 1992), o qual possui as seguintes características físicas: parametrização da radiação, microfísica explícita das fases da água (vapor, líquido e gelo) e parametrização da convecção do tipo Kuo. Seus resultados mostram que o modelo só forma a ZCAS após 48 horas de simulação, devido a demora do modelo se ajustar às condições impostas durante o experimento, tais como: campos dinâmicos e termodinâmicos de grande escala "forçados" por um ciclo derivado de dados observados e médios para períodos com a presença da ZCAS.

Em um segundo trabalho, Silva e Gandu (1998b) discutiram a sensibilidade do RAMS em simular um evento ZCAS. Verificou-se que uma pequena flutuação nos parâmetros da convecção cumulus faz com que haja menos precipitação sobre certas áreas e, com isso, obtém-se um padrão mais realístico da atmosfera, quando comparado às imagens de satélite.

Pezzi et al. (1998a) e Pezzi et al. (1998b) ao simularem através de um MCG do Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) condições climatológicas para a América do Sul, com o acréscimo do dobro de CO₂ numa simulação no conjunto de dados do LMD e através das reanálises do European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) em uma segunda simulação chegam a conclusão que os ventos nos baixos níveis e altos níveis são superestimados na parte sul da AB.

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

Nesse capítulo descreve-se os dados utilizados no trabalho, quanto a sua forma e procedência, a metodologia empregada na seleção dos casos de ZCAS e os problemas encontrados durante a execução.

3.1 – Área de Estudo

A área utilizada no método objetivo foi compreendida entre as latitudes de 10°S a 27,5°S e as longitudes de 35°W a 60°W, conforme visto na Figura 3.1. Essa área foi escolhida devido ao fato da ZCAS climatologicamente ocorrer no Sudeste do Brasil e norte da Região Sul, tendo associação com a CT no Centro-oeste do Brasil. No estudo de casos utilizou-se a área compreendida entre as latitudes de 5°N a 60°S e as longitudes de 20°W a 90°W, para se ter uma visão sinótica do comportamento da atmosfera durante os dias de ocorrência de ZCAS.



Fig. 3.1: Área de seleção para os casos de ZCAS.

3.2 - Dados utilizados

Para o estudo das ZCAS utilizou-se os seguintes dados meteorológicos, que auxiliaram na caracterização da atmosfera durante o evento ZCAS:

- o primeiro conjunto de dados constitui das médias diárias de 2 horários de ROLE expressos em Wm⁻², com resolução espacial de 2º de latitude por 2º de longitude, compreendido entre o período de 1979 a 1988, obtidos do NCAR (National Center for Atmospheric Research) e fornecidos pelo IPMET (Instituto de Pesquisas Meteorológicas);
- o segundo conjunto de dados também é de ROLE, dados em Wm⁻² porém com resolução espacial de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude, no horário das 00:00Z, provenientes dos satélites de órbita polar NOAA-11 e NOAA-12, para o período de 1990 a 1994. Estes dados foram obtidos junto ao NCAR e fazem parte do Banco de Dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC);
- juntamente com os dados de ROLE, utilizou-se as reanálises do NCEP, em ponto de grade, com resolução de 2,5° de latitude e 2,5° de longitude, para quatro horários de observação: 00:00Z, 06:00Z, 12:00Z e 18:00Z para o período de 1990 a 1994, obtidas junto ao DCA/IAG/USP (Divisão de Ciências Atmosféricas/Instituto Astronômico e Geofísico/Universidade de São Paulo). As variáveis utilizadas foram: componente zonal (u) e meridional (v) do vento, ambas em ms⁻¹, para os níveis de 925, 850 e 300 hPa; temperatura nos níveis de 925 e 850 hPa (T) dada em graus Kelvin (K) e umidade relativa (UR) nos níveis de 925, 850 e 700 hPa em percentagem (%); pressão reduzida ao nível médio do mar (PNM), dada em hPa; velocidade vertical (ω) ao nível de 500 hPa, dada em hPa/s. Como a ZCAS

permanece praticamente estacionária por alguns dias, fez-se a média desses quatro horários sinóticos de dados disponíveis;

 imagens dos satélites METEOSAT-3 e GOES-7 no canal infravermelho, para o mesmo período das reanálises, cedidos pela Divisão de Meteorologia por Satélite (DMS), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do CTA/IAE/ACA (Centro Técnico Aeroespacial/Instituto de Aeronáutica e Espaço/Divisão de Ciências Atmosféricas).

Para visualizar os campos das variáveis meteorológicas utilizou-se o pacote gráfico GrADS (Grid Analysis and Display System) (Doty, 1985), fornecido pelo COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions), disponível no INPE.

Em relação aos dados utilizados, vale os comentários feitos por Kalnay et al. (1996), e Mo e Higgis (1996) sobre os problemas encontrados nas reanálises do NCEP e por Liebman e Smith (1996) na obtenção dos dados de ROLE, sumariados a seguir.

Referente as reanálises do NCEP, o principal problema encontrado foi quanto aos dados de pressão ao nível do mar no HS, onde o Centro Australiano gerou dados chamados PAOBS (dados usados pelo NCEP e ECMWF nas análises e previsões atuais). Estes PAOBS, ao contrário dos dados observacionais, são o produto de analistas que estimam a PNM baseada em dados de satélites, dados convencionais e na continuidade do tempo. Com isso, foram gerados dados deficientes para o oceano no HS. Entre o período de 1979 a 1992 as reanálises utilizaram dados digitados pelo ECMWF. Pela avaliação do grupo do NCEP responsável pelas reanálises, o erro afeta as latitudes compreendidas entre 40°S-60°S, dobrando somente a incerteza da análise (site do NCEP).

Mo e Higgis (1996) mostram que a discrepância no transporte de umidade tropical é basicamente devido as incertezas na divergência dos ventos. Existe um certo questionamento sobre as características dos campos de divergência do fluxo de umidade sobre parte da AS. Todas as questões levantadas referem-se mais aos ventos em baixos níveis do que em relação a umidade específica, mas que acabam influenciando nos dados de umidade. Kalnay et al. (1996) mostram que a quantidade de umidade na atmosfera tropical do modelo depende da parametrização da convecção das nuvens, visto que alguns esquemas de convecção tendem a secar a atmosfera mais do que em outros. Apesar dos dados de umidade terem sido obtidos também (existe também informação de umidade obtida através das radiossondagens) por sensores a bordo de satélite, a maior parte da umidade é proveniente da climatologia do próprio modelo.

Os dados de ROLE apresentam falta de informação em certas regiões do globo para alguns dias e sem nenhuma informação em outros dias. Isto deve-se ao fato de como são obtidos os valores da ROLE, através de satélite. Os satélites são de órbita polar da série TIROS-N (Television Infrared Observational Satellite) através do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) (Paulino, 1997). Os satélites de órbita polar passam por uma determinada região do globo a cada 12 horas. Com essas duas observações, é feita uma média em cada ponto de grade e assim obtendo-se o valor diário. Essa média tem um caráter de praticidade na utilização dos dados de satélite, pois seria inviável em tarefas rotineiras utilizar uma quantidade enorme de dados. Além disso, em alguns dias ocorreram perda de informação ou falha na transmissão pelos sensores.

Outro fator importante para a qualidade dos dados de ROLE é que alguns valores foram obtidos através de métodos de interpolação. Conforme Liebman e Smith (1996), o conjunto de dados do NCAR passou por um controle de qualidade feito pelo NCAR. A eliminação de dados incorretos considerou os

25

seguintes valores de referências:

- 1. valores abaixo de 50 Wm⁻²;
- valores diurnos maiores que 325 Wm⁻² e valores noturno maiores que 300 Wm⁻² entre as latitudes 90°-60°N e 45°-90°S;
- valores diurnos maiores que 400 Wm⁻² e noturnos acima de 300 Wm⁻² entre as latitudes 57,5 °N-42,5°S.

Na região tropical, os valores baixos de ROLE indicam a presença de nuvens convectivas. Quanto menor for o valor de ROLE, mais intensa é a convecção naquele ponto. Nesta região, os valores típicos de ROLE para nuvens convectivas situam-se na faixa de 200 a 240 Wm⁻². Neste trabalho adotou-se que valores \leq 235 Wm⁻² representam convecção intensa (Kousky (1988) e Kodama (1992)).

A Tabela 3.1 mostra o número de dias com informação de ROLE para o período 1990-1994, a partir do conjunto do NCAR. Verifica-se que, dos 5 anos de estudo, 2 anos foram incompletos (1991 e 1994). Os dias faltantes foram considerados como dados perdidos e foram levados em conta na seleção dos casos, quando do processo de contagem dos dias consecutivos com características de ZCAS.

PELO NCAR	NO PERÍODO DE 1990-1994
Anos	Número de dias com dados de ROLE

TABELA 3.1 – NÚMERO DE DIAS COM INFORMAÇÃO DE ROLE OBTIDA

Número de días com dados de ROLE		
365		
361		
366		
365		
364		

3.3 - Metodologia empregada

A metodologia proposta consiste em desenvolver um método objetivo utilizando os dados de ROLE para selecionar os eventos de ZCAS, e de uma análise sinótica aplicada a dois casos selecionados.

3.3.1 - Descrição do Método Objetivo

Procurou-se desenvolver um método objetivo que pudesse selecionar os dias em que havia nuvens convectivas organizadas em uma banda, semelhante àquela observada em casos de ZCAS. Assim, inicialmente o método elimina os dias com pouca convecção sobre a área em estudo, portanto dias com poucos pontos de grade com valores de ROLE iguais ou inferiores a 235 Wm⁻² ou numa formação diferente de uma banda (núcleos em forma de círculo por exemplo) eram descartados, por não refletirem uma situação de ZCAS. Para selecionar os dias com a convecção organizada em banda, calculou-se a correlação cruzada no espaço entre um campo típico de ROLE para um caso de ZCAS e os campos diários de ROLE, além de obter a Distância Euclidiana (DIST) desses dois campos.

A correlação cruzada no espaço foi calculada conforme a Equação 3.1, que expressa a correlação linear entre duas variáveis quaisquer X e Y (Nery, 1996):

$$R_{x, y} = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X}) (Y_i - \overline{Y})}{S_x S_y}$$
(3.1)

onde:

R_{X,Y} - correlação entre a matriz padrão e a matriz de cada dia;

n - número de pontos de grade das matrizes;

X_i - valor de ROLE em cada ponto de grade da matriz padrão;

X- valor médio de ROLE da matriz padrão;

Y_i - valor de ROLE em cada ponto de grade da matriz diária;

Y - valor médio de ROLE da matriz diária;

S_X - desvio padrão da matriz padrão;

Sy - desvio padrão da matriz diária;

A cada dia lido do conjunto de dados de ROLE fez-se o cálculo da covariância e da respectiva correlação entre a matriz de dados do dia em questão e a matriz de referência que representa o padrão típico de um evento de ZCAS. O cálculo da correlação cruzada defasada no espaço foi feita a fim de verificar se a banda de nebulosidade sofre algum tipo de deslocamento no espaço. Esta defasagem foi feita de duas maneiras: em um primeiro instante a matriz padrão de ROLE ficou fixa e eliminou-se o primeiro ponto na matriz diária, como que simulando um deslocamento da faixa de nebulosidade. Este processo de defasagem foi realizado em até 7 pontos de grade. Em uma segunda etapa, fez-se o procedimento inverso, ou seja, fixou-se a matriz diária e simulou-se o deslocamento da matriz padrão, nos mesmos moldes do que foi descrito acima; No procedimento de obtenção do padrão de referência, utilizou-se a pêntada (média de 5 dias) central dos casos de ZCAS selecionados por Quadros (1994), exceto os ocorridos nos períodos de 28/01/85 a 01/02/85, 08/01/89 a 22/01/89 e 01/02/89 a 15/02/89, devido ao fato de não possuir no conjunto de dados de ROLE, as informações referentes a estes períodos. Assim a matriz de referência foi obtida através da média de 22 casos de ZCAS, dos 28 casos estudados por Quadro (1994), conforme mostra a Tabela 3.2:

ANO/MÊS	DEZ	JAN	FEV
80	01/12 - 15/12	17/01 - 31/01	06/02 - 20/02
81	28/11 - 12/12	15/01 - 29/01	29/01 - 12/02
82	01/12 - 15/12	28/12 - 11/01	19/02 - 05/03
83	06/12 - 20/12	01/01 - 15/01	10/02 - 24/02
84	21/11 - 05/12	16/01 - 30/01	*
85	21/12 - 04/01	23/01 - 06/02	19/02 - 05/03
86	03/12 - 17/12	26/12 - 09/01	01/02 - 15/02
87	03/12 - 17/12	26/12 - 09/01	01/02 - 15/02
88	03/12 - 29/12	02/01 - 16/01	31/01 - 14/02
89	*	08/01 - 22/01	01/02 - 15/02

TABELA 3.2 - EPISÓDIOS DE ZCAS ESTUDADOS POR QUADRO (1994)

* mês não analisado

Fonte: Quadro (1994), pp. 24

Quadro (1994) verificou que na maioria dos casos a pêntada central representava melhor o padrão de ZCAS. Com isto, fez-se a média aritmética dos valores de ROLE diários referentes à pêntada central dos episódios, obtendo assim uma matriz representativa da média dos casos de ZCAS. Esta matriz média resultante passou a ser o padrão típico de um evento de ZCAS considerado neste trabalho. Esse padrão é mostrado na Figura 3.2 abaixo:



Fig. 3.2 - Campo de ROLE representando o padrão típico da convecção, a partir dos casos obtidos por Quadro (1994).

Como pode-se observar, a convecção mais intensa (representada pelos menores valores de ROLE) da ordem de 200-240 Wm⁻² localizou-se na Região Centro-Oeste do Brasil, indo em direção ao OAS, numa faixa orientada NW/SE, atingindo a Região Sudeste do Brasil.

A DIST foi calculada através da Equação 3.2, dada por (Nery, 1996):

DIST =
$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left[\left(x_{2} - x_{1} \right)^{2} + \left(y_{2} - y_{1} \right)^{2} \right]^{2}$$
 (3.2)

onde:

DIST= distância euclidiana, calculada para cada dia;

n = número de pontos da matriz;

 X_1 = posição do ponto de grade onde ROLE é ≤ 235 Wm⁻² na direção leste-oeste;

X₂= valor do ponto de grade na posição 1, no sentido leste-oeste;

Y₁= posição do ponto de grade onde ROLE é ≤ 235 Wm⁻² na direção norte-sul;

Y₂= valor do ponto de grada na posição 1, no sentido norte-sul.

O cálculo de DIST foi feita a partir do ponto (1,1) da matriz de ROLE, para cada dia, em relação a cada ponto que satisfizer a condição de ter valor \leq a 235 Wm-²;

A DIST dá a exata noção da proximidade entre pontos que satisfazem o critério de serem $\leq 235 \text{ Wm}^{-2}$. Quanto maior for a distância entre os pontos, mais distantes estarão eles entre si. Conforme Nery (1996), se a distância entre duas entidades idênticas for igual a zero, significa que elas ocupam o mesmo ponto no espaço. Portanto, quanto menor for o valor de DIST, mais próximos e agrupados estarão os pontos de grade que possuem valor \leq a 235 Wm⁻², e com isto há a garantia de que a nebulosidade está compacta, sendo este um princípio importante no estudo da ZCAS devido ao fato de que espera-se uma banda de nebulosidade sobre a área de seleção.

O procedimento para a seleção de dias com banda de nebulosidade convectiva, para cada dia estudado seguiu os seguintes passos, como mostra o diagrama esquemático na Figura 3.3:



Fig. 3.3 – Diagrama Esquemático do Método Objetivo de Seleção de Casos de ZCAS.

A descrição do procedimento de seleção dos casos de ZCAS foi dividido em três partes, conforme mostrado na Figura 3.3 e explicados abaixo.

- Lê-se a matriz com os valores de ROLE diários, se esta tiver mais do que 10 pontos com valores menores do 235 Wm⁻², ou seja, mais de 10% do número total de pontos que compõem a matriz, calcula-se a correlação linear entre a matriz referente a cada dia e a matriz padrão e o cálculo da DIST;
- 2. Após o cálculo das medidas estatísticas (correlação cruzada defasada no espaço e distância euclidiana) dos dados diários de ROLE, passa-se a etapa de testes para se obter os eventos de ZCAS ocorridos durante o período deste estudo. Primeiramente separa-se o maior valor de correlação (rmax) encontrado entre a matriz diária de ROLE e a matriz padrão de ROLE e em qual posição de defasagem encontra-se este valor. Se o valor de rmax for maior que 50%, então, o dia é separado automaticamente e acumulado no contador temporal, que ao chegar num número mínimo de 5 dias consecutivos, passa a considerá-lo como um caso de ZCAS;
- 3. Se o dia testado não satisfizer este primeiro critério (rmax acima de 50%), passa-se para uma próxima etapa, onde novamente testa-se o valor de rmax dentro de um intervalo compreendido entre 40% e 50%. O teste agora realizado compreende a análise dos valores de correlação (R) das defasagens posterior ou anterior à posição de rmax respectivamente. Isto foi feito para garantir que a correlação se mantenha por mais de um passo de defasagem realizado. Se o valor de R das defasagens também tiver valores acima de 40% e a distância euclidiana desse dia estiver compreendida no intervalo de valores, entre 106 e 446 (obtidos pelo cálculo de DIST dos casos de Quadro, 1994) este dia é selecionado. Se não forem satisfeitas tais condições, o contador temporal é zerado, recomeçando uma

nova contagem do período de dias.

O estabelecimento dos valores de correlação de corte (50% e 40%) teve como base uma análise visual dos resultados de correlação, provenientes das rodadas do programa de seleção. Comparou-se os casos selecionados através das imagens de satélite com os casos selecionados com vários valores de correlação. Após este procedimento verificou-se que os valores de correlação da ordem de 50% e 40% entre o dia testado e o padrão de ROLE era satisfatório para o ajuste do método e conseqüente seleção do dia.

Aplicou-se um teste de significância no conjunto de dados a fim de se ter uma medida que indique quais os valores de correlação são significativos estatisticamente. Para isto foi utilizado o teste de significância tipo T. Tal teste toma como hipótese que a correlação entre a matriz diária de ROLE e a matriz padrão seja igual a zero. Se tal hipótese não for verdadeira, as duas matrizes não são independentes entre si, e podem estar associadas a uma distribuição de probabilidades do tipo T-Student. A estatística T é expressa pela Equação 3.3, dada por Benjamim e Cornell (1970).

$$T = \frac{R \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^{2}}}$$
(3.3)

com n-2 graus de liberdade e onde R representa os valores de correlação.

Conforme tabela apresentada em Benjamim e Cornell (1970), se um conjunto de dados com número de pontos igual a 88 e com 86 graus de liberdade (número de pontos menos 2), para um nível de significância (α) de 95%, possuir suas correlações com níveis de significância acima de 1,96, pode-se

considerar os eventos como não independentes entre si e, com isso, proceder a seleção dos casos de ZCAS. Mas, se as correlações dos dias testados tiverem seus níveis de significância abaixo de 1,96, não se pode considerá-los como eventos não independentes e, portanto, não se podendo testar o dia. A Figura 3.4 mostra um gráfico com os valores de correlação sem defasagem de um mês testado (Dezembro/1990) e seus valores de significância plotados juntos. As linhas tracejadas representam o intervalo onde vale a independência entre as matrizes. A análise da Figura 3.4 mostra valores de correlação abaixo do limite de 40 %. Isto se deve a ter-se feito defasagens em 7 pontos de grade para cada matriz diária de ROLE e com isso o limite de 40 % era contemplado, pois como foi mencionado no item 3 da descrição do processo de seleção, não era necessariamente obrigatório que o valor de rmax estivesse no primeiro cálculo da correlação, no caso sem a defasagem, podendo, assim, estar em qualquer um dos outros 7 pontos. Tudo fica na dependência do quanto a ZCAS "oscila" em termos de pontos de grade, para assim ter situações diferentes da apresentada na Figura 3.4.



Fig. 3.4 – Gráfico comparando a correlação diária do mês de Dezembro/1990 e a sua significância, feita pelo teste T.

Neste mês (Dezembro/1990) em questão foram selecionado dois eventos de ZCAS que ocorreram durante os dias 11-15 e 25-31. Pode-se observar que, em ambos os casos no seu início a correlação tinha seu valor em torno de 60%. A medida que o caso tinha seu andamento, os valores iam caindo. Isto pode ser explicado pelo fato de que a matriz padrão de ZCAS representa melhor um estágio da ZCAS, por exemplo, seu início.

3.3.2 - Análise Sinótica dos casos de ZCAS

O estudo das características sinótica-dinâmicas de grande escala foi feito através de dois estudos de casos de ZCAS, cuja descrição é feita no capítulo 5.

Campos combinados de algumas variáveis meteorológicas possibilitam o melhor entendimento do comportamento da atmosfera durante os dias do caso de ZCAS, bem como, os dias que antecederam a ocorrência do caso e os dias após o seu término, obtendo uma melhor visão das mudanças que a atmosfera sofre ao iniciar e ao dissipar um caso de ZCAS.

Alguns do campos analisados foram gerados pela rotina GrADS, como por exemplo o campo de θ_{e} , a qual foi calculada para um processo pseudoadiabático em uma atmosfera saturada de água através do método proposto por Bolton (1980), utilizando a Equação 3.4:

$$\Theta_{e} = T_{\kappa} \left(\frac{1000}{p} \right)^{0.2854 (1-0.28 \times 10^{-3} r)} \times \exp\left[\left(\frac{3.376}{T_{L}} - 0.00254 \right) \times r \left(1 + 0.81 \times 10^{-3} r \right) \right]$$
(3.4)

onde:

T_K = temperatura absoluta no nível inicial

p = pressão no nível inicial

r = razão de mistura no nível inicial

T_L = temperatura absoluta no nível de condensação por levantamento, dada pela Equação 3.5

$$\Gamma_{\rm L} = \frac{1}{\frac{1}{T_{\rm d} - 56} + \frac{\ln(T_{\rm K}/T_{\rm d})}{800}} + 56$$
(3.5)

onde T_d é a temperatura do ponto de orvalho.

O erro máximo obtido utilizando a Equação 3.5 é de 0,3K. Este erro foi obtido empiricamente por Bolton (1980) o qual não deu uma explicação mais apurada a respeito.

CAPÍTULO 4

SELEÇÃO DOS CASOS DE ZCAS

A partir do método objetivo descrito no capítulo anterior, foram selecionados os episódios de ZCAS considerando um período mínimo de cinco dias de duração, para os 5 anos de estudos, compreendidos entre 1990 e 1994. Também efetuou-se uma seleção de casos de ZCAS através de uma análise subjetiva (análise visual), utilizando, para isto, imagens de satélite visando verificar a eficiência do método objetivo. Ressalta-se porém, que a falta de imagens de satélite em alguns meses (*Janeirol92, Janeirol93, Outubrol93, Novembrol93, Outubrol94, Novembrol94* e *Dezembrol94*) impossibilitou a análise subjetiva do período completo, bem como a comparação com os resultados do método, não permitindo, assim, a verificação completa para os meses em questão.

A Tabela 4.1 mostra o período de ocorrência dos casos completos de ZCAS, selecionados através dos métodos objetivo e subjetivo. Foram selecionados 20 casos de ZCAS usando o método visual, e 20 casos pelo método objetivo, relacionados na Tabela 4.1. Comparando-se os casos selecionados pelo método objetivo com os do método visual, observa-se que 9 casos foram coincidentes, tendo no mínimo 5 dias consecutivos de ocorrência conjunta. Entretanto, 6 desses casos (13-17/Fev/90, 5-10/Fev/91, 15-19/Dez/91, 1-6/Fev/92, 2-10/Fev/93 e 17-24/Dez/93) foram exatos guanto ao início e término do episódio de ZCAS, e 3 casos (1-13/Jan/90, 2-7/Jan/91 e 15-24/Fev/93) o método objetivo não captou o período completo. Nove casos (22-29/Nov/90, 11-15/Dez/90, 25-31/Dez/90, 11-19/Jan/91, 26-31/Jan/91, 22-29/Mar/91, 1-7/Mar/92, 15-19/Mar/92, 5-9/Mar/92) não foram captados pelo método objetivo. Outros 6 casos (18-22/Dez/92, 3-8/Jan/94, 19-23/Jan/94, 19-24/Mar/94, 24-29/Out/94 e 26-31/Dez/94) selecionados pelo método objetivo não se caracterizaram como ZCAS, quando comparado ao método visual. O caso de 10-15/Nov/91 foi selecionado pelo método objetivo como sendo dois (7-12 e 15-24 de Nov/91. Dos 9 casos selecionados, o de 2-7/Jan/91 teve seu término abreviado pelo método objetivo, não incluindo o último dia. Três casos (1-13/Jan/90, 15-24/Fev/93 e 25-29/Mar/93) tiveram sua contagem iniciada após o caso ter começado no método visual, caracterizando atraso.

TABELA 4.1 – CASOS DE ZCAS DETECTADOS, PELOS MÉTODOS VISUAL E OBJETIVO PARA O PERÍODO DE 1990 A 1994.

Meses	Método Visual	Método Objetivo		
Jan/90	1-13	6-13		
Fev/90	13-17	13-17		
Mar/90	s/casos	s/casos		
Out/90	s/casos	s/casos		
Nov/90	22-29	-		
Dez/90	11-15 / 25-31	-		
Jan/91	2-7 / 11-19 / 26-31	2-6		
Fev/91	5-10	5-10		
Mar/91	22-29	-		
Out/91	s/casos	s/casos		
Nov/91	10-15	7-12 / 15-24		
Dez/91	15-19	15-19		
Jan/92	S/IMAGENS	21-31		
Fev/92	1-6	1-6		
Mar/92	1-7 / 15-19	#i		
Out/92	s/casos	s/casos		
Nov/92	5-9	-		
Dez/92	s/casos	18-22		
Jan/93	S/IMAGENS	s/casos		
Fev/93	2-10 / 15-24	2-10 / 19-23		
Mar/93	25-29	26-30		
Out/93	S/IMAGENS	s/casos		
Nov/93	S/IMAGENS	s/casos		
Dez/93	17-24	17-24		
Jan/94	s/casos	3-8 / 19-23 / 26-31		
Fev/94	s/casos	s/casos		
Mar/94	s/casos	19-24		
Out/94	S/IMAGENS	24-29		
Nov/94	S/IMAGENS	s/casos		
Dez/94	S/IMAGENS	26-31		

Com o que foi exposto acima verifica-se que o método objetivo apresentou bons resultados na identificação do início da ZCAS, visto que a convecção necessariamente tinha sua maior intensidade no início do evento. Alguns casos de ZCAS não foram selecionados pelo método objetivo porque não atenderam ao critério estabelecido do número mínimo de dias, devido a ausência de dados de ROLE na região de estudo, ou porque não passou pelo critério do método objetivo. A Tabela 4.2 mostra os períodos onde verifica-se que alguns casos não tiveram sua seleção devido ao interrompimento da contagem em algum dia, como por exemplo os casos ocorridos em 22-29/Nov/90, 25-31/Dez/90, 22-29/Mar/91, 1-7/Mar/92, 15-19/Mar/92 e 5-9/Nov/92. Os casos restantes tiveram apenas parte dos dias detectados. Nos meses de Mar/90, Out/90, Out/91, Out/92 e Fev/94 não foram detectados casos de ZCAS, tanto pelo método visual como pelo método objetivo.

Um fator que contribuiu para que o método objetivo fosse mais eficiente reside no fato deste método utilizar apenas uma variável meteorológica na seleção. A falta de certos dias no conjunto de dados de ROLE, ou falha nas informações na região de estudo em alguns dias, contribuiu para a não obtenção de alguns períodos de ZCAS, pois o método objetivo zerava o contador de dias quando as condições de seleção não eram satisfeitas. Outra razão para o método objetivo não ter detectado os casos menos intensos foi o fato da padrão da ZCAS ter sido calculado a partir da pêntada central dos casos selecionado em Quadro (1994), como mostrado na Figura 3.2, que necessariamente não era garantia do início de um caso de ZCAS no primeiro dia da pêntada, e que pode ter afetado a confecção da matriz padrão de um episódio de ZCAS. Com o tipo de configuração identificada, era necessário que o campo de ROLE diário fosse semelhante ao da Figura (3.2) para se ter valores de correlação altos entre as matrizes. O problema dos valores de correlação cruzada estarem muito próximos do limite inferior de 40%, teve maior influência junto a casos mais fracos de ZCAS, onde a nebulosidade não se encontrava bem organizada. Este fato provoca uma perda dos dias extremos (iniciais ou finais) dos casos de ZCAS, pois o valor da correlação ainda encontrava-se baixo.

TABELA 4.2 – CASOS DE ZCAS OBTIDOS PELO MÉTODO VISUAL E CASOS INCOMPLETOS (DURAÇÃO MENOR QUE 5 DIAS) DETECTADOS PELO MÉTODO OBJETIVO, PARA O PERÍODO DE 1990-1994.

Meses	Método Visual	Método Objetivo		
Jan/90	1-13	1-4		
Fev/90	13-17	-		
Mar/90	s/casos	s/casos		
Out/90	s/casos	s/casos		
Nov/90	22-29	23-25;27-29		
Dez/90	11-15 / 25-31	11-12 / 25-28;30-31		
Jan/91	2-7 / 11-19 / 26-31	13;15-17 / 28-29;31		
Fev/91	5-10	-		
Mar/91	22-29	23;25-28		
Out/91	s/casos	s/casos		
Nov/91	10-15	·		
Dez/91	15-19	-		
Jan/92	S/IMAGENS	-		
Fev/92	1-6			
Mar/92	1-7 / 15-19	1-4;7 / 16;18-19		
Out/92	s/casos	s/casos		
Nov/92	5-9	5-6;8-9		
Dez/92	s/casos			
Jan/93	S/IMAGENS	s/casos		
Fev/93	2-10 / 15-24	15-16		
Mar/93	25-29	-		
Out/93	S/IMAGENS	s/casos		
Nov/93	S/IMAGENS	s/casos		
Dez/93	17-24			
Jan/94	s/casos	-		
Fev/94	s/casos	s/casos		
Mar/94	s/casos			
Out/94	S/IMAGENS	-		
Nov/94	S/IMAGENS	s/casos		
Dez/94	S/IMAGENS			

As Tabelas 4.3 e 4.4 mostram a distribuição temporal dos episódios de ZCAS ao longo dos meses de estudo, selecionados pelos métodos visual e objetivo, respectivamente.

TABELA 4.3- NÚMERO DE CASOS DE ZCAS E TOTAL DE DIAS COM EPISÓDIOS DE ZCAS (NÚMEROS ENTRE PARÊNTESES) DISTRIBUÍDOS PELOS MESES DO ANO SELECIONADOS PELO MÉTODO VISUAL

Anos/Mês	Jan	Fev	Mar	Out	Nov	Dez
1990	1 (13)	1 (5)	0	0	1 (8)	2 (12)
1991	3 (21)	1 (6)	1 (8)	0	1 (6)	1 (5)
1992	*	1 (6)	2 (12)	0	1 (5)	0
1993	*	2 (20)	1 (5)	*	*	1 (8)
1994	0	0	0	*	*	*
Total	4 (34)	5 (37)	4 (25)	0 (0)	3 (19)	4 (25)

* indicam os meses em que não se obteve imagens de satélite para a análise visual.

TABELA 4.4- NÚMERO DE CASOS DE ZCAS E TOTAL DE DIAS COM EPISÓDIOS DE ZCAS (NÚMEROS ENTRE PARÊNTESES) DISTRIBUÍDOS PELOS MESES DO ANO SELECIONADOS PELO MÉTODO OBJETIVO

Anos/Mês	Jan	Fev	Mar	Out	Nov	Dez
1990	1 (8)	1 (5)	0	0	0	0
1991	1 (5)	1 (6)	0	0	2 (16)	1 (5)
1992	1 (11)	1 (6)	0	0	0	1 (5)
1993	0	2 (15)	1 (5)	0	0	1 (8)
1994	3 (16)	0	1 (6)	1 (6)	0	1 (6)
Total	6 (40)	5 (32)	2 (11)	1 (6)	2 (16)	4 (24)

Obs.: os números entre os parênteses indicam o total de dias do mês com episódios de ZCAS.

Através da Tabela 4.3 verifica-se que Fevereiro é o mês de maior ocorrência da ZCAS, totalizando 5 casos nos 5 anos de estudo, seguido pelos meses de Janeiro, Março e Dezembro, com 4 casos cada um respectivamente. Vale salientar que foram estudados apenas 3 Janeiros (1990, 1991 e 1994) e 4 Dezembros devido a falta de imagens de satélites. Os casos de ZCAS selecionados por este método são menos freqüentes no período compreendido entre o fim da primavera e o início do verão (nenhum caso ocorreu no mês de Outubro e apenas três ocorreram no mês de Novembro).

Pelo método objetivo (Tabela 4.4) obteve-se maior freqüência de ocorrência de ZCAS no mês de Janeiro (6 casos), seguido por Fevereiro (5 casos). Isto evidencia que o verão é a estação preferencial para a ocorrência de episódios de ZCAS. Por este método, nota-se um aumento da ocorrência de episódios de ZCAS do fim da primavera para o início do verão.

Em uma comparação entre as Tabelas 4.3 e 4.4, pode-se verificar que o mês de Fevereiro apresentou-se melhor em termos da detecção das condições de ROLE, pois todos os 5 casos selecionados visualmente foram detectados pelo método objetivo, inclusive quanto a distribuição temporal.

A partir da análise espacial dos campos médios de ROLE associado à ZCAS, foi constatado que as configurações associadas aos episódios de ZCAS podem ser divididas em três tipos (Tipo I, Tipo II e Tipo III), classificadas quanto à posição e a orientação da convecção organizada, como mostrado na Figura 4.1.

43



Fig. 4.1 – Tipos de ZCAS: a) Tipo I - convecção organizada na forma de uma banda de orientação NW/SE, com orientação para o norte; b) Tipo II - convecção organizada na forma de uma banda de orientação NW/SE, orientada para o sul; c) Tipo III - convecção organizada na forma de banda, de orientação meridional.

O Tipo I de ZCAS (Figura 4.1a) atua principalmente sobre a região dos Estados de Minas Gerais (MG), Rio de Janeiro (RJ), Espírito Santo (ES) e norte de SP. Esta é a posição climatológica da ZCAS, conforme mencionado em Kousky (1988), Carvalho et al. (1989), Kodama (1992), Quadro (1994) entre outros. Este tipo de configuração é o mais freqüente, encontrado nos casos selecionados ,70% dos casos (14 dos 20 casos obtidos).

A configuração de nebulosidade mostrada no Tipo II (Figura 4.1b) é semelhante à ondulação de um sistema frontal. Este tipo de configuração tem área de atuação mais ampla, posicionando-se desde a Região Sul do Brasil (Santa Catarina (SC) e Paraná (PR)) até o Estado de MG.
No Tipo III a nebulosidade associada a ZCAS apresenta uma orientação praticamente meridional. Dos casos estudados, este tipo de configuração foi o menos freqüente (Figura 4.1c), não tendo um mês preferencial para ocorrência.

Após estas considerações sobre os tipos de orientação da banda convectiva associada a ZCAS, escolheu-se dois casos de ZCAS para um estudo mais detalhado, visando identificar as características diárias da circulação atmosférica sobre o continente durante estes eventos.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASOS

Neste capítulo é feita uma discussão sobre os resultados obtidos nos dois eventos selecionados de ZCAS, que correspondem aos Tipo I e Tipo III de um evento ZCAS encontrados no capítulo anterior. Estes dois tipos foram escolhidos pelo fato de serem bastante distintos entre si, pois quanto ao padrão de nebulosidade, o Tipo I se mostrou o mais freqüente no conjunto total de casos de ZCAS, enquanto que o Tipo III foi o menos freqüente no processo de seleção. Como a intenção deste capítulo era determinar através de estudo de casos os processo de início, manutenção e decaimento de uma ZCAS, optou-se por escolher casos que tivessem um período mínimo de 7 à 8 dias de ocorrência, permitindo assim um melhor diagnóstico do comportamento da atmosfera durante o evento ZCAS. A partir disto, não se fez distinção de método de seleção. Foram analisados períodos de cinco dias anteriores ao início da ZCAS, períodos nos quais a ZCAS esteve atuando e por fim alguns dias após seu término, observando simultaneamente as mudanças ocorridas na atmosfera antes, durante e depois da ZCAS se estabelecer.

Nos próximos itens detalha-se através de uma análise sinótica os casos de ZCAS ocorridos nos períodos de 25 a 31 de Dezembro de 1990 (Tipo I) e 15 a 23 de Fevereiro de 1993 (Tipo III). Nos estudos de caso, as variáveis meteorológicas serão mostradas da seguinte forma: campos de velocidade vertical em 500 hPa e pressão ao nível médio do mar (PNM); convergência de umidade em 850 hPa e θ_e em 850 hPa; vorticidade relativa (ζ) em 850 hPa; umidade relativa (UR) em 700 hPa e vetor vento em 850 hPa; divergência de massa em 300 hPa e vetor vento em 300 hPa.

5.1 - Caso de ZCAS ocorrido entre os dias 25 e 31 de Dezembro de 1990

A Figura 5.1 apresenta a evolução da convecção sobre a AS para o período de 24 a 31 de Dezembro de 1990, período este que cobre o caso de ZCAS ocorrido de 25 a 31 de Dezembro. A convecção é mostrada através de valores de ROLE, que representa uma medida da radiação que é irradiada pela Terra em direção ao espaço e é detectada por sensores colocados a bordo de satélites. Como já mencionado anteriormente, os valores de ROLE podem representar a convecção num certo local e inferir-se a nebulosidade. A partir do que foi escrito, admite-se de agora em diante que a banda de ROLE representa uma banda de Nebulosidade.

Um dia antes do estabelecimento da ZCAS (Figura 5.1a), observa-se a presença de uma banda de nebulosidade (da ordem de 180 a 200 Wm⁻² em valores de ROLE) sobre o Uruguai e a parte Centro-sul do Rio Grande do Sul (RS). Nas porções norte de SP e sul de MG verifica-se um núcleo de convecção da ordem de 220 a 240 Wm⁻². No dia seguinte (Figura 5.1b), nota-se que a banda de nebulosidade sobre o Uruguai e RS encontra-se sobre o Estado do PR, enquanto que sobre MG desenvolveu-se uma segunda faixa de ROLE a qual interage com a convecção presente no Brasil Central e na Região Amazônica. Dois dias após (Figura 5.1c) verifica-se uma intensificação da convecção entre a banda de nebulosidade presente sobre MG com a CT, passando a assumir a orientação NW/SE, característica da nebulosidade convectiva associada a ZCAS.



Fig. 5.1 - Evolução do campo de ROLE para os dias: (a) 24/12/90, (b) 25/12/90, (c) 27/12/90, (d) 29/12/90 e (e) 31/12/90.

Um aumento da convecção aconteceu no quinto dia do episódio de ZCAS (29/12/90) (Figura 5.1d), havendo uma amplificação espacial da faixa convectiva atingindo o Estado da Bahia (BA) e Sudoeste da Região Nordeste. Os valores de ROLE da ordem de 140-180 Wm⁻², localizados sobre MG (Figura 5.1d) diminuíram, indicando um aumento de atividade convectiva sobre a região. A presença de uma nova faixa de nebulosidade convectiva junto ao PR indica a penetração de um outro sistema de escala sinótica, o qual se une à ZCAS no dia seguinte (30/12/90) mantendo seu rápido deslocamento em direção aos Estados do Nordeste deixando, portanto, de caracterizar o caso de ZCAS em termos de sua semi-estacionalidade. Neste dia (31/12/90) a Região Sudeste apresenta-se sem cobertura de nuvens convectivas, indicando a presença de uma massa de ar estável (Figura 5.1e).

Para o dia 21/12/90, cinco dias antes do estabelecimento da ZCAS, observase no campo de PNM um ciclone extratropical em torno de 45°W-35°S. O sistema frontal associado a esse ciclone passa pelo RJ e sul de MG (Figura 5.2a). A convergência de umidade em 850 hPa é praticamente inexistente, havendo apenas pequenos núcleos da ordem de $15x10^{-5}s^{-1}$ sobre o leste de MG e o ES (Figura 5.2b). Sobre o sul da Região Sudeste observa-se algum gradiente de θ_e (Figura 5.2b).

A vorticidade relativa em 850 hPa mostra-se organizada na forma de banda de orientação NW/SE em direção ao OAS, à leste da costa da Região Sul do Brasil (Figura 5.3a). Baixa umidade relativa nas Regiões Sudeste e Sul do Brasil em 700 hPa, com o campo do vetor vento em 850 hPa mostrando sua convergência decorrente do sistema frontal localizado no oceano (Figura 5.3b).



Fig. 5.2 – Campos meteorológicos do dia 21/12/90: a) velocidade vertical em 500 hPa (sombreado), dada em hPa·s⁻¹ e pressão ao nível médio do mar, dada em hPa; b) convergência de umidade em 925 hPa (sombreado), dada em s⁻¹ e temperatura potencial equivalente em 925 hPa em K.



Fig. 5.3 – Campos meteorológicos do dia 21/12/90: a) vorticidade relativa em 850 hPa, dada em s⁻¹; d) umidade relativa em 700 hPa (sombreado), em % e vetor vento em 850 hPa, em m·s⁻¹. Em altos níveis, a divergência mostra-se presente principalmente sobre a região da BA e outras regiões como Tocantins (TO) e Piauí (PI) (Figura 5.4a). A AB tem seu núcleo centrado ao norte do Chile, divisa com a Bolívia, com um cavado em altos níveis associado à frente fria a leste da Região Sul do Brasil, sobre o OAS (Figura 5.4a). A vorticidade relativa em 300 hPa (Figura 5.4b) mostra um padrão de trem de onda ao longo da costa leste da AS apresentando uma banda de valores negativos sobre o Sudeste brasileiro e OAS. Comparando os campos de ζ em 850 hPa e 300 hPa verifica-se que o ciclone extratropical possui uma estrutura barotrópica equivalente (Figura 5.3a e Figura 5.4b, respectivamente).



Fig. 5.4 – Campos meteorológicos do dia 21/12/90: a) divergência de massa em 300 hPa (sombreado), dada em s⁻¹ e vetor vento em 300 hPa, dada em m·s⁻¹; b) vorticidade relativa em 300 hPa, dada em s⁻¹.

O sistema frontal que se encontrava sobre a Região Sudeste, deslocou-se em direção ao Nordeste brasileiro (NEB) nos dias seguintes (22/12/90 a 24/12/90), figuras não mostradas. Sobre os Estados de MG e RJ a convergência de

umidade em baixos níveis manteve-se presente. Verificou-se nos baixos níveis um aumento do gradiente de θ_e sobre o continente à medida que o estabelecimento do caso se aproxima. Isto deveu-se a penetração de um novo sistema frontal sobre a Região Sudeste. Outro campo que manteve sua configuração foi a convergência em altos níveis sobre a Região Sudeste, assim como a circulação anticiclônica nos altos níveis. O cavado nestes níveis segue em direção ao norte acompanhando o sistema frontal, com o JST passando a atuar sobre a Região Sul, numa orientação mais zonal. A AB ao longo dos dias deslocou-se para o sul da Bolívia.

No dia anterior ao início da ZCAS (Figura 5.5) infere-se o sistema frontal posicionado sobre o OAS penetrando no continente sobre o RJ e ES e Sul de MG, porém ainda sem organizar a banda convectiva, como mostrado na Figura 5.1a. No entanto, verificou-se um aumento nos movimentos verticais ascendentes (Figura 5.5a) na Região Central do Brasil. Um forte gradiente de θ_e é observado sobre o OAS atrás da frente fria, entre o RS e o sul do Uruguai. Uma região de ar um pouco mais frio que a vizinhança é observada sobre o sul de SP e leste de Mato Grosso do Sul (MS), indicando que a frente fria passou por esta região.

O predomínio de baixos valores de vorticidade relativa em boa parte do Brasil também são característicos neste dia (Figura 5.6a). Os ventos em 850 hPa (Figura 5.6b) mostram uma região de confluência sobre o OAS associada à frente fria sobre o continente. Baixa umidade relativa em 700 hPa é notada neste dia, tendo inclusive valores intensos de 50% ao sul de MG.



Fig. 5.5 - Como na Figura 5.2, mas para 24/12/90.



Fig. 5.6 - Como na Figura 5.3, mas para 24/12/90.

Nos altos níveis, observa-se a corrente de jato (Figura 5.7a) ondulando sobre a região da Argentina e OAS, entre 30°-35°S, com a AB localizada próxima da

fronteira entre a Argentina e a Bolívia, e o trem de onda visto no campo de ζ em 300 hPa (Figura 5.7b) ao longo da costa leste da AS.



Fig. 5.7 - Como na Figura 5.4, mas para 24/12/90.

O início do evento ZCAS deu-se no dia 25/12/90, podendo-se observar nos campos meteorológicos de PNM, ω em 500 hPa, convergência de umidade e θ_e em 850 hPa, ζ em 850 hPa, vetor vento em 850 hPa e UR em 700 hPa, divergência de massa e vetor vento em 300 hPa e ζ em 300 hPa. Algumas características de um caso de ZCAS observadas por Kodama (1992) e Quadro (1994), como a convergência de umidade em baixos níveis e cavado em altos níveis mostram-se presentes. O sistema frontal é atuante sobre o Sudeste do Brasil e OAS (Figura 5.8a), com movimentos ascendentes mais intensos ao lado do sistema frontal quando comparado ao dia anterior ao início da ZCAS. O continente mantém-se aquecido, como já observado no dia anterior, sendo que as temperaturas são mais altas sobre o centro de MG, Goiás (GO) e sudeste do Mato Grosso (MT), como mostra a Figura 5.8b e, queda de

temperatura na retaguarda do sistema frontal. A convergência de umidade nos baixos níveis predomina em praticamente todos os Estados da Região Sudeste (o centro-norte de MG não possui tal característica), região com movimento ascendente.



Fig. 5.8 - Como na Figura 5.2, mas para 25/12/90.

Pela Figura 5.9a, nota-se pequenos valores de vorticidade relativa sobre a maior parte das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil próximos de zero. O campo do vetor vento em 850 hPa apresenta uma alteração do padrão observado nos dias anteriores na convergência sobre o OAS, que agora é mais fraca. Porém, em termos de umidade relativa ocorre o inverso, com o surgimento de uma banda de umidade mais alta atrás do sistema frontal (Figura 5.9b).



Fig. 5.9 - Como na Figura 5.3, mas para 25/12/90.

Nos altos níveis, tem-se uma significativa diferença em relação a um dia antes do início do estabelecimento da ZCAS, com um cavado presente sobre o OAS (Figura 5.10a). A AB se desloca levemente para oeste, ficando mais posicionada sobre o norte do Chile. A região de SP, MS e RJ apresentam divergência em altos níveis contribuindo para a manutenção do movimento ascendente. A ζ em 300 hPa (Figura 5.10b) mostra o trem de ondas verificado na Figura 5.7b, deslocado para o oceano, não possuindo uma orientação tão meridional como no início do estudo analisado.

O terceiro dia da ZCAS (Figura 5.11) não apresenta mais a frente fria que vinha se deslocando pela costa leste do Brasil, sendo que a alta pressão associada à frente fria passa a influenciar a costa leste da Região Sudeste do Brasil (Figura 5.11a). Um novo sistema frontal aparece sobre o Uruguai com o ciclone extratropical localizado em torno de 48°W-48°S. A circulação da ASAS domina sobre o OAS ao leste do Brasil. Sobre a região da ZCAS (tanto no

oceano como no continente), observa-se uma diminuição nos movimentos ascendentes (Figura 5.11a). Sobre o continente nota-se uma ligeira queda de temperatura no Estado de SP, permanecendo o Estado de GO e Noroeste de MG aquecidos como no início do caso (Figura 5.11b), mas sem apresentar o forte gradiente de temperatura junto ao OAS. Sobre o centro de MG, sul de GO e o litoral da Região Sul verifica-se convergência de umidade na região da ZCAS.



Fig. 5.10 - Como na Figura 5.4, mas para 25/12/90.

A presença da circulação ciclônica sobre as Regiões Sudeste e Centro-Oeste é verificada através do campo do vetor vento (Figura 5.12b) e ζ em 850 hPa (Figura 5.12a). O JST apresenta-se novamente com uma curvatura anticlônica sobre o Uruguai e região central da Argentina. A AB mantém sua posição sobre o norte do Chile (Figura 5.13a) e o cavado localiza-se sobre a Região Sudeste. O campo de ζ em altos níveis (Figura 5.13b) volta a mostrar um trem de onda identicamente ao mostrado na Figura 5.9b.



Fig. 5.11 - Como na Figura 5.2, mas para 27/12/90.



Fig. 5.12 - Como na Figura 5.3, mas para 27/12/90.



Fig. 5.13 - Como na Figura 5.4, mas para 27/12/90.

Apesar dos indícios descritos no parágrafo anterior que o evento de ZCAS estaria no seu final, o dia 29/12/90 (Figura 5.14) apresenta um sistema frontal sobre o Uruguai. Os campos de PNM e ω em 500 hPa, no dia 29/12/90 (Figura 5.14a) caracterizam a reintensificação da ZCAS, principalmente sobre a região oceânica, com uma Alta Extratropical na retaguarda da ZCAS atuando sobre o RS. A convergência de umidade em 850 hPa passa a ter forma de banda, orientada NW/SE (Figura 5.14b), mais especificamente sobre os Estados de MG, RJ e ES. O campo de θ_e mostra um aumento da temperatura sobre os Estados de MS e SP, com forte gradiente na retaguarda do sistema frontal localizado sobre o Uruguai. A UR em 700 hPa sobre a Região Sudeste aumenta consideravelmente, chegando a apresentar valores em torno de 70% em algumas partes e com uma configuração na forma de faixa orientada NW/SE, idêntica ao campo de ω em 500 hPa e convergência de umidade em 850 hPa.



Fig. 5.14 - Como na Figura 5.2, mas para 29/12/90.

O vetor vento em 850 hPa volta a mostrar a confluência localizada sobre o oceano típica de um sistema frontal, com o centro de alta pressão sobre o Uruguai. Nos altos níveis (Figura 5.15a), tem-se que a AB mantém sua posição sobre a fronteira da Argentina com a Bolívia, mas devido a passagem do sistema frontal pelo sul do Brasil, o cavado sobre o OAS intensificou-se. Uma garantia para a manutenção da convecção organizada que caracteriza a ZCAS é a divergência em altos níveis, que nesse dia apresenta-se como uma faixa de orientação NW/SE sobre o sudeste brasileiro, indo até o Estado de Rondônia (RO) e com isso mantendo a configuração típica de um evento ZCAS. O trem de ondas visto no campo de ζ em 300 hPa (Figura 5.15b) desaparece, permanecendo uma banda de valores positivos sobre a Região Sudeste do Brasil. Outra constatação que pode ser feita, refere-se ao VCAN no Nordeste do Brasil, que somente neste dia se mostra configurada, com um núcleo de $-2x10^{-5}s^{-1}$ à leste do NEB.



Fig. 5.15 - Como na Figura 5.4, mas para 29/12/90.

Com a seqüência do caso de ZCAS, o centro de alta pressão no dia 30/12/90 (Figura 5.16a) dominante sobre a Região Sul do Brasil, exerce influência sobre a Região Sudeste, deixando a região de movimento ascendente localizada mais sobre o OAS à leste do centro de alta pressão. Como já foi mostrado na Figura 5.1e, a banda de nebulosidade convectiva desloca-se para a BA, deixando de atuar junto à Região Sudeste. O campo de θ_e (Figura 5.16b) mostra que a massa de ar frio e seco está se deslocando para o OAS, mas ainda persiste com forte gradiente de θ_e no Sul e Sudeste do Brasil. A convergência de umidade em 850 hPa restringe-se ao noroeste de MG e dos Estados de GO e TO (Figura 5.16b), perdendo a configuração na forma de banda.



Fig. 5.16 - Como na Figura 5.2, mas para 30/12/90.

Com o centro de alta pressão localizado próximo a costa leste da Região Sul, passa-se a ter vorticidade anticlônica sobre a região sudeste de SP e Estados da Região Sul (Figura 5.17a). Os ventos em 850 hPa mostram a atuação da ASAS, com divergência na Região Sudeste do Brasil (Figura 5.17b).



Fig. 5.17 - Como na Figura 5.3, mas para 30/12/90.

Nos altos níveis (Figura 5.18a), a AB desloca-se para oeste da sua posição descrita anteriormente, ficando agora centrada sobre o norte do Chile e oeste da Bolívia e o cavado sobre o Nordeste Brasileiro posiciona-se sobre MG. A divergência em altos níveis acompanha a faixa de umidade mantendo, assim, as condições para o estabelecimento da ZCAS, através do suporte dinâmico em altos níveis pelo cavado em conjunto com a convergência de umidade na Região Sudeste do Brasil.



Fig. 5.18 – Como na Figura 5.4, mas para 30/12/90.

A desorganização da convecção associado a ZCAS aconteceu entre os dias 30 e 31 de dezembro de 1990. Analisando os campos meteorológicos para o dia 31/12/90 (Figuras 5.19, 5.20 e 5.21), nota-se que as Regiões Sul e Sudeste do Brasil estão sob a influência da Alta Extratropical que vinha se deslocando pela AS desde o dia 29/12/90 (Figura 5.14a), o que contribuiu para o desaparecimento de banda de movimento ascendente, especificamente sobre a região que engloba os Estados do Sudeste brasileiro. As temperaturas sobre as Regiões Sudeste e Centro-Oeste mantiveram-se estáveis nestes dias

como mostra a Figura 5.19b. O gradiente de θ_e enfraqueceu pouco contribuindo para o desenvolvimento de movimentos verticais. A convergência de umidade localiza-se sobre os Estados do Centro-Oeste do Brasil.



Fig. 5.19 - Como na Figura 5.2, mas para 31/12/90.

A região onde encontra-se o centro de alta pressão nos baixos níveis apresenta-se seco, indicado pelo campo de UR em 700 hPa (Figura 5.20b, tendo apenas uma banda úmida identificada já no dia anterior, estendendo-se desde a costa da Região Sudeste até a região da Amazônia.

Nos altos níveis (Figura 5.21a) a AB mantém sua posição do dia 30/12 (Figura 5.18a) e o cavado associado propaga para o norte de MG e sul da BA. A divergência se mantém mais sobre a parte continental (Estado de SP, oeste de MG e GO). O campo de ζ em 300 hPa (Figura 5.21b) mostra que o trem de onda que existia sobre a costa leste da AS deslocou-se para o OAS.



Fig. 5.20 - Como na Figura 5.3, mas para 31/12/90.



Fig. 5.21 - Como na Figura 5.4, mas para 31/12/90.

Os dias seguintes após o término desse caso de ZCAS seguem com o sistema de alta pressão atuando sobre as Regiões Sul e Sudeste do Brasil, sendo que no dia 04/01/91 verifica-se a chegada de uma nova frente fria ao Brasil, passando rapidamente pela Região Sudeste e dissipando-se no dia seguinte. No dia 04/01/91 ocorre novamente a formação do VCAN junto à costa do Nordeste, 5 dias após o término do caso de ZCAS.

Um dos fatores que levam o evento ZCAS ao fim foi a penetração de um sistema frontal na Região Sudeste associado ao centro de alta pressão, o que favoreceu ao deslocamento de toda a nebulosidade convectiva, deixando, portanto, de existir a condição de semi-estacionalidade da faixa de nebulosidade. O fato de não haver qualquer padrão atmosférico impedindo tal avanço desta banda, o caso chega ao final, conforme pode-se observar pelas Figuras 5.19 a 5.21. O predomínio do centro de alta pressão sobre as Regiões Sudeste e Sul do Brasil, pouca divergência nos altos níveis e fraca umidade em conjunto com a fraca intensidade do vento em 850 hPa, com sua atuação mais centrada sobre o norte da Argentina, conforme Paegle e Mo (1997) mostram em seu trabalho, foram as características observadas quando a ZCAS dissipou.

5.2 - Caso de ZCAS ocorrido entre os dias 15 a 23 de Fevereiro de 1993

Este caso corresponde a um evento ZCAS como padrão da nebulosidade do Tipo III, definido no capítulo anterior. A nebulosidade deste evento de ZCAS possui uma orientação meridional, atuando sobre os Estados das Regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste do Brasil. Esse tipo de ZCAS é pouco freqüente quando comparado ao tipo de ZCAS analisado anteriormente.

Este episódio de ZCAS teve seu início de maneira diferenciada do caso anterior como poderá ser visto na análise sinótica. Como características principais, este caso teve duração de nove dias e ocorreu 5 dias após um outro caso de ZCAS (2-10 de fevereiro de 1993), correspondente ao Tipo II ter se dissipado, portanto, os dias que antecederam este caso mostram o fim das características do anterior e o estabelecimento do novo caso a ser estudado. A convecção permaneceu ativa na região Amazônica, o mesmo não ocorrendo sobre a Região Sul do Brasil durante os dias que antecederam o evento ZCAS. O dia anterior ao início da ZCAS (14/02/93) mostra que as regiões de convecção ficam concentradas na parte continental da AS (Figura 5.22a), sendo que apenas o Estado do RS não apresenta sinal de convecção.

O estabelecimento do evento ZCAS mostra características no campo de ROLE distintas do anterior, que é a orientação meridional da faixa de convecção (Figura 5.22b), apresentando um núcleo intenso ao sul de MG da ordem de 150Wm⁻²,o norte do MT e sul do Pará (PA). No terceiro dia do caso (Figura 5.22c) a convecção continua intensificando-se sobre o Estado de SP, atingindo inclusive o PR. Sobre os outros Estados da Região Sul há o predomínio de nebulosidade convectiva, porém menos intensa. Sobre a região do Paraguai e MS não se observa valores baixos de ROLE, ou seja, nuvens convectivas. A Figura 5.22c já apresenta, de forma mais evidente, a principal característica deste tipo de ZCAS, que é o seu eixo praticamente meridional, diferenciando do evento ZCAS apresentado no tópico anterior.

No dia 19/02/93 (Figura 5.22d) a orientação da ZCAS ainda é meridional, atingindo totalmente as Regiões Sudeste e Sul do Brasil, porém, a nebulosidade perde um pouco de sua intensidade (aumento de valores de ROLE). A partir do dia 21/02/93 (Figura 5.40a) ocorrem algumas diferenças na configuração da convecção, onde um ligeiro aumento sobre a Região Sul do Brasil e sobre o OAS a leste do RS é verificada. A Região Nordeste praticamente não possui convecção, apresentado apenas um pequeno núcleo localizado no norte do Estado da BA.

67



Fig. 5.22 - Evolução do campo de ROLE para os dias: (a) 14/02/93, (b)15/02/93, (c) 17/02/93, (d) 19/02/93, (e) 21/02/93 e (f) 23/02/93.

A Figura 5.22f para o dia 23/02/93 continua mostrando a alteração da nebulosidade convectiva sobre o oceano, indicando uma característica de desenvolvimento de um ciclone extratropical. De uma maneira geral, toda banda de nebulosidade se desloca para leste, tornando-se menos meridional e assumindo uma característica mais típica dos episódios de ZCAS do Tipo II.

Iniciando-se a análise do evento ZCAS a partir do quinto dia anterior (10/02/93) ao início do episódio (Figura 5.23), observa-se algumas características da ZCAS, como a presença de movimentos ascendentes sobre o Sudeste brasileiro (Figura 5.23a), convergência de umidade em 850 hPa sobre SP, PR, SC e os Estados do Centro-Oeste. O gradiente de θ_e mais intenso é observado sobre a Região Sul do Brasil, região de maior velocidade vertical (Figura 5.23b).



Fig. 5.23 – Campos meteorológicos do dia 10/02/93: a) velocidade vertical em 500 hPa (sombreado), dada em hPa·s⁻¹ e pressão ao nível médio do mar, dada em hPa; b) convergência de umidade em 925 hPa (sombreado), dada em s⁻¹ e temperatura potencial equivalente em 925 hPa dada em K.

A ζ em 850 hPa mostra para o dia 10/02/93 um núcleo negativo sobre TO e positivo sobre RO e norte do Maranhão (MA) (Figura 5.24a). A UR em 700 hPa (Figura 5.24b) mostra que a banda de valores altos (da ordem de 70%), entende-se desde a região Amazônica até o OAS, passando pelos Estados do Centro-Oeste e o Estado de SP, atingindo o leste dos Estados do PR e SC. O campo do vetor vento em 850 hPa caracteriza uma confluência na região da faixa de umidade (à leste do litoral dos Estados da Região Sul do Brasil).



Fig. 5.24 – Campos meteorológicos do dia 10/02/93: a) vorticidade relativa em 850 hPa, dada em s⁻¹; b) umidade relativa em 700 hPa (sombreado), em % e vetor vento em 850 hPa, dado em m \cdot s⁻¹.

Em altos níveis a presença de divergência é verificada na região dos Estados de SC, PR e SP, com o JST localizado mais ao sul da AS (Figura 5.25a). Também a ζ nos altos níveis (Figura 5.25b) mostra um núcleo positivo na região do OAS à leste do RS, mesma localização da banda de umidade.



Fig. 5.25 – Campos meteorológicos do dia 10/02/93: a) divergência de massa em 300 hPa (sombreado), dada em s⁻¹ e vetor vento em 300 hPa, dado em m·s⁻¹; b) vorticidade relativa em 300 hPa, dada em s⁻¹.

Com o passar dos dias, verifica-se a desconfiguração de algumas das condições de ZCAS, como a desestruturação do campo de divergência em altos níveis, o JST ficando posicionado mais ao sul, voltando a normalidade dois dias antes do início do caso estudado. Associado a isto, a velocidade vertical mostra significativa variabilidade ao longo dos dias em termo de seus valores, sendo que também assume uma posição mais característica no estabelecimento do episódio de ZCAS. Outra característica importante nesta fase de transição é o aumento da UR e da convergência de umidade no Sudeste brasileiro à medida que se aproxima o início do evento a ser estudado. A AB localiza-se mais ao norte do continente sul-americano.

Um dia antes do estabelecimento do evento ZCAS (14/02/93) observa-se movimento vertical ascendente em praticamente todo o país (Figura 5.26a). O campo de pressão mostra pouca variação sobre o continente (Figura 5.26a). Sobre SP observa-se a presença de convergência de umidade em 850 hPa

(Figura 5.26b), associado a uma banda ainda fraca de θ_e sobre o oceano.



Fig. 5.26 - Como na Figura 5.23, mas para 14/02/93.

A UR em 700 hPa apresenta uma configuração em forma de banda sobre os Estados do Sudeste brasileiro e o oceano adjacente, com o campo do vetor vento em 850 hPa mostrando convergência na mesma região (Figura 5.27b).

Nos altos níveis (Figura 5.28a), observa-se a presença de um cavado sobre o RS e o Uruguai, com a presença de duas correntes de jato bem pronunciadas. A primeira, subtropical na latitude de 25°S e a segunda mais ao sul do continente, de caráter polar possuindo uma curvatura ciclônica sobre o OAS, à leste da Argentina e Uruguai, isso devido a entrada de um centro de alta pressão que ultrapassa os Andes. Neste caso mostra-se presente o VCAN (Figura 5.28b), sobre a costa da BA e a AB posicionada mais ao norte de sua posição normal.



Fig. 5.27 - Como na Figura 5.24, mas para 14/02/93.



Fig. 5.28 - Como na Figura 5.25, mas para 14/02/93.

No primeiro dia em que o episódio configurou-se (15/02/93), a região que cobre os Estados de SP, GO, PR e oeste de MG e de SC apresenta movimentos verticais intensos (Figura 5.29a), com o campo de PNM mostrando

um gradiente significativo na mesma região, com um cavado invertido junto à costa da Região Sudeste. Por sua vez, o campo de convergência de umidade em 850 hPa (Figura 5.29b) acompanha a banda de movimento vertical ascendente presente sobre a Região Sudeste (Figura 5.29a) A Região de GO e oeste de MG mantém-se aquecida, apresentando gradiente intenso de θ_e sobre os Estados da Região Sul.



Fig. 5.29 - Como na Figura 5.23, mas para 15/02/93.

A convergência de umidade presente sobre os estados de SP e PR mostra que ocorre o transporte de umidade de duas partes, uma proveniente do centro do Brasil e um segundo ramo vindo do OAS, como mostra o campo do vetor vento em 850 hPa (Figura 5.30b), contribuindo assim para o aumento da umidade na região de maior convecção.

Nos altos níveis com circulação ciclônica fechada sobre o leste da BA mostra a presença do VCAN (Figura 5.31a e 5.31b). O cavado que estava presente no RS e Uruguai, desloca-se ficando bastante inclinado na direção NW/SE, com a indicação de uma baixa fechada no RS. Outro VCAN configura-se sobre o NE

da Argentina (também presente pelo campo de ζ em 300 hPa através de uma circulação fechada de sinal negativo da ordem de $-4x10^{-5}s^{-1}$, como mostra a Figura 5.31b). No Sudeste brasileiro, observa-se divergência nos altos níveis (Figura 5.31a), movimento vertical ascendente, θ_e alto em 850 hPa e convergência dos ventos em baixos níveis. O JST continua presente na latitude de 25°S (Figura 5.31a) ao norte do VCAN, sendo que à leste da costa do RS há uma convergência das duas correntes de jato (subtropical e polar).



Fig. 5.30 - Como na Figura 5.24, mas para 15/02/93.

No dia 17/02/93 (Figura 5.32), dois dias após o estabelecimento da ZCAS, nota-se que a ASAS atua desde o litoral do Nordeste até o litoral norte da Argentina, confinando os movimentos verticais ascendentes numa banda meridional sobre o Brasil, mantendo assim a configuração meridional do eixo da ZCAS (Figura 5.32a). A presença de um cavado invertido à leste da costa do RS e SC serve de suporte dinâmico à convecção observada na Figura 5.22c. A convergência de umidade em 850 hPa mantém o padrão verificado nos dias anteriores, ainda observando um aumento de valores no campo de θ_{e} especificamente sobre o PR e o OAS (Figura 5.32b). A advecção de umidade

desde o centro do Brasil até a região do eixo da ZCAS, somado a penetração no continente da circulação da ASAS, faz com haja o transporte de ar úmido do oceano para a região da banda convectiva junto ao continente.



Fig. 5.31 - Como na Figura 5.25, mas para 15/02/93.



Fig. 5.32 - Como na Figura 5.23, mas para 17/02/93.

Alterações no campo de vorticidade relativa em 850 hPa são notadas, com o centro positivo ao sul de MG, e ζ negativa em grande parte do território do Brasil (Figura 5.33a). O campo de UR em 700 hPa, também apresenta-se com um formato de banda meridional (Figura 5.33b), com a maior predominância da circulação proveniente do OAS do que a circulação vinda da região Amazônica, como observada pelo campo do vetor vento em 850 hPa na Figura 5.33b, onde as setas maiores são oriundas do OAS.



Fig. 5.33 - Como na Figura 5.24, mas para 17/02/93.

Nos altos níveis (Figura 5.34a), o VCAN a nordeste da Argentina mostra-se melhor configurado, como o campo do vetor vento em 300 hPa (Figura 5.34a) e o campo de ζ em 300 hPa (Figura 5.34b) ilustram. Devido ao fortalecimento deste VCAN, o JST fica mais ondulado. O VCAN sobre o NEB tem seu centro bem mais próximo do litoral da BA, Sergipe (SE), Alagoas (AL) e Pernambuco (PE), como mostra a Figura 5.34a, sendo que seu fortalecimento é melhor definido quando observado o campo de ζ em 300 hPa (Figura 5.34b), onde nota-se um aumento nos valores de ζ . A AB desloca-se mais para oeste (localizando-se ao centro da fronteira do Peru com o Brasil), favorecendo

assim a circulação confluente do vento no Centro-Oeste brasileiro, associando-se a circulação do VCAN no NE (Figura 5.34a).



Fig. 5.34 - Como na Figura 5.25, mas para 17/02/93.

No período médio deste evento ZCAS (19/02/93), observa-se a presença de um sistema frontal junto a costa da Argentina, com o campo de ω em 500 hPa mostrando movimento ascendente sobre o continente, mais especificamente sobre os Estados da Região Centro-oeste, SP e Estados do Sul (Figura 5.35a). A convergência de umidade continua presente sobre o continente, na mesma região citada anteriormente quando da ω . Da mesma forma, pode-se descrever que o campo de θ_e mantém um padrão de valores mais elevados sobre as regiões de atuação da ZCAS (Figura 5.23b).

A ζ em baixos níveis altera-se novamente, retornando a condição de valores nulos junto à Região Sudeste do Brasil (Figura 5.36a). A comprovação de que sobre o continente não houveram mudanças significativas nas características iniciais deste caso, fica por conta do campo de UR em 700 hPa, onde a banda meridional fica mantida, sendo que seus valores mais intensos são observados

à leste dos Estados de MT e MS. O campo do vetor vento em 850 hPa reflete o que acontece na atmosfera devido a frontogênese à leste da costa do Uruguai e RS, pois, verifica-se a convergência do vento nesta região (Figura 5.36b).



Fig. 5.35 - Como na Figura 5.23, mas para 19/02/93.



Fig. 5.36 - Como na Figura 5.24, mas para 19/02/93.

A partir deste dia, o campo de divergência em 300 hPa apresenta uma modificação em relação aos dias anteriores, com um enfraquecimento do VCAN no nordeste da Argentina como visto no vetor vento em 300 hPa, com convergência em baixos níveis à leste do Uruguai devido ao novo sistema frontal presente (como visto na Figura 5.35a). A ASAS mostra sua circulação fechada inclusive no nível de 300 hPa, numa indicação de ser um sistema bem profundo na atmosfera. O VCAN do NE do Brasil tem um ligeiro deslocamento para o sul, ficando mais à leste da BA. (Figura 5.37a). O JST ondula, localizado ainda sobre a latitude de 25°S. Um novo centro de alta pressão em altos níveis, entra na AS através dos Andes. A permanência da AB é notada, com sua localização na fronteira do Peru com a Bolívia. O campo de ζ em 300 hPa mostra o núcleo do VCAN do NE bem definido com o sinal negativo na região da fronteira da BA com SE, sendo que o VCAN no NE da Argentina mantém sua circulação fechada (Figura 5.37b).



Fig. 5.37 - Como na Figura 5.25, mas para 19/02/93.

A partir do dia 21/02/93, um novo sistema frontal configura-se junto ao OAS, costa leste dos Estados de SC, PR e SP, com uma alta extratropical na
retaguarda deste sistema frontal (Figura 5.38a). O ω em 500 hPa acompanha a orientação do sistema frontal, passando a ser uma banda no sentido NW/SE (Figura 5.38a). A convergência de umidade continua sendo principalmente sobre SP, com um pequeno núcleo no OAS (30°S-40°W). O campo de θ_{e} passa a apresentar uma configuração típica de um sistema frontal (Figura 5.38b), com forte gradiente na retaguarda do sistema frontal. (Figura 5.38b).



Fig. 5.38 - Como na Figura 5.23, mas para 21/02/93.

Uma banda de ζ positiva surge neste dia, indo desde o Centro-Oeste do Brasil passando pelos Estados do Sul, o que mostra que a simples alteração da orientação da banda convectiva durante um caso não ocasiona mudanças sensíveis na atmosfera (Figura 5.39a). A comprovação de que sobre o continente não houveram mudanças significativas nas características iniciais deste evento fica por conta do campo de UR em 700 hPa, onde a orientação meridional fica mantida sobre leste do MT, MS. No RS ocorre uma pequena queda na UR, se comparado ao dia anterior (Figura 5.39b). O campo do vetor vento em 850 hPa é um reflexo do que aconteceu com a frontogênese acontecida à leste da costa do Uruguai e RS, pois, observa-se uma

convergência do vento na região do sistema frontal (Figura 5.39b). O predomínio do escoamento de umidade vindo do OAS permanece neste dia.



Fig. 5.39 - Como na Figura 5.24, mas para 21/02/93.

A partir deste dia, o campo de divergência em 300 hPa apresenta uma modificação em relação aos dias anteriores, com o surgimento de uma banda de orientação NW/SE bem intensa conforme mostra a Figura 5.40a. Neste dia ocorre a principal modificação na configuração atmosférica, responsável pela alteração na orientação da convecção, isto é, a passagem da orientação meridional para a orientação NW/SE junto a região do OAS. O VCAN sobre o nordeste da Argentina abre e transforma-se em um cavado em altos níveis (Figura 5.40a), com isso a AB desloca-se para o sul, se comparado a sua posição dos dias anteriores, localizando-se sobre a fronteira do Peru com a Bolívia. O VCAN do NE do Brasil desloca-se para sudeste, ficando mais à leste da BA. O JST antes presente atuando na Região Sul do Brasil fica localizado à leste da Argentina e Uruguai.



Fig. 5.40 - Como na Figura 5.25, mas para 21/02/93.

O último dia selecionado pelo método objetivo (23/02/93) apresenta algumas mudanças no comportamento da atmosfera. A velocidade vertical mostra uma diminuição de intensidade (Figura 5.41a), não se observando mais a configuração de banda NW/SE bem caracterizada como no dia 21/02/93 (Figura 5.23a). Isto ocorre devido ao deslocamento que a ASAS teve na direção zonal para oeste e, fez com que a nebulosidade sobre o oceano adquira uma orientação mais zonal (Figura 5.22f). Um núcleo de baixa pressão no OAS surge à leste do litoral dos Estados do PR e SP, na mesma região da movimento vertical ascendente (Figura 5.41a). A convecção organizada é notada através do campo de convergência de umidade em 850 hPa, que tem sua área de atuação reduzida, concentrada sobre os Estados de SP e PR. O campo de $\theta_{\rm e}$ mostra intenso gradiente à leste de SP, junto ao OAS, com a Região Sul do Brasil ficando mais seca devido a atuação do centro de alta pressão (Figura 5.41b).



Fig. 5.41 - Como na Figura 5.23, mas para 23/02/93.

A banda de ζ em baixos níveis antes presente no dia 21/02/93 desaparece, deixando o continente com valores praticamente nulos (Figura 5.42a). A UR em 700 hPa mantém um núcleo de alto valor sobre o PR (Figura 5.42b), com a permanência de uma banda de valores altos sobre o OAS ao lado da Região Sudeste acompanhando a faixa de movimentos ascendentes (Figura 5.42b). Com o deslocamento para leste do sistema de alta pressão sobre o oceano, favorece a diminuição sensivelmente a intensidade do vento conforme pode-se ver na Figura 5.42b ilustra.

Em altos níveis, o campo do vetor vento em 300 hPa fornece a impressão da volta do VCAN sobre a Região Sul do Brasil (Figura 5.43a), fato até verificado pelo campo de ζ em 300 hPa (Figura 5.43b), mas devido a configuração na forma de uma banda, conclui-se tratar de um cavado em altos níveis. A divergência não apresenta mais uma configuração bem definida de orientação NW/SE como visto anteriormente (Figura 5.43a). Com o enfraquecimento dos dois VCAN (nordeste da Argentina e NEB), a banda convectiva na sua porção

continental avança em direção ao Estado da BA. A mudança observada na circulação atmosférica sobre a Região da AS, está no deslocamento da AB, o que colabora para o final do evento ZCAS (Figura 5.43a). Sobre os Estados de MG e RJ há a influência de uma faixa de vorticidade anticlônica (Figura 5.43b).



Fig. 5.42 - Como na Figura 5.24, mas para 23/02/93.



Fig. 5.43 - Como na Figura 5.25, mas para 23/02/93.

Após o fim do caso de ZCAS, não havia mais condições para a manutenção da ZCAS, pois com o enfraquecimento da convergência de umidade em 850 hPa e a falta de um suporte dinâmico nos altos níveis, como a divergência mantida por um VCAN ou um cavado, somado a redução da UR sobre a região convectiva, faz com que não haja condições para continuidade do episódio. Ainda que algum fator atue de forma isolada, é necessário o conjunto de todos para que se possa classificar um episódio como sendo um evento ZCAS.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Neste trabalho procurou-se desenvolver um método objetivo de seleção de casos de ZCAS utilizando apenas dados observacionais de ROLE, além de esclarecer algumas questões sobre a estrutura e variabilidade da ZCAS, quanto à sua formação, manutenção e decaimento.

O método objetivo de seleção de casos de ZCAS mostrou uma eficiência de 45% para detectar casos de ZCAS com um período de vida de no mínimo 5 dias de persistência quando comparado à uma seleção subjetiva. Pelo método visual 20 episódios de ZCAS foram selecionados, quantidade idêntica quando da seleção objetiva. Fazendo-se uma comparação entre os casos selecionados pelos 2 métodos, verificou-se que 9 casos selecionados objetivamente tiveram períodos equivalentes pelo método subjetivo. Destes 9 casos, 7 tiveram sua data de estabelecimento igual a da seleção subjetiva, sendo que apenas um caso destes sete, terminou antes do previsto (1 dia antes), o que demostra uma eficiência de quase 78% de acerto na data de estabelecimento dos episódios de ZCAS por parte do método objetivo. De todos os casos selecionados pelos 2 métodos, seis tiveram seus períodos exatos (data de estabelecimento e término), sendo que quatro destes casos foram em Fevereiro.

Fazendo uma análise do ponto de vista qualitativo, ou seja, levando-se em conta casos selecionados com períodos correspondentes a parte dos episódios, pode-se observar que o método objetivo de seleção de casos de ZCAS teve uma eficiência maior, pois dos 20 casos selecionados subjetivamente, 18 tiveram sua detecção parcial ou completa através do

87

método objetivo, o que nos faz concluir que a ROLE pode ser considerada como uma variável característica da ZCAS.

Apesar da falta de alguns meses no conjunto de imagens de satélite, como já citado no capítulo 4, pode-se concluir com base nos meses disponíveis que o método objetivo teve o melhor desempenho no mês de Fevereiro em relação aos outros meses, pois, dos cinco casos selecionados pelo método visual, todos foram igualmente detectados através do método objetivo, inclusive quanto à distribuição temporal (data de estabelecimento e término do evento ZCAS), bem como o número de dias de cada episódio.

A ZCAS mostrou-se ser um evento típico de verão, pois o maior número de casos do total selecionado aconteceram nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, o que comprova trabalhos anteriores, tais como o de Kodama (1992) e Quadro (1994). Apesar de não ser tão freqüente, verificou-se ocorrências de ZCAS na primavera, principalmente no mês de Novembro. O método objetivo mostrou que há um aumento gradativo no número de casos de ZCAS à medida que o verão aproxima-se, conforme a Tabela 4.4 mostrou.

A partir do processo de seleção, verificou-se três tipos de configurações associadas a ZCAS, quanto a posição e orientação da convecção organizada, que foram denominados por Tipo I, Tipo II e Tipo III. O Tipo I refere-se ao episódio de ZCAS climatológico, ou seja, a banda de nebulosidade com orientação NW/SE, posicionado sobre a Região Sudeste do Brasil, com chuva intensas associadas. Do total de casos selecionados, 70% dos casos (14 ao todo) foram do Tipo I. O Tipo II difere do anterior apenas na questão de orientação da convecção. Enquanto o Tipo I tem sua convecção voltada para o norte, o Tipo II tem a sua voltada para o sul. Este tipo atua na Região Sudeste do Brasil e ao norte da Região Sul do Brasil (Estado do PR). O último tipo

encontrado, Tipo III, possui uma particularidade em relação aos outros 2 tipos: a banda de nebulosidade não apresenta uma orientação NW/SE, mas sim numa direção meridional, atuando desde o norte de TO até o RS. Este tipo foi menos freqüente de todos os três destacados.

Dois estudos de casos foram feitos para analisar o comportamento da atmosfera durante a ocorrência da ZCAS a partir de campos meteorológicos de algumas variáveis que fossem adequadas para o estudo, como a pressão ao nível médio do mar, velocidade vertical em 500 hPa, convergência de umidade em 850 hPa, temperatura potencial equivalente em 850 hPa, vorticidade relativa em 850 hPa e 300 hPa, vetor vento em 850 hPa e 300 hPa e divergência de massa em 300 hPa. Foram escolhidos, por uma análise subjetiva, um caso de ZCAS que representasse a configuração de nebulosidade do Tipo I e um caso que representasse o Tipo III, ou seja, o tipo mais freqüente e o tipo mais raro. A razão de tal escolha reside no fato de procurar-se estudar casos de ZCAS com no mínimo 7 a 8 dias de vida. permitindo assim uma melhor situação de análise do estabelecimento, manutenção e decaimento. Foram selecionados os episódios de ZCAS ocorridos nos seguintes períodos: 25-31 de Dezembro de 1990 (correspondente ao Tipo I) e 15-23 de Fevereiro de 1993 (correspondente ao Tipo III).

A análise do Tipo I de ZCAS mostra que com a atuação de um sistema frontal na Região Sudeste do Brasil, a região de ocorrência climatológica da ZCAS conforme trabalhos de Kodama (1992) e Quadro (1994), inicia-se o processo de estabelecimento do sistema, com algumas configurações atmosféricas passando a atuar em conjunto sobre uma mesma região durante um certo período de tempo. Movimentos ascendentes em 500 hPa, fortes gradientes de θ_e junto ao continente e litoral no nível de 850 hPa, convergência de umidade

associada principalmente com a circulação da ASAS, um cavado em altos níveis, com divergência corrente abaixo são os principais fatores associados ao evento ZCAS. A manutenção do episódio ocorreu pela permanência do sistema frontal/cavado invertido sobre a Região Sudeste e um cavado em altos níveis, favorecendo assim à permanência da convergência de umidade nos baixos níveis e divergência de massa nos altos níveis. O decaimento do sistema ocorreu devido a entrada de um novo sistema frontal, com uma alta extratropical muito intensa na retaguarda, que rompeu a semi-estacionalidade da faixa convectiva, estabelecendo o fim do episódio da ZCAS. Neste caso não foi verificada a atuação do VCAN sobre o NEB, apesar de alguns trabalhos sugerirem sempre sua presença. Oposto a isso, a AB esteve presente durante todo o episódio.

O segundo caso de ZCAS estudado (Tipo III), começou 5 dias após o término de um outro caso de ZCAS ocorrido entre 2-10/Fev/93, sendo que a convecção sobre o Brasil manteve-se ativa durante o intervalo dos episódios. Com o estabelecimento de um VCAN no NE da Argentina, iniciou-se o evento ZCAS com a convecção atuando sobre o OAS adjacente à costa brasileira. A configuração meridional da convecção deveu-se pela presença de dois VCAN, um a NE da Argentina e o segundo no NEB, que com seus escoamentos associados, confinaram a convecção na forma de uma banda meridional.

A umidade relativa em baixos níveis provém do OAS, associada com a circulação da ASAS e em alguns dias, provém também do escoamento de noroeste oriundo da região Amazônica. A convergência em baixos níveis destes dois escoamentos, mais a permanência do VCAN sobre o NE da Argentina favorece a divergência de massa nos altos níveis, contribuindo para a manutenção do movimento vertical ascendente durante o episódio.

A entrada no continente do VCAN sobre o NEB no dia 19/02/93 e o enfraquecimento do VCAN à NE da Argentina, passando a ser um cavado em altos níveis (Figura 5.37a), provoca uma significativa alteração na configuração da ZCAS, fazendo com que a banda convectiva passe a ter uma orientação NW/SE, com o deslocamento da ASAS para leste e influindo menos sobre os Estados do Sudeste brasileiro, passando a ser um caso de ZCAS semelhante ao Tipo II. Ressalta-se que, sobre o continente, a orientação meridional da nebulosidade é mantida pela divergência em altos níveis, pelo gradiente de θ_e no OAS e, pela convergência de umidade em baixos níveis. O final deste evento ZCAS aconteceu devido ao rompimento da faixa convectiva causada pela entrada de um sistema frontal, seguindo por uma alta extratropical, e pelo enfraquecimento dos VCAN, um sobre o nordeste da Argentina e e outro sobre o NEB.

Outra característica do segundo caso de ZCAS foi o fato da Região Nordeste ter uma redução de nebulosidade a medida que desenrolava-se o evento, diferentemente do primeiro caso descrito anteriormente, onde a Região Nordeste sempre apresentava nebulosidade durante o evento ZCAS. O avanço da parte oceânica da ZCAS neste segundo caso é bem mais evidente, observando-se ainda a influência da ASAS e do JST na orientação do eixo no momento do estabelecimento do evento.

Comparando-se os dois tipos de ZCAS estudados, verifica-se que a formação deste sistema está associada à penetração de um sistema sinótico tal como um sistema frontal sobre a Região Sudeste do Brasil ou um VCAN sobre o nordeste da Argentina ou de um cavado em altos níveis sobre a Região Sudeste. A estacionalidade destes sistemas permite a manutenção da ZCAS. No caso de um sistema frontal, muitas vezes ele enfraquece sobre o continente, passando a ser um cavado invertido. Nesta situação é necessário

que haja um cavado em altos níveis para manter a divergência de massa nesses níveis e, consequentemente, o movimento vertical, ascendente com a convergência de umidade nos baixos níveis.

Algumas sugestões ficam para futuros trabalhos que envolvam o estudo da circulação atmosférica de verão na AS, e mais especificamente sobre a ZCAS:

- aplicação do método objetivo em outras variáveis meteorológicas, como a convergência de umidade nos baixos níveis, o cavado em altos níveis, divergência em altos níveis, que mostraram-se importantes para os dois casos descritos no capítulo 5, tanto nos processos de formação, manutenção e decaimento da ZCAS;
- estudos com outros métodos estatísticos, como Funções Ortogonais Empíricas, para elaboração de um método objetivo mais eficiente;
- estudos das influências remotas, através de modelagem numérica ou mesmo de dados observacionais, sobre as variáveis que foram mais importantes no processo de formação, manutenção e decaimento de um caso de ZCAS;
- Estudo de casos selecionando episódios de ZCAS através do método objetivo;
- Fazer composições para definir o padrão típico de ZCAS e comparar com o utilizado neste trabalho.

92

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambrizzi, T.; Marengo, J.A.; Liebmann, B.; Kiladis, G.N.; Glick, J.D. Propagação de Ondas Extratropicais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul. [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10., Brasília, 1998. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.
- Benjamin, J.R.; Cornell,C.A. Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers. McGraw-Hill, 1970. 684p.
- Bolton, D. The Computation of Equivalent Potential Temperature. Monthly Weather Review, 108(7):1046-1053, Jul. 1980.
- Calderon, D.; Gandú, A.W. Análise Diagnóstica da Frontogênese, Durante a Evolução da Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9., Campos do Jordão, 1996. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1996, v.1, p.369-373.
- Calheiros, R.V.; Silva Dias, P.L. Como prever melhor. Climanálise, 3(2):31-32, Fev. 1988.
- Carvalho, A.M.G. Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul. São José dos Campos. (INPE-4923-TDL/383). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.
- Casarin, D.P.; Kousky, V.E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 1(2):83-90, Dez. 1986.

- D'Almeida, C.; Grimm, A.M. Oscilações Intrasazonais da Precipitação na estação chuvosa em São Paulo [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10. Brasília, 1998. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.
- Doty, B.E. Using the Grid Analysis and Display System GrADS. Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA), College Park, MD, University of Maryland, Jan. 1985.
- Figueroa, S.N. Simulações da Circulação Atmosférica no verão sobre a América do Sul com a presença da Cordilheira dos Andes usando coordenadas Eta. São José dos Campos. 90p. (INPE-5269-TDI/445). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990.
- Figueroa, S.N. Estudo dos Sistemas de Circulação de verão sobre a América do Sul e suas Simulações com modelos numéricos. São José dos Campos. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.
- Figueroa, S.N.; Nobre, C. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, 5(6):36-45, Jun. 1990.
- Figueroa, S.N.; Satyamurty, P.; Silva Dias, P.L. Simulations of the Summer Circulation over the South American Region with an Eta Coordenate Model. Journal of the Atmospheric Sciences, 52(10):1573-1584, Mai. 1995.
- Grimm, A.M.; Silva Dias, P.L. Analysis of Tropical-Extratropical Interactions with Influence Functions of a Barotropic Model Journal of the Atmospheric Sciences, (20): 3538-3555, Out. 1995.

- Holton, J.R. An Introduction to Dynamic Meteorology. 3rd ed. Academic Press, 1992. 510 p.
- Horel, J.D.; Jones, C. A circulação da Alta da Bolívia e a atividade convectiva sobre a América do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, 5(1), Jun. 1990.
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K.C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Jenne, R.; Joseph, D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bulletin of the American Meteorological Society, vol.77 (3) :437-471, Mar. 1996.
- Kayano, M.T.; Kousky, V.E. Sobre o monitoramento das Oscilações Intrasazonais. Revista Brasileira de Meteorologia, 1(7):593-602, Jun. 1992.
- Kayano, M.T.; Kousky, V.E.; Studzinsky, C.D.; Silva Dias, P.L. As variações intrasazonais da precipitação no Brasil durante o verão de 1989/1990. Climanálise, 5(4):40-50, Abr. 1990.
- Kodama, Y. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I:Characteristics of Subtropical Frontal Zones. Journal of the Meteorological Society of Japan, 70(4):813-836, Aug. 1992.
- Kodama, Y. Large-Scale Common Features of Sub-Tropical Convergence Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part II:Conditions of the Circulations for Generating the STCZs. Journal of the Meteorological Society of Japan, 71(5):581-610, Out. 1993.

- Kousky, V.E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 3(1):217-231, 1988
- Kousky, V.E.; Gan, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic **Tellus**, 33, 538-551, 1981.
- Kousky, V.E.; Kagano, M.T. A climatological study of the troposphere circulation over the Amazon Region Acta Amazonica 11(4): 743-758, Dez/1981.
- Kousky, V.E.; Virji, H. A entrada de um sistema frontal em latitudes baixas e seus efeitos na atividade convectiva tropical. São José dos Campos. 18p. (INPE-2582-PRE/230). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1982.
- Krishnamurti, T.N.; Kanamitsu, M.; Koss, W.J.; Lee, J.D. Tropical east-west circulation during the northern winter. Journal of the Atmospheric Sciences, 30(5):780-787, Jul. 1973.
- Lemos, C.F.; Calbete, N.O. Sistemas Frontais que atuaram no Litoral do Brasil (Período 1987-1995) In: Climanálise Especial - 10 Anos. 1996.
- Liebman, B.; Smith, C.A. Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset. Bulletin of American Meteorological Society vol. 77, 1275-1277, Jun. 1996.
- Madden, R.A.; Julian, P.R. Description of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. Journal of the Atmospheric Sciences, 28, 702-708, 1971.
- Madden, R.A.; Julian, P.R. Description of global-scale circulations cells in the tropics with a 40-50 day period. Journal of the Atmospheric Sciences, 29, 1109-1123, 1972.

- Marton, E.; Silva Dias, P.L. Energética ZCPS/ZCAS. In: IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, 1996. Anais. Sociedade Brasileira de Meterologia, 1996, v.1, p.783-786.
- Mattos, L.F. O papel de deformação horizontal na frontogênese na região sul brasileira. São José dos Campos. 118p. (INPE-4469-TDL/322). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1988.
- Mo, K.C.; Higgins, R.W. Large-Scale Atmospheric Moisture Transport as Evaluated in the NCEP/NCAR and the NASA/DAO Reanalyses. Journal of Climate, vol.9 :1531-1545, Jul. 1996.
- NCEP/NCAR Reanalysis Problems List, hhp://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/problems.html
- Nery, J.T. Estudio Climático de la Precipitación del Brasil Meridional Asociado con Fenómeno Extrarregionales - Tese de Doutorado Universidade de Bueno Aires, Faculdad de Ciencias Exactas Y Naturales - Departamento de Ciencias de la Atmosfera 1996
- Nobre, C. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: A importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**, **3**(4):30-35, Abr. 1988.
- Oliveira, A.S. Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e a Convecção da Amazônia. São José dos Campos. 134p. (INPE-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1986.

- Oliveira, L.L. Zonas de Convergência do Atlântico Sul e suas influências no regime de precipitação no nordeste do Brasil. São José dos Campos. 125p. (INPE-2307-TDL/074). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1982.
- Paegle, J.N.; Mo, K.C. Alternating Wet and Dry Condition over South America during Summer. **Monthly Weather Review**, 125, 279-291, .Feb. 1997
- Paulino, L.E.B. Balanços de Calor e Umidade em Grande Escala na América do Sul - Situações Convectivas no Verão. Dissertação de Mestrado - USP 1995
- Pezzi, L.; Cavalcanti, I.F.A.; Serafini, V.; Treut, H. L.; Li, L. Z. X. South Atlantic Convergence Zone (SACZ) in the doubling CO₂ run with LMD model and ECMWF re-analysis data: Part 1. [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10., Brasília, 1998. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.
- Pezzi, L.; Cavalcanti, I.F.A.; Serafini, V.; Treut, H. L.; Li, L. Z. X. South Atlantic Convergence Zone (SACZ) in the doubling CO₂ run with LMD model and ECMWF re-analysis data: Part 2. [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10., Brasília, 1998. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.
- Pielke, R.A et al A Comprehensive Meteorological Modeling System RAMS. Meteorology and Atmospheric Physics 49, 69-91 (1992)
- Quadro, M.F.L. Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. São José dos Campos. (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994.

- Rao, V.B.; Hada, K. Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillation. Theoretical and Applied Climatology, 42:81-91. 1990.
- Rocha, A.M.G.C.; Gandu, A.W. A Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: Climanálise Especial - 10 Anos. 1996.
- Satyamurty, P.; Mattos, L.F. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. Monthly Weather Review, 108, 410-520, 1989.
- Satyamurty, P.; Santos, R.P.; Lemes, M.A.M. On the Stationary Trough Generated by the Andes. **Monthly Weather Review**, 108(4):510-520, Abr. 1980.
- Satyamurty, P.; Rao, V.B. V.B. Zona de Convergência do Atlântico Sul. Climanálise, 3(3):31-35, Mar. 1988.
- Silva, W.B.; Gandu, A.W. Simulação de um Episódio de ZCAS com o modelo RAMS. [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10., Brasília, 1998. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.
- Silva, W.B.; Gandu, A.W. Sensibilidade na simulação com o RAMS em um período de ZCAS. [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, 10., 1998. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.
- Silva Dias, P.L.; Caplan, P.; Kousky, V.E. As chuvas intensas de fevereiro de 1988: Circulação global e Previsibilidade. In: V Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 1988. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1988, v.2, p. IX.6-10.

- Silva Dias, P.L. As chuvas de março de 1991 na região de São Paulo. Climanálise, 6(5):44-59, Mai. 1991.
- Silva Dias, P.L. A Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: IV Curso de Interpretação de Imagens e Análise Meteorológica. Curso de Extensão Universitária, UNIVAP, 1995.
- Streten, N.A. Some caracteristics of the satellite-observed bands of persistent cloudiness over the Southern Hemisphere. Monthly Weather Review, 101(6):486-495, Jun. 1973.
- Taljaard, J.J. The clouds bands of the South Pacific and Atlantic Oceans. Meteorological Monographs, 13(35):189-192, Nov. 1972.
- Tanajura , C.A.S. A Seasonal Simulation of the SACZ with the ETA Model and the Cola GCM. [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10., Brasília, 1998. Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.