

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/06.02.21.00-TDI

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE PREVISÃO POR CONJUNTOS DO CPTEC/INPE NA DETECÇÃO DE VÓRTICES CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVEIS NA REGIÃO TROPICAL

Elaine Cristina Abreu Barreto

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Drs. José Paulo Bonatti, e Christopher Alexander Cunningham Castro, aprovada em 09 de junho de 2015.

URL do documento original: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3JK2AC2>

> INPE São José dos Campos 2015

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Gabinete do Diretor (GB) Serviço de Informação e Documentação (SID) Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970 São José dos Campos - SP - Brasil Tel.:(012) 3208-6923/6921 Fax: (012) 3208-6919 E-mail: pubtc@sid.inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544): Prosidente:

Presidente:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT) Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID) EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/06.02.21.00-TDI

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE PREVISÃO POR CONJUNTOS DO CPTEC/INPE NA DETECÇÃO DE VÓRTICES CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVEIS NA REGIÃO TROPICAL

Elaine Cristina Abreu Barreto

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Drs. José Paulo Bonatti, e Christopher Alexander Cunningham Castro, aprovada em 09 de junho de 2015.

URL do documento original: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3JK2AC2>

> INPE São José dos Campos 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barreto, Elaine Cristina Abreu.

B275a Avaliação do desempenho do sistema de previsão por conjuntos do CPTEC/INPE na detecção de vórtices ciclônicos de altos níveis na região tropical / Elaine Cristina Abreu Barreto. – São José dos Campos : INPE, 2015.

xxvi + 108 p.; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/06.02.21.00-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

Orientadores : Dr. José Paulo Bonatti, e Christopher Alexander Cunningham Castro.

1. Previsão por conjuntos. 2. VCAN. 3. Região tropical. I.Título.

CDU 551.509:551.589



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Mestre** em

Meteorologia

Orientador(a)

Dr. Dirceu Luis Herdies

Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Christopher Alexander Cunningham Castro

Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

INPE / Cachoeira Paulista - SP

- Dr. José Paulo Bonatti
- Dr. Marcelo Enrique Seluchi
- Dr. Everaldo Barreiros de Souza

Membro da Banca / CEMADEN / Cachoeira Paulista - SP

Convidado(a) //UFPA / Belém - PA

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

(A) unanimidade

Título: "Avaliação do Desempenho do Sistema de Previsão por Conjuntos do CPTEC/INPE na Detecção de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis na Região Tropical"

Elaine Cristina Abree Barrete

Aluno (a): Elaine Cristina Abreu Barreto

São José dos Campos, 09 de Junho de 2015

"Ha um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da Travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos"

FERNANDO PESSOA

I minha família e em memória de meus Pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a presença espiritual de meus pais, Maria José Abreu e Benedito Feitosa Barreto, por durante sua passagem na terra, me permitir ser quem sou e me fazer acreditar numa vida melhor.

A meus irmãos pelo eterno companheirismo e exemplo de vida, e por dividir sempre que possível as felicidades e tristezas.

Ao Elton pelo carinho, atenção, amor e companheirismo prestados ao longo desses anos.

Aos meus Orientadores Dr. Paulo Bonatti e Dr. Christopher Cunningham pela grande amizade, estímulo, dúvidas esclarecidas e conhecimento compartilhado ao longo desta dissertação, e também pelo exemplo de pesquisadores, deixo aqui registrado o meu profundo agradecimento.

Aos Professores Luiz Fernando Sapucci, Dirceu Herdies e Dimitrie Nechet por sempre estarem disposto a ajudar a sanar minhas inúmeras dúvidas e pelo auxílio prestado.

A todos os professores da Pós-graduação de Meteorologia do INPE/CPTEC por ampliar meus conhecimentos. Aos pesquisadores e colegas da Assimilação de Dados do CPTEC/INPE pelas discussões importantes que ajudaram a enriquecer este trabalho.

Agradeço ao Fábio Diniz, a Bianca Maske e Liviany Viana pelas inúmeras vezes que me auxiliaram com minhas dúvidas de programação.

Sou muito grata ao Alex Fernandes do grupo de Implementação Operacional do CPTEC, na colaboração dos dados. E a todos os meus amigos do CPTEC que ajudaram a fazer um lugar melhor não somente para trabalhar, mas também para compartilhar os momentos importantes do dia a dia.

Aos colegas de turma que proporcionaram grandes alegrias no decorrer desta jornada. A família alojamento pela vivência nesses dois anos.

Aos amigos que sempre torceram pelo sucesso na minha vida pessoal e profissional.

Aos membros da Banca por terem aceitado o convite de ler e avaliar este trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

A todos que tiveram direta ou indiretamente participação neste trabalho.

E agradeço especialmente a Deus, pois o poder divino é o que realmente importa em nossa existência e sem ele não conseguimos ir muito longe, porque sempre existirá um vazio a ser preenchido.

RESUMO

Este estudo pioneiro tem por objetivo avaliar o desempenho do Sistema de Previsão por Conjunto (SPCON) na detecção de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) na região tropical. O SPCON avaliado é a versão MB09 do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), que encontra-se ainda em fase de implementação. Esta versão conta com modificações no método de criação das condições iniciais perturbadas. O desempenho do SPCON foi avaliado sobre vários aspectos: avaliação geral do SPCON, avaliação semiobjetiva através da disposição geográfica das previsões dos membros do conjunto, e avaliação objetiva através de uma comparação entre o desempenho da média do conjunto (ENM) e o desempenho do membro controle (CTRL), além de uma comparação das versões MB09 e OPER (versão futura e operacional, respectivamente) do CPTEC/INPE. Para este estudo foram selecionados 8 eventos que ocorreram no verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) entre os anos de 2009 a 2011. A área de estudo compreende os intervalos entre 10°N e 20°S e 010°E e 060°W. A função de corrente foi a variável utilizada para definir a localização do VCANs, no nível de 200 hPa, e o índice denominado de Probabilidade de Detecção (PD) foi utilizado como o indicador de acerto do centro do VCAN, para os limiares de 2 e 4 graus, a partir do centro observado. De modo geral os resultados mostraram que, a taxa de detecção do VCANs diminui à medida que aumenta o horizonte de previsão, e para prazos mais longos o ENM tem melhor desempenho do que o CTRL. Os resultados referentes a avaliação semiobjetiva mostraram 3 resultados: i) As incertezas associadas às previsões mostraram alto espalhamento dos membros em curto espaço de tempo. ii) A indicação de previsibilidade mostrou que, o desempenho do SPCON independe do prazo de duração, havendo, portanto, baixa e/ ou alta previsibilidade. iii) Os erros sistemáticos mostraram que existe uma tendência preferencial na detecção dos centros dos VCANs. Com relação a comparação entre as versões MB09 e OPER, ficou evidente que melhores detecções dos VCANs na região Tropical, são produzidas utilizando a versão MB09 do que a versão atualmente em operação no CPTEC/INPE.

Palavras-chaves: Previsão por Conjuntos; VCAN; Região Tropical.

PERFORMANCE OF THE CPTEC/INPE ENSEMBLE PREDICTION SYSTEM IN THE DETECTION OF HIGH LEVELS IN VORTEX CYCLONIC IN TROPICAL REGION

ABSTRACT

This pioneer study aims to evaluate the performance of the Ensemble Prediction System (EPS) on Upper Air Cyclonic Vortex (UACV) detection at tropical region. The evaluated version is SPCON-MB09 from the Center for Weather Forecasting and Climate Studies (CPTEC/INPE), which still lies on the implementation phase. This version counts with modifications on the creation method of the disturbed initial conditions. The performance of SPCON was evaluated under many aspects: overall assessment of SPCON semi-objective evaluation by the geographical disposal of the ensemble members prediction and objective assessment throughout a comparison between the performance of the ensemble average (ENM) and the performance of the member control (CTRL) besides a comparison of the versions MB09 and OPER (future and operational version, respectively) of CPTEC/INPE. For this study were selected eight events that occurred in the summer (December, January and February) between the years 2009-2011 .The study area comprises the interval between 10° N and 20°S and 010° E and 060° W. The current function was the variable used to define the location of the VCAN at the level of 200 hPa and the index called Probability of Detection (PD) was used as the hit indicator of the center of the VCANs to the thresholds of 2 and 4 degrees from the observed center. In general, the results showed that the UACV detection rate decreases as the forecast horizon increases (up to 360 hours) and for longer terms, the ENM has better performance than the CTRL. The results related to the semi-objective evaluation showed many results: i) The uncertainties associated with forecasts showed high scattering of members in a short time. ii) The indication of predictability showed that the performance of SPCON independent of the duration period, there is therefore low and / or high predictability. iii) The systematic errors showed that there is a preferred tendency to detect the center of UACV. Regarding the comparison between the MB09 and OPER versions, it became clear that better detection of UACV in Tropical region, are produced using the MB09 version than the version currently in operation at CPTEC/INPE.

Keywords: Prediction for ensemble; UACV; Northern region

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema da seção transversal de um VCAN
Figura 2.2 - Sequência esquemática da formação clássica dos VCAN em 200 hPa no
Atlântico Sul
Figura 2.3 - Representação esquemática do conceito de previsão de tempo por conjunto.
As linhas com setas representam a evolução da atmosfera à medida que o tempo evolui.
A previsão determinística é representada pela linha mais grossa (uma única previsão).
Na previsão por conjuntos, são geradas previsões adicionais (demais linhas) para
considerar as incertezas nas condições iniciais e dos modelos
Figura 2.4 - Diagrama Esquemático da previsão por conjuntos do CPTEC.
Fonte: Mendonça (2008) 19
Figura 3.1 - Diagrama Esquemático do Método de Perturbação da Condição Inicial
utilizando EOF, e a realização da Previsão por Conjuntos no CPTEC/INPE (a direita da
figura). CI - Condição Inicial, PO – Perturbação Ótima
Figura 3.2 - Representação da área de estudo (VCANs), ilustrada pelo quadrado em
vermelho, que compreende os intervalos de 10°N e 20°S e 010°E e 060°W, Latitude e
Longitude, respectivamente
Figura 3.3 - Painel de Figuras que ilustram a atuação dos VCANs a partir de: Imagens
de satélite no Canal IR (00:00 UTC), Carta de Altitude (200 hPa) (00:00 UTC), para os
dias 06/01/2009, 06/02/2009, 08/12/2009, 07/01/2010, 17/02/2010, 17/12/2010,
14/01/2011 e 25/02/2011, e Boletins da Climanálise Mensal do posicionamento dos
centros dos VCANs (DJF – 2009/2010 e 2011), respectivamente. (Continua) 32
Figura 3.4 - Representação esquemática do gráfico Box plot
Figura 3.5 - Representação esquemática dos limiares estabelecidos no estudo na
detecção dos VCANs, utilizando linhas de corrente (u e v em 200 hPa). Os círculos
representam respectivamente: 4 graus (azul), 2 graus (amarelo), 1 grau (vermelho) e
observado (verde)
Figura 4.1 - Desvios entre o centro observado e previsto (em graus) em função do prazo
de previsão (em horas) para os VCANs (8 eventos) em DJF de 2009/2010/2011. O
círculo indica o CTRL e o triângulo indica o ENM. A caixa indica o percentil de 25% e
75%, como sendo respectivamente a linha inferior e superior, portanto 50% da

população amostrada se encontram dentro destes limites. O traço central das caixas Figura 4.2 - Posições do centro do VCAN conforme observado nas análises (círculos verdes) e distância das previsões até o centro observado do VCAN (varetas azuis). 53 O triângulo (vermelho) indica que ao menos um dos membros do SPCON realizou a previsão do posicionamento dos centros dos VCANs corretamente. Os eventos ilustrados fazem referência ao VC-06 (a) e (b) e VC-07 (c) e (d), para a defasagem de Figura 4.3 - Desvios entre o centro observado e previsto (em graus) em função do prazo de previsão (em horas) para os eventos de VCAN referentes ao VC-06 (a) e VC-07 (b). O círculo indica o CTRL e o triângulo indica o ENM. A caixa indica o percentil de 25% e 75%, como sendo respectivamente a linha inferior e superior, portanto 50% da população amostrada se encontram dentro destes limites. O traço central das caixas Figura 4.4 - Idem a Figura 4.2.1, exceto que, os eventos ilustrados fazem referência ao VC-02 (a), VC-08 (b), ambos para a defasagem de 288 horas, VC-04 (c) e VC-06 (d), Figura 4.5 - Idem a Figura 4.2.1, exceto que, os eventos ilustrados fazem referência ao Figura 4.6 - Idem a Figura 4.2.1, exceto que, os eventos ilustrados fazem referência ao VC-03 (a) e (b) e VC-07 (c) e (d), ambos para a defasagem de 144 e 240 horas, Figura 4.7 - Idem a Figura 4.3, exceto que, os eventos ilustrados fazem referência ao Figura 4.8 - Magnitude de PD dos centros dos VCANs em função do prazo de previsão dos 8 eventos de VCANs. A detecção foi considerada em relação ao limite de (a) dois e (b) quatro graus, respectivamente. As barras cinzas representam o CTRL, as barras pretas representam ENM e a linha tracejada vermelha representa o limite de Figura 4.9 - Comparação entre SPCON OPER e SPCON MB09 na detecção do VC-01. O eixo vertical representa a magnitude de PD do centro do evento VC-01, e o eixo horizontal representa o prazo de previsão. A detecção foi considerada em relação ao limite de (a) dois e (b) quatro graus, respectivamente. As barras em azul (escuro)

representam o ENM OPER, as barras em azul (claro) representam o CTRL OPER, as barras pretas representam ENM MB09, as barras cinzas representam OPER MB09 e a linha vermelha representa o limite de confiabilidade útil de previsão......71 Figura 4.10 - Idem a Figura 4.2, exceto que, o evento ilustrado faz referência ao VC-01, Figura A.1 - Representação do Posicionamento dos centros dos VCANs pelos membros do SPCON-MB09 dos 8 eventos estudados nesta pesquisa. Posições do centro do VCAN conforme observado nas análises (círculos verdes) e distâncias das previsões até o centro observado do VCAN (varetas azuis). O triângulo (vermelho) são os acertos de algum membro do SPCON na previsão do posicionamento dos centros dos VCANs... 99 Figura A.2 - Representação do Posicionamento dos centros dos VCANs pelos membros do SPCON-OPER para o VC-01. Posições do centro do VCAN conforme observado nas análises (círculos verdes) e distâncias das previsões até o centro observado do VCAN (varetas azuis). O triângulo (vermelho) são os acertos de algum membro do SPCON na previsão do posicionamento dos centros dos VCANs...... 100 Figura C.1 - Representação (Fluxograma) dos processos para a detecção dos VCANs Figura C.2 - Fluxograma da detecção dos VCANs, utilizando os limiares de um, dois,

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Número de eventos de VCANs ocorridos nos meses de DJF e duração (em
dias) nos anos estudados (2009 a 2011). O realce em amarelo representa os eventos
escolhidos para a pesquisa totalizando 8 eventos
Tabela 3.2 - Ilustração dos episódios de VCANs selecionados para o estudo 2009, 2010
e 2011(DJF) e duração (dias)
Tabela 3.3 - Exemplo de arquivo resultante do procedimento de detecção
semiautomática dos VCANs. A coluna 2 representa a previsão para o dia 04/01/2009
para defasagens de 15 dias (coluna 5). As colunas 2 e 3 representam a detecção dos
VCANs (Long e Lat)
Tabela 4.1 - Representação da magnitude PD dos centros dos VCANs para os 8 eventos,
em função do prazo de previsão. A detecção foi considerada em relação ao limite de
dois e quatro graus
Tabela 4.2 - Representação da magnitude PD na detecção do evento VC-01, utilizando a
versão OPER (ENM e CTRL) e MB09 (ENM e CTRL), em função do prazo de
previsão. A detecção foi considerada em relação ao limite de dois e quatro graus 72
Tabela B.1 - Representação da PD dos centros dos VCANs em função do prazo de
previsão dos 8 eventos. A detecção foi considerada em relação aos limites de um, dois,
três, quatro e cinco graus
Tabela B.2 - Representação da PD do centro do VCAN em função do prazo de previsão
do evento VC-01, utilizando o SPCON-MB09. A detecção foi considerada em relação
aos limites de um, dois, três, quatro e cinco graus
Tabela B.3 - Representação da PD do centro do VCAN em função do prazo de previsão
do evento VC-01, utilizando o SPCON-OPER. A detecção foi considerada em relação
aos limites um, dois, três, quatro e cinco graus 102
Tabela B.4 - Demonstrativo dos desvios em graus entre o centro observado e centro
previsto para os prazos de previsão. O desvio médio equivalente correspondem aos 8
eventos, e para todos os membros do conjunto 102

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
COLA	Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CTRL	Controle (análise não-perturbada)
ECMWF	Center European Centre for Medium-Range Weather Forecast
ENM	Ensemble Médio
EOF	Empírica Ortogonal Funcional
E-W	East-West
FSU	Florida State University
GRADS	Grid Analysis and Display System
HN	Hemisfério Norte
hPa	Hectopascal
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Lat	Latitude geográfica
Long	Longitude geográfica
L28	Número de Camadas Verticais do Modelo (28)
MCGA	Modelo de Circulação Geral Atmosférica
MB09	Versão da Previsão por Conjunto não implementada
N-S	Norte-Sul
NW-SE	Noroeste-Sudeste
NCEP	National Centers of Environmental Prediction
NEB	Nordeste Brasileiro
OPER	Versão Operacional de Previsão por Conjunto do CPTEC/INPE
OUTLIERS	Dados discrepantes de uma amostra
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
PNT	Previsão Numérica do Tempo

PD	Probabilidade de Detecção (índice)
SPCON	Sistema de Previsão por Conjuntos
T126	Truncamento Triangular no Número de Onda Zonal 126
UA	Unidade Adimensional
US NAVY	United States Navy
UTC	Universal Time Coordinated
VCANs	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
VDs	Vórtices Desprendidos
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
WMO	World Meteorological Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

А	Ponto A
Ax	Distância entre dois pontos de grade na direção x
Ay	Distância entre dois pontos de grade na direção y
В	Ponto B
Bx	Distância entre dois pontos de grade na direção x
By	Distância entre dois pontos de grade na direção y
d	Distância entre a previsão prevista e a observada
ψ	Função de Corrente
ζ	Vorticidade Relativa
∇^2	Laplaciano

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Objetivos	5
1.2.	Resumo	6
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1.	Definição e primeiros estudos sobre VCANs	7
2.2.	VCANs atuantes na América do Sul	9
2.3.	Rastreamento	. 10
2.4.	Técnica de previsão por conjunto	. 12
2.4.1	1. Vantagens da utilização da previsão por conjuntos	. 14
2.5.	Métodos de previsão por conjuntos	. 16
2.5.1	I. Singular vector	. 16
2.5.2	2. Breeding of growing modes (método breeding)	. 16
2.5.3	3. Funções Ortogonais Empíricas - EOF	. 17
2.6.	Previsão por conjuntos no CPTEC	. 17
3.	DADOS E MÉTODOS	. 21
3.1.	Descrição das condições iniciais	. 21
3.2.	Processos Físicos do MCGA do CPTEC/INPE	. 21
3.3.	O Método EOF-Based Perturbation Operacional do CPTEC/INPE	. 22
3.4.	Versão avaliada no estudo (MB09)	. 26
3.5.	Área de estudo	. 28
3.6.	Descrição dos eventos	. 29
3.6.1	1. Descrição sinótica mensal no período simulado	. 31
3.7.	Metodologia	. 40
3.7.1	 Avaliação do posicionamento dos VCANs 	. 40
3.7.2	2. Avaliação de desempenho dos membros do conjunto e conjunto médio	. 41
3.7.3	3. Critérios de proximidade usados na detecção dos centros dos VCANs	. 42
3.7.4	4. Detecção dos centros dos VCANs	. 44
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	. 47
4.1.	Desempenho geral do SPCON	. 47
4.2.	Avaliação semiobjetiva	. 49

4.2.1.	Incerteza associada às previsões	51
4.2.2.	Indicações de previsibilidade	55
4.2.3.	Erros Sistemáticos	60
4.3. A	Avaliação Objetiva: CTRL versus ENM	64
4.4. C	Comparação de desempenho entre as versões OPER e MB09	67
5. CO	NCLUSÕES	75
6. TR	ABALHOS FUTUROS	81
REFER	RÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
APÊND	DICE A	
APÊND	DICE B	101
APÊND	DICE C:	107

1. INTRODUÇÃO

A importância de avaliar quantitativamente e de forma confiável a incerteza das previsões do tempo tem sido reconhecida na comunidade meteorológica. Isso se deve ao fato de que, com a investigação da incerteza é possível aumentar a previsibilidade da atmosfera, além de estimar o impacto dessas incertezas nas condições iniciais na geração de um conjunto de previsões.

As incertezas das previsões nos modelos de previsão numérica do tempo (PNT) são geradas para contabilizar as duas fontes de erros distintas da incerteza dos modelos: a primeira está relacionada aos erros introduzidos pelo uso de condições iniciais imperfeitas (representação do estado da atmosfera, a partir de uma análise objetiva), amplificadas pela natureza caótica das equações de evolução do sistema dinâmico, que é sensível as condições iniciais; a segunda é gerada pelos erros introduzidos por causa de falhas na formulação do modelo, tais como os métodos matemáticos aproximados para resolver as equações (TOTH; KALNAY, 1993).

A teoria do "caos", explica os erros que são introduzidos nas previsões (LORENZ, 1963; 1965; 1969), que está associado à sensibilidade da evolução temporal de alguns sistemas dinâmicos determinísticos não-lineares às condições iniciais. A atmosfera é um exemplo desse tipo de sistema, de modo que podem apresentar soluções distintas entre si, a partir de estados iniciais ligeiramente diferentes. Embora se tenha um modelo perfeito, e representação realística da condição do estado inicial da atmosfera, ao longo das integrações a qualidade das previsões reduz quando impostas a horizontes mais amplos, impactando na real representação da atmosfera.

Historicamente, o primeiro método de previsão que reconheceu as incertezas dos modelos atmosféricos de previsão foi desenvolvido por Epstein (1969), que mostrou matematicamente a importância de uma previsão estocástica, para gerar probabilidades de situações futuras.

Posteriormente, Leith (1974) de forma prática, propôs a viabilidade de realizar a previsão por conjuntos com um número limitado de membros ao invés de apenas um convencional (determinístico). Essa abordagem forneceria a ideia da importância das previsões estocásticas para minimizar os efeitos da incerteza na PNT.

A previsão determinística é realizada com a integração de apenas um modelo numérico, considerando este modelo como perfeito e um estado inicial atmosférico livre de erros. Em teoria a previsão determinística deveria ser capaz de prever a evolução correta dos movimentos atmosféricos. No entanto, há duas limitações fundamentais neste modelo. A primeira é que a simulação dos processos atmosféricos é apenas aproximada, devido principalmente as parametrizações dos processos de sub grade, i. é., os processos físicos produzidos em escalas muito pequenas não são bem resolvidos pelo modelo. A segunda é que a atmosfera é um sistema dinâmico com sensibilidade as condições iniciais.

Resumidamente, isto implica que pequenos erros nas condições iniciais podem se amplificar durante a evolução do estado atmosférico dada pelo modelo, levando em consideração que os modelos ao longo de horizontes de sete dias de integração divergem do estado real, gerando panoramas futuros bastante distintos a partir de condições iniciais muito semelhantes (LORENZ, 1969). Uma vez que a previsão determinística consiste de uma integração iniciada a partir de apenas uma condição inicial, a médio prazo os resultados podem não apresentar um bom índice de acerto.

Com o objetivo de buscar as razões da limitação da previsão determinística, e minimizar o problema da incerteza, foram desenvolvidos os métodos de previsão por conjuntos. Um dos propósitos da previsão por conjunto é reduzir o impacto da incerteza no estado inicial da atmosfera, a partir de um conjunto de estados iniciais ligeiramente diferentes da análise, ou seja, condições iniciais perturbadas, que geram múltipla integrações do modelo para cada um dos estados desse conjunto.

Outra finalidade da técnica de previsão por conjuntos é aumentar a confiabilidade das previsões, por considerar que a abordagem determinística é limitada para prazos de previsão mais longos do que 72 horas (KALNAY, 2004). Com esta técnica também, é possível fornecer a incerteza associada à previsão, que é devido aos erros inerentes à representação da análise. Além de prever as probabilidades associadas à ocorrência de um determinado evento (i. é, chuva intensa), é também capaz de gerar as incertezas da condição inicial e a confiabilidade da previsão do mesmo evento.

Zhang e Krishnamurti (1999) desenvolveram um método de geração de condições iniciais perturbadas, baseando-se em uma análise de componentes principais (funções

ortogonais empíricas - EOF), denominado EOF-based perturbation (método EOF), com a finalidade de realizar previsões por conjunto de ciclones tropicais.

Coutinho (1999) foi pioneira em estudos sobre previsão por conjunto no Brasil, e utilizou o método EOF, com algumas adaptações, para produzir condições iniciais perturbadas para o modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE).

A partir desses estudos de Coutinho (1999), foi implementado em outubro de 2001 o Sistema de Previsão por Conjuntos (SPCON) no CPTEC. E desde então, são realizadas previsões de tempo por conjunto, que é fundamentado no método de perturbação baseado em EOF. Este método requer condições iniciais perturbadas, e como produto final obtém-se a média dos membros do conjunto.

A melhoria da qualidade da previsão de sistemas transientes, representa um grande desafio para a meteorologia. Contudo quando se trata de previsão nos trópicos é ainda mais desafiadora, devido à dinâmica e à termodinâmica que envolve os sistemas nesta região, que são mais imprevisíveis. Em razão dessa dificuldade são utilizados métodos que auxiliam na previsão, como a previsão de médio prazo, no caso a previsão por conjuntos, que pode fornecer diferentes soluções a fim de obter resultados próximos da observação, favorecendo subsídios de prevenção nos diferentes âmbitos de tomada de decisão.

Amplamente estudados, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), são classicamente conhecidos como sistemas singulares, pois, ao mesmo tempo inibem e favorecem a precipitação nas regiões sob a sua influência, além disso, desempenham um papel importante nessas regiões por ser um elo nas trocas de energia entre os trópicos e extratrópicos (RAMIREZ, 1997).

Os VCANs são sistemas meteorológicos com núcleo de baixa pressão, formados na alta troposfera e podendo se estender a níveis inferiores. Caracterizam-se por um centro relativamente frio, convergência de massa, movimentos verticais subsidentes no centro e ascendentes na periferia, nebulosidade mais intensa principalmente na direção de seu deslocamento, e são mais observados nos meses de verão (KOUSKY; GAN, 1981; GAN; KOUSKY, 1986).

As condições de tempo associadas aos vórtices são significativas em algumas áreas da região tropical, ao se deslocar para oeste sobre o NEB, provocam alteração no tempo e, dependendo de sua intensidade e permanência, causam sérios problemas locais e regionais (impactos sócio-econômicos). O impacto em locais sob a influência do centro do VCAN, inibem as chuvas, podendo ocasionar secas, em outras situações, sob influência da periferia, podem ocasionar pancadas de chuvas, e até inundações (SILVA, 2005).

A estrutura de vórtices frios na atmosfera tem sido estudada por muitos autores, e seus estudos foram baseados e desenvolvidos para o Hemisfério Norte (HN). Palmén (1949), Palmer (1951) e Frank (1966), foram os precursores em estudos observacionais sobre os VCANs, seus trabalhos genericamente demonstraram a presença de um centro frio, além de formação e origem dos vórtices.

A classificação dos VCANs está associada à sua localização existindo, portanto, os subtropicais (PALMÉN, 1949) e tropicais (PALMER, 1951). Daremos mais importância aos vórtices de origem tropical, que se formam sobre o Oceano Atlântico e NEB, por serem a área de interesse deste estudo.

Os pioneiros nos estudos observacionais sobre os vórtices no Tropical Sul, foram Dean (1971) e Aragão (1975), que mostraram que as situações de chuvas fortes no NEB e vizinhança estavam associadas aos vórtices.

Kousky e Gan (1981), com base em imagens de satélite para o período 1975-1979 foram os primeiros a fornecer uma estatística climatológica para os vórtices do Atlântico sul. Ramirez et al. (1997) apresentaram uma nova climatologia estatística para esses vórtices com base nas variáveis vento e temperatura, com auxílio de imagens de satélite para o período de 1980 a 1989.

Rao e Bonatti (1987) salientaram que a energética para a formação dos VCANs tem associação à instabilidade barotrópica, a liberação de calor latente de condensação e a variação diurna da intensidade do anticiclone sobre o continente sul americano.

Considerando que este trabalho apresenta uma abordagem pioneira acerca da previsão dos VCAN que atuam no NEB. Primeiro, porque há poucos estudos na literatura que abordam os aspectos relacionados à previsão numérica destes sistemas. Segundo, porque não se tem conhecimento sobre nenhum estudo que tenha enfocado a previsão de VCAN utilizando a técnica de previsão por conjuntos.

Os resultados obtidos podem ser relevantes para entender o comportamento desse sistema, uma vez que as previsões com modelos atmosféricos apresentam incertezas, que podem ser decorrentes da representação dos processos físicos nos modelos ou mesmo a precisão dos cálculos.

Além disso, o modelo em alguns casos apresenta baixo desempenho na detecção de alguns sistemas, podendo posiciona-los erroneamente, subestimando ou superestimando a sua intensidade, e em outros casos, indicando corretamente sua ocorrência. Assim fazse necessário o acompanhamento do desempenho dos modelos, para que a previsão do tempo e seus produtos sejam mais confiáveis.

Neste contexto, o presente estudo fornece um conjunto de previsões retrospectivas do SPCON do CPTEC/INPE, para melhor observar a trajetória dos VCANs atuantes na região Tropical, com o propósito de detectar com o máximo de certeza sua localização, devido à vulnerabilidade da população quando tal sistema configura-se na atmosfera.

1.1. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho da versão futura do SPCON MB09 (MENDONÇA; BONATTI, 2009) do CPTEC/INPE na previsão a médio prazo de VCANs na região tropical.

Como objetivos específicos, este trabalho procura esclarecer as seguintes questões:

a. Qual é o desempenho do SPCON em relação à detecção do centro de ciclones tropicais de altos níveis?

b. Qual a correspondência entre a distribuição da detecção da previsão e a distribuição do observado para os membros do SPCON na previsão a médio prazo do posicionamento dos centros dos VCANs?

c. Existem indícios de algum horizonte de previsão no qual o SPCON não apresenta mais uma previsão útil?

5

e. Qual das previsões: Determinística versus Previsão por Conjuntos, apresenta melhor desempenho na detecção dos VCANs?

f. Qual das versões do SPCON produz melhor desempenho na detecção dos VCAN: Versão OPER (operacional) ou Versão MB09 (futura)?

1.2. Resumo

No Capítulo 2, é apresentada uma revisão de alguns trabalhos teóricos e observacionais sobre os VCANs, e uma breve história sobre a introdução da previsão por conjuntos nos modelos de previsão do tempo de centros meteorológicos, que servem como base para o estudo desenvolvido. A descrição da metodologia empregada e os dados utilizados são apresentados no Capítulo 3. No Capítulo 4, são avaliadas as métricas utilizadas nesta pesquisa na detecção de VCAN, fundamentada pela metodologia elucidada no capítulo 3, onde são discutidas as análises exploratórias dos dados. A conclusão, as principais informações e recomendações de perspectivas para a continuidade deste trabalho, com o intuito de minimizar o impacto das incertezas nos modelos de previsão do tempo, e gerar cenários futuros mais confiáveis, são apresentadas no Capítulo 5.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma breve fundamentação teórica sobre os VCANs no contexto da meteorologia. Portanto, serão abordados aspectos discutidos em estudos anteriores, bem como trabalhos teóricos e observacionais que servem de base para o estudo desenvolvido, com a finalidade de esclarecer as características, tipos e formação dos VCAN extratropicais e tropicais, com ênfase nos de origem tropical formados no NEB. Cabe ressaltar que nesta revisão bibliográfica não foi encontrado nenhum trabalho cujo objetivo fosse à avaliação de uma previsão por conjuntos tendo como alvo qualquer característica de um VCAN tropical no NEB.

2.1. Definição e primeiros estudos sobre VCANs

Os VCANs conceitualmente são definidos como sistemas de circulação ciclônica, formados na alta troposfera e originados a partir do seu desprendimento do escoamento básico (HSIEH, 1949; PALMÉN, 1949; SIMPSON, 1952, GAN, 1982; BELL; BOSART, 1993). Os VCAN são caracterizados por apresentarem o centro relativamente mais frio do que a periferia, devido às correntes de jatos que transportam massas de ar de latitudes mais altas em direção ao equador (PALMÉN, 1949; SIMPSON, 1952; CARLSON, 1967).

Com relação ao conteúdo de umidade dos VCANs, podem apresentar duas características: secos e úmido (RICKS, 1959; GAN, 1982). Os considerados secos, são os vórtices cujo centro mais frio apresentam uma região com ausência de nuvens, com movimentos ascendentes e, os úmidos, são associados com algum tipo de nebulosidade na sua periferia. A estes movimentos, dar-se-á o nome de circulação termodinâmica direta, por apresentar ar quente subindo e ar frio subsidindo. A esquematização dos movimentos verticais existente nos VCANs é ilustrada na Figura 2.1.



Figura 2.1 - Esquema da seção transversal de um VCAN Fonte: Kousky e Gan (1981)

Palmén (1949) observou que os VCANs localizados entre 30° e 50° N, ficavam confinados na alta troposfera, sua extensão vertical ficava acima de 500 hPa, apresentando pouca nebulosidade e baixa persistência. Seu surgimento ocorria em qualquer época do ano, principalmente no inverno, são conhecidos também como vórtices desprendidos (VDs), por que ao se deslocar de latitudes médias para os trópicos, apresenta uma acentuada inclinação meridional, onde a parte norte do sistema que tem velocidade de deslocamento menor sofre um retardamento até desprender-se (PALMÉN, 1949). Suas características e localização o definem como vórtices subtropicais. No Brasil, este tipo atua nas Regiões Sul e Sudeste.

Palmer (1951) estudando as tempestades sobre as ilhas do Havaí percebeu que a nebulosidade e a precipitação sobre as ilhas poderiam estar associadas às baixas frias em altitudes, sendo que essas tempestades pertenciam ao último estágio de desenvolvimento de circulação ciclônica até 500 hPa. Através desses casos, o autor observou que os vórtices eram intrínsecos aos VCANs de origem tropical, que surgiam em 200 hPa e a extensão vertical alcançava 500 hPa. Sua frequência foi maior observada durante o verão e raramente observada no inverno, deslocando-se para o Nordeste ou Leste-Nordeste entre 20^oS a 30^oS de latitude. Sua denominação teve origem as suas características e localização, e os VCANs assim definidos, como baixas frias de origem tropical. No Brasil, esse tipo atua na região Nordeste.
2.2. VCANs atuantes na América do Sul

Na América do Sul (AS), a existência dos VCANs foi demonstrada através de estudos das características da circulação troposférica. Os primeiros estudos mostraram a presença desses sistemas no Atlântico Sul nas proximidades do NEB. (DEAN,1971; ARAGÃO,1975; VIRJI, 1981). Kousky e Gan (1981) e Gan (1983) utilizaram dados meteorológicos, análises de modelos de previsão de tempo e imagens de satélite para definir diversos aspectos relacionados à origem, formação e deslocamento dos vórtices.

Sobre os mecanismos de formação dos VCANs, vários estudos têm sido desenvolvidos para melhor entendimento desses sistemas (NIETO et. al., 2008; BELL; BOSART, 1993). Kousky e Gan (1981) propuseram um mecanismo dos VCANs para a América do Sul, conhecida por Formação Clássica (ilustrado na Figura 2.2), que é resultante da incursão de Sistemas Frontais (SF) para latitudes mais baixas. Nessas incursões, ocorre uma forte advecção quente, no qual amplifica a crista no nível superior da Alta da Bolívia (AB), por conseguinte intensifica o cavado a jusante, e, portanto, são diretamente responsáveis pela formação do VCAN.

Outros mecanismos também foram observados, tais como, os que estão associados à AB e Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS (RAMÍREZ et. al,1996, 1999). Paixão (1999) notou a influência da circulação Africana, que podem também desempenhar um papel importante na formação dos VCANs.



Figura 2.2 - Sequência esquemática da formação clássica dos VCAN em 200 hPa no Atlântico Sul. Fonte: Kousky e Gan (1981).

Alguns trabalhos sugerem que a instabilidade barotrópica (RAO; BONATTI, 1987) é a principal fonte energética para a formação dos VCANs de origem tropical, além do envolvimento de processos termodinâmicos como a liberação de calor latente de

condensação e a variação diurna da intensidade do anticiclone sobre o continente sul americano.

Ramirez (1996) ilustrou características do padrão de escoamento em 200 hPa associados à formação e deslocamento dos VCANs no NEB, e apresentou uma climatologia dos VCANs nas estações da primavera, verão e outono (1980-1989). Segundo este estudo, foram detectados 173 VCANs, dos quais 85% eram de origem oceânica, enquanto que os 16% formaram-se pela amplificação de cavados provenientes do Hemisfério Norte (HN). A maior frequência ocorreu no período do verão (46%), além de confirmar que a maioria deles originam-se pelo mecanismo proposto por Kousky e Gan (1981).

Satyamurty e Seluchi (2007) analisaram as diferenças entre as características dos VCANs estacionários (tropical) e os migratórios (subtropical). Estes autores observaram que os VCANs que atuam próximo ao NEB, apresentam o comprimento de aproximadamente 1000 km na direção E-W, sendo um pouco mais alongados na direção N-S ou NW-SE. Em relação aos casos subtropicais, sua dimensão horizontal foi mais simétrica, apresentando seu diâmetro tipicamente na ordem de 800 km.

Costa e Gandu (2008) observaram os balanços de vorticidade e energia aplicados aos VCANs atuantes no Oceano Atlântico Tropical Sul e adjacências, observando a distribuição espacial de temperatura e altura geopotencial no nível de 200 hPa. Os seus estudos sugeriram que a manutenção dos vórtices estava associada fortemente a entrada de ar frio no sistema. Sendo que em sua fase inicial a incursão da entrada de ar frio ocorreu preferencialmente pelo setor sul dos VCANs, posteriormente invasões de ar frio foram identificadas também vindas do setor norte/nordeste dos VCANs. E essa incursão de ar frio no centro do sistema manteve uma relação direta com seu tempo de duração, ou seja, os vórtices que apresentaram essa invasão tenderam a durar mais.

2.3. Rastreamento

Por se tratar de um sistema complexo do ponto de vista dinâmico, inúmeras investigações recorrem às pesquisas climatológicas de sistemas meteorológicos, na tentativa de reproduzir a melhor compreensão sobre o seu comportamento. Desta forma, descrever os processos de natureza caótica, embora as simulações dos modelos numéricos sejam aproximadas, é uma peculiaridade da ciência em busca das respostas de determinados fenômenos. No entanto é necessário certo período de tempo, para se ter

uma avaliação representativa do estudo, levando um certo tempo para a execução. Deste modo, houve a necessidade de criar diversos métodos objetivos de análises, e alguns métodos foram desenvolvidos para rastrear a trajetória dos VCANs.

O primeiro método subjetivo para o rastreamento dos VCANs para o Hemisfério Sul (HS) foi realizado por Fuenzalida et. al., (2005) que utilizaram uma climatologia de 1979-1999, baseado no algoritmo proposto por Murray e Simmonds (1991a, b). O rastreamento dos VCANs foi possível, utilizando geopotencial e temperatura do ar em 500 hPa, nos intervalos entre 10°S e 60°S e considerou-se apenas os VCANs que apresentaram tempo de vida superior a 1,5 dias, com a finalidade de identificar características da distribuição de frequência, intensidade, duração e velocidade dos VCANs.

Silva (2005) observou a influência da borda dos VCANs formados no NEB durante o verão de 1994 a 2001, na precipitação em 3 áreas alvo (Noroeste do NEB, Centro do Estado da Bahia e Semi-árido do Nordeste). Seus estudos mostraram que as áreas alvo eram influenciadas pelas atividades convectivas e de subsidência associada aos VCANs e aos Cavado de Altos Níveis (CANs). Esse estudo estatístico mostrou a distância da borda do sistema em relação a uma área alvo, constatou-se, que a partir do centro da baixa as regiões de raio de atuação entre 1000 e 2000 km houve o aumento na frequência de chuvas com intensidade de moderadas a fortes.

Campetella e Possia (2006), através de um estudo estatístico da distribuição espacial, sazonal e duração dos VCANs, entre o período de 1979 a 1988 para AS. Utilizaram dois critérios para a escolha dos eventos dos VCANs: o primeiro foi o uso de um método objetivo para determinar o mínimo de geopotencial em 250 hPa cujo valor fosse inferior a pelo menos 20 mgp em relação aos oito pontos vizinhos. E o segundo foi a uso de um método subjetivo em níveis médios 1000/500 e 500/250 hPa e espessuras, respectivas. Eventos abaixo dos níveis estabelecidos eram descartados. Os resultados desse estudo, evidenciaram que as regiões preferenciais de ocorrência dos VCANs são mais frequentes sobre o Oceano Pacífico, com 44% dos casos, Oceano Atlântico com 30% e 26% sobre o continente, além de salientar o tempo de vida e sazonalidade dos VCANs.

Recentemente, Coutinho (2008) estudou uma climatologia de 28 anos (1976-2006) dos VCANs que atuam no NEB, adaptando o algoritmo desenvolvido por Silva (2005),

baseado no mínimo de vorticidade relativa e na circulação horizontal do vento, ao redor do centro vórtice, para detectar e acompanhar as trajetórias dos VCAN. Seus resultados apresentaram características como distribuição de frequência, duração e intensidade média dos VCANs.

No estudo de Costa (2009), o rastreamento dos VCANs foi feito de forma semelhante durante os verões de 2003 a 2008, e posteriormente, avaliações do balanço de energia e vorticidade permitiram identificar mecanismos associados aos processos de formação e dissipação deste sistema. Segundo o autor, o método objetivo de rastreamento mostrarase eficiente, alcançando um índice de aproveitamento na detecção dos VCANs superior a 60%. Os 40% de erros foram associados ao próprio parâmetro de entrada do algoritmo (raio de alcance entre dois pontos).

Pinheiro (2010) realizou um método de identificação automática dos VCANs para latitudes subtropicais na AS, a partir da utilização do método conhecido como TRACK que foram baseados nos estudos de Hodges (1994, 1995, 1996 e 1999). A análise dos campos de densidade de TRACKS, i. é, a distribuição espacial do número de VCANs, apresentou duas regiões de máxima frequência, uma próxima a costa oeste da AS e outra sobre o Sul do Brasil e Bacia do Prata, além de outros resultados relevantes.

Todavia, até onde se sabe não existem estudos que mostram uma relação quantitativa nas detecções dos VCANs sob o ponto de vista da Previsão por Conjuntos, o qual é o objetivo deste trabalho.

2.4. Técnica de previsão por conjunto

A seguir são descritas uma breve história sobre a introdução da previsão por conjuntos, nos modelos de previsão do tempo, de importantes centros meteorológicos, além de explanar sobre as diferentes formas de gerar perturbações, a partir de diferentes condições iniciais introduzidas no modelo dos principais sistemas de previsão por conjuntos do mundo.

A substituição de previsões operacionais determinística por previsões por conjuntos reflete o reconhecimento da atmosfera como um sistema caótico, como apontado por Lorenz (1963), em seu trabalho *Deterministic non-periodic flow*. Utilizando um modelo atmosférico simples, observou que a introdução arbitrária de pequenas perturbações nas

condições iniciais no estado da atmosfera, estas tornavam-se maiores à medida que se aumentavam os horizontes de previsão, e, portanto, a representação real da atmosfera seria completamente distinta, após cerca de duas a três semanas. Isso se deve ao fato de que o estado físico da atmosfera é um desafio, por que se sabe que os prognósticos são passíveis de erros.

As observações por si só aumentam os erros de previsão e a inclusão dos processos de subgrade, embora se tenha as parametrizações para suavizar tais efeitos, fornecerá erro na determinação das condições iniciais, por que sempre haverá movimentos menores de escalas menores ainda, que não podem ser representados pelos modelos. Além da ausência de medições (dados observacionais) em lugares remotos do globo, a falta de cobertura completa por satélites, impactando, portanto a médio prazo uma evolução da atmosfera diferente do escoamento real (HOLTON, 2004).

Epstein (1969) reconheceu que a atmosfera não poderia ser completamente descrita com uma única execução, e apresentou abordagens teóricas (matemática) para o problema da incerteza da PNT, a partir da produção de médias e variâncias para o estado da atmosfera, mostrando que as leis que regem os movimentos da atmosfera são consideradas como deterministas. Portanto, a previsão determinística utiliza as equações governantes para descrever a evolução futura de um único estado inicial que é considerado como o verdadeiro estado. A ideia é que previsões estocásticas (equações que regem a previsão determinística) pudessem descrever a partir de uma distribuição de probabilidade, a incerteza sobre o estado inicial da atmosfera. Sugerindo então, a realização de previsões estocásticas, por oferecer uma vantagem de lidar com a incerteza nos dados iniciais, e consequentemente seriam capazes de fornecer uma confiabilidade na previsão.

Leith (1974) foi o primeiro a abordar a previsão estocástica de forma prática, utilizando um modelo de turbulência analítica, seus resultados evidenciaram que o método de Monte Carlo representava uma abordagem viável para a previsão por conjuntos, que já havia sido proposta por Epstein (1969). A ideia de utilizar um número limitado de membros ao invés de apenas um convencional (determinística) mostrou a probabilidade da incerteza na previsão, enfatizando ainda mais os benefícios da previsão por conjuntos. Hoffman e Kalnay (1983) utilizaram a previsão média defasada como alternativa para a previsão de Monte Carlo, e descobriram que a previsão média defasada era superior a previsão de Monte Carlo, devido à inclusão de influências dinâmicas que, por conseguinte influenciava nas condições iniciais.

A precisão nas previsões a médio prazo foi então difundida nos centros operacionais de previsão, a técnica de previsão por conjuntos tornou-se uma das ferramentas paralelas de um modelo de previsão, partindo da utilização de perturbações leves nas condições iniciais, com o propósito de aumentar o prazo das previsões e a previsibilidade dos modelos dinâmicos.

2.4.1. Vantagens da utilização da previsão por conjuntos

A previsão por conjuntos tenta estimar o estado futuro da atmosfera. Está técnica é criada através da estimativa do estado atual da atmosfera usando observações, e, em seguida, calcula-se quanto esse estado vai evoluir no tempo usando um modelo de previsão numérica de tempo. Como a atmosfera é um sistema caótico, pequenos erros na condição inicial podem gerar grandes erros na previsão.

A vantagem de utilizar previsões por conjunto, é que o modelo agora não executa apenas uma única previsão, mas uma série de vezes a partir de condições iniciais ligeiramente diferentes. As previsões individuais dentro do conjunto são os membros do conjunto, a média entre os membros é referida como conjunto médio. A projeção do sistema de previsões por conjunto, é realizada de modo que cada membro deve ter a mesma probabilidade de acerto, as diferenças iniciais entre os membros do conjunto são pequenas, e consistente com incertezas nas observações. Mas quando olhamos vários dias à frente das previsões pode ser bem diferente. A Figura 2.3 ilustra uma amostragem da previsão por conjuntos, assumindo que o modelo de previsão é perfeito. Se as condições iniciais forem conhecidas com precisão, e o modelo perfeito, então uma previsão exata poderia, em teoria, ser produzido. No entanto, não é possível saber se as condições iniciais são exatas, e suficientes para gerar uma previsão, que por vezes, pode ser imprecisa. A amostragem da incerteza nas condições iniciais, é executada por vários membros do conjunto para dias a frente, que produzem uma estimativa da incerteza das previsões e uma indicação de possível (ou não) ocorrência de eventos climáticos.



Figura 2.3 - Representação esquemática do conceito de previsão de tempo por conjunto. As linhas com setas representam a evolução da atmosfera à medida que o tempo evolui. A previsão determinística é representada pela linha mais grossa (uma única previsão). Na previsão por conjuntos, são geradas previsões adicionais (demais linhas) para considerar as incertezas nas condições iniciais e dos modelos. Fonte: Wilks (1995).

Os principais objetivos da Previsão por conjuntos:

- Desenvolver sistemas de previsão por conjunto, melhorar a representação de incertezas em ambos: condições iniciais e os modelos de previsão;
- Desenvolver diversos produtos de previsão probabilística, especialmente para melhorar as previsões de risco de eventos climáticos de grande impacto;
- Auxiliar pessoas na utilização de informações da incerteza para gerar os riscos relacionados com o tempo de forma eficiente;
- Desenvolver novos esquemas "físicos" estocásticos (parametrizações), a fim de obter uma melhor representação de como pequenos erros nos modelos numéricos afetam incertezas nas previsões.

2.5. Métodos de previsão por conjuntos

2.5.1. Singular vector

Este método foi proposto pela primeira vez para a previsão do tempo no European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) (FARRELL 1989; MUREAU et. al., 1992; PALMER et. al., 1994; MOLTENI et. al., 1996). Este método é baseado na ideia de que o crescimento dos erros é aproximadamente linear, utiliza uma versão linearizada do modelo, juntamente com o seu adjunto, para obter os modos de crescimento rápido, a partir da solução de um problema de autovalor.

2.5.2. Breeding of growing modes (método breeding)

Toth e Kalnay (1993) propôs um método chamado de reprodução dos vetores (vetores de Lyapunov), que representam o crescimento da instabilidade do fluxo, onde as perturbações não-lineares crescem mais rápido na trajetória percorrida pela atmosfera.

Os membros perturbados são integrados por 24 – 48h. Este procedimento consiste em: i) adiciona-se uma pequena perturbação, aleatória para a análise atmosférica (estado inicial) em um determinado tempo; ii) integra-se o modelo de ambas as condições, perturbadas e não perturbadas iniciais para um curto período; iii) subtrai uma previsão da outra; e iv) faz-se a diferença entre os membros e o controle. Esta nova perturbação é agora adicionada para a análise correspondente a seguir, e o processo então é repetido. Nota-se que uma vez que a perturbação inicial é introduzida no modelo o desenvolvimento do campo de perturbação é determinado de forma dinâmica pelo fluxo atmosférico evoluído.

Após alguns dias de integração a diferença entre as simulações perturbadas e o controle é estabilizada e, portanto, esta diferença é utilizada nos membros do conjunto. Por fim, cada perturbação é reescalonada e adicionada (subtraída) da análise de controle para criar o conjunto de condições iniciais perturbadas para gerar previsão por conjuntos futuras.

Este método é utilizado pelo National Centers of Environmental Prediction (NCEP), United States Navy (US NAVY), Índia, África do Sul e Japão.

2.5.3. Funções Ortogonais Empíricas - EOF

Desenvolvido por Zhang e Krishnamurti (1999) para simulações de furacões em regiões tropicais, o método consiste em gerar perturbações nas condições iniciais baseado na análise de componentes principais. O modo mais instável é obtido a partir do autovetor cujos coeficientes se amplificam com o tempo, neste caso o maior autovalor. O método foi utilizado com o modelo MCGA da Universidade do estado da Flórida (FSU, em inglês), nos Estados Unidos e recentemente aplicado ao modelo global COLA/CPTEC (MENDONÇA, 2008). Este método EOF, foi desenvolvido devido ao fato que, durante as primeiras 36 horas de integração do modelo, as perturbações crescem de forma aproximadamente linear. Uma análise de componentes principais (EOF) é aplicada à série temporal formada pelos sucessivos campos de diferenças entre previsões geradas a partir da análise tradicional e da análise com perturbações randômicas, com a finalidade de encontrar as perturbações ótimas (de crescimento mais rápido). O autovetor associado ao maior autovalor é considerado como a perturbação mais instável.

O objetivo é obter direções que explicam a máxima quantidade de variância no qual as previsões perturbadas aleatoriamente divergem (linearmente) das previsões de controle (MENDONÇA, 2008).

2.6. Previsão por conjuntos no CPTEC

A previsão por conjuntos do CPTEC teve seu início nos trabalhos de Coutinho (1999), e graças a esses estudos que o SPCON foi implementado, operacionalmente, no CPTEC em outubro de 2001. Foi utilizada a metodologia de Zhang e Krishnamurti (1999), para geração de perturbações apropriadas para a região tropical e com uma análise de componentes principais identificando as perturbações de crescimento rápido. Os seus resultados mostraram que a aplicação da técnica de previsão por conjunto no modelo MCGA - CPTEC/INPE seria uma ferramenta importante no tocante da previsão de médio prazo para diversas regiões do globo e especialmente a AS.

Zhang e Krishnamurti (1999) propuseram um método de geração de perturbações iniciais, denominado *EOF-based perturbation*, para a utilização em domínio tropical, aplicando-o ao estudo da previsão por conjuntos de trajetórias de furacões (maiores detalhes podem ser encontrados no capítulo 3). Baseado no fato de que durante as primeiras horas de integração do modelo (chamado intervalo ótimo), a perturbação

cresce linearmente. A integração é realizada por 36 horas com saídas a cada 3 horas, para cada membro e a previsão de controle. A análise de EOF é aplicada para cada série temporal para se obter as perturbações de crescimento rápido.

Mendonça e Bonatti (2006) avaliaram o impacto dos modos de perturbação extratropicais do SPCON/CPTEC, usando a altura geopotencial em 500 hPa sobre o Hemisfério Sul (HS), HN e trópicos, e avaliando 2 métodos de perturbação: EOF e Breeding of Growing modes. Os resultados dos experimentos sugeriram que para uma boa estratégia na produção de perturbações globais seria a utilização do método-breeding em latitudes médias e o método-EOF nos trópicos.

Cardoso et. al., (2006) mostraram que um aumento na acurácia da previsão de tempo por conjuntos do MCGA/CPTEC, usando a versão OPER, através do viés, pode ser obtido ao se aplicar correções estatísticas para remover o erro sistemático do modelo, confirmando a importância da correção estatística na redução dos erros das previsões.

Silva et. al., (2008) apresentaram uma metodologia desenvolvida para determinar as temperaturas mínimas e máximas à superfície, a partir de informações do histórico do ponto de grade das previsões por conjunto do SPCON/CPTEC, seus resultados indicaram que o MCGA/CPTEC apresenta temperaturas mínimas (máximas) sistematicamente mais altas (baixas) dos que as observadas.

O desempenho do SPCON/CPTEC foi estudado por Mendonça e Bonatti (2009). Os autores aplicaram o método de perturbação baseado em EOF para quatro novas regiõesalvo, e duas novas variáveis foram introduzidas no experimento, que são a pressão à superfície e a umidade específica. No método em uso operacional as variáveis perturbadas são vento zonal e meridional e temperatura. Seus resultados mostraram melhoria no desempenho do SPCON do CPTEC/INPE.

Machado et. al., (2010) verificaram o impacto da utilização de previsões defasadas no sistema de previsão de tempo por conjunto do CPTEC/INPE, utilizando altura geopotencial em 500 hPa, temperatura do ar no nível de 850 hPa, e pressão atmosférica ao nível médio do mar (PNMM), seus resultados mostraram que a inclusão de previsões defasadas, como membros do conjunto, contribui para manter e/ou aumentar o desempenho das previsões por conjunto em todas as regiões avaliadas, HN, HS e Trópicos.

Recentemente, Cunningham et. al., (2013) avaliaram as versões do SPCON-MB09 e SPCON OPER CPTEC/INPE, a partir da remoção de viés e os compararam com o SPCON-NCEP e o SPCON da Agência Meteorológica Coreana (KMA). Os resultados demonstraram que o SPCON-MB09 apresentou desempenho superior ao SPCON-OPER. Além de evidenciar que o SPCON-NCEP apresenta o melhor desempenho, com relação ao limite de previsão útil, que foi de 12 dias, seguido do SPCON-MB09BC com uma previsão útil de 9-10 dias. Os SPCON-MB09 e KMA apresentaram um limite de 8 e 6-7 dias, respectivamente. O pior desempenho foi observado pelo SPCON-OPER, com um prazo de previsão de 5-6 dias.

Barreto e Cunningham (2014) avaliaram o desempenho do SPCON-MB09 do CPTEC/INPE na detecção de um evento de VCAN (04 à 12/01/2009). O uso de um score denominado de índice de probabilidade de detecção (PD) mostrou um bom desempenho do SPCON-MB09 na previsão do centro do VCAN, Além de evidenciar um limite de previsão útil de seis dias (144 horas).

A Figura 2.4 ilustra o diagrama esquemático do sistema de previsão de tempo global por conjuntos do CPTEC.



Figura 2.4 - Diagrama Esquemático da previsão por conjuntos do CPTEC. Fonte: Mendonça (2008).

3. DADOS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os dados e a metodologia utilizada nesta pesquisa. Será feita uma abordagem geral sobre o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) e SPCON Operacional (OPER) e versão avaliada (MB09) do CPTEC/INPE, e como são geradas as condições iniciais perturbadas. Apresenta-se também o procedimento para calcular a detecção objetiva e semiautomática do centro de VCAN.

3.1. Descrição das condições iniciais

O SPCON do CPTEC realiza duas previsões diariamente, as 00:00 e 12:00 UTC. Cada um dos conjuntos possui atualmente 15 membros, sendo 14 membros gerados a partir de condições iniciais perturbadas e 1 membro a partir da condição inicial (controle). O horizonte máximo destas previsões é 360 horas (15 dias).

As condições iniciais de controle (sem perturbação) usadas neste trabalho são as análises espectrais diárias do horário de 00:00 UTC do NCEP (National Centers of Environmental Prediction), disponíveis no acervo de dados do CPTEC/INPE.

O SPCON avaliado neste trabalho foi desenvolvido e adaptado para o MCGA do CPTEC/INPE em 1999 e colocado em operação em outubro de 2001. O SPCON utiliza o MCGA, com resolução T126L28. T126 representa o truncamento espectral horizontal, i. é, truncamento triangular no número de onda zonal igual a 126, o que equivale a uma resolução aproximada de 100x100 km próximo à linha do equador. Verticalmente a atmosfera foi discretizada em 28 camadas (sigma), que é representado pelo L28.

Esse modelo resolve, através do método espectral numérico, as equações primitivas da dinâmica atmosférica na forma de divergência e vorticidade, temperatura virtual, logaritmos de umidade específica e pressão de superfície e inclusão de processos de subgrade através de parametrizações. Detalhes do modelo podem ser obtidos em Kinter et. al., (1997), Cavalcanti et. al., (2002) e Panetta et. al., (2007).

3.2. Processos Físicos do MCGA do CPTEC/INPE

Processos úmidos:

• Convecção profunda (Esquema de Kuo (KUO, 1965, modificado por ANTHES, 1977 e em NMC, 1988); Esquema RAS (MOORTHI ; SUAREZ, 1992));

• Convecção rasa (TIEDTKE, 1983);

• Condensação de grande escala (NMC, 1988).

Demais processos:

- Modelo biológico simplificado sobre os continentes (sSIB; XUE et. al., 1991);
- Esquema aerodinâmico tipo bulk sobre os oceanos (SATO et. al., 1989);
- Camada limite planetária (MELLOR; YAMADA, 1982);
- Fluxos radiativos (onda curta (LACIS; HANSEN, 1974; modificada por DAVIES, 1982) e onda longa (HARSHVARDHAN et. al., 1987).

3.3. O Método EOF-Based Perturbation Operacional do CPTEC/INPE

O procedimento utilizado pela versão MB09 no CPTEC/INPE para gerar as condições iniciais atmosféricas perturbadas é baseado no método desenvolvido por Zhang e Krishnamurti 1999 e proposto originalmente para previsão de furacões usando o MCGA da Florida State University (FSU), nos Estados Unidos. O método, denominado EOF-based perturbation, foi desenvolvido considerando-se que durante os primeiros dias de integração do modelo, as perturbações crescem quase linearmente.

A seguir estão listadas as etapas do processo da versão operacional da geração das condições iniciais perturbadas do SPCON do CPTEC/INPE:

- a. Sete pequenas perturbações randômicas são adicionadas para os campos de temperatura (T), componente horizontal do vento (U e V) da análise de controle;
- b. As análises perturbadas resultantes e a análise de controle são usadas para integrar o modelo por 36 horas, resultando, portanto, em 8 integrações (7 partindo de análises perturbadas e 1 de análise não perturbada);

- c. Sete séries temporais, com incrementos a cada 3 horas, são construídas pela subtração da previsão de controle da previsão perturbada;
- d. Uma análise EOF é realizada para cada uma das sete séries temporais em um domínio tropical definido sul-norte como 45°S e 30°N, e oeste-leste como 000° a 360° W; a fim de obter as perturbações de crescimento rápido (consideradas como os autovetores associados aos maiores autovalores);
- e. A análise EOF determina os autovetores cujos coeficientes temporais aumentam rapidamente com o tempo, estes autovetores são considerados as perturbações EOF.
- f. Estas perturbações são reescalonadas para que seus desvios padrões sejam da mesma ordem de grandeza (observada) das perturbações iniciais;
- g. Adicionando e subtraindo estas perturbações reescalonadas na análise não perturbada se produzem os 14 estados iniciais perturbados;
- h. As 14 condições iniciais perturbadas são integradas no tempo com um horizonte de previsão de 360 horas (15 dias);
- i. A análise de controle também é integrada no tempo com um horizonte de previsão de 360 horas (15 dias), produzindo então a integração do controle (doravante denominada CTRL).

Como resultado final, o CPTEC/INPE produz um conjunto de previsões compostas pelas 14 previsões perturbadas mais a previsão de controle, totalizando então 15 membros. Doravante, este método será referido como OPER, e o SPCON que o utiliza será citado como SPCON-OPER.

A determinação das perturbações de crescimento rápido citado no item d) consiste em obter as direções que explicam a máxima quantidade de variância na qual as previsões perturbadas randomicamente divergem das previsões do CTRL, em um período de otimização e em um sentido linear. A análise de EOF é útil para este propósito. Esta análise é baseada na solução de um problema de autovalor da matriz de covariância obtida a partir das séries de diferenças temporais descritas no item c).

Considerando os n pontos sobre um domínio especificado, uma matriz de dados X, é construída:

Em que, m é o número de saídas do modelo durante o período de 6 a 36 horas com intervalo de 3 horas (m=11).

A matriz de covariância *Xm x n* é definida como:

$$C = \left(\frac{1}{M}\right) X^T X \tag{3.2}$$

Em que o sobrescrito T representa a matriz transposta. C é simétrica e tem M autovalores reais λ i, não nulos, e e_i autovetores ortonormais.

Os autovetores são obtidos a partir da seguinte decomposição:

$$CE=E\Lambda$$
 3.3

Em que, E é a matriz com os autovetores \boldsymbol{e}_i como suas colunas, e Λ é a matriz com os autovalores λ i ao longo de sua diagonal e zeros nas demais posições.

Os autovalores de *C* são ordenados de maneira crescente obtendo uma ordem respectiva nos autovetores associados (ordem decrescente de variância explicada por cada autovetor).

A matriz de dados X pode ser expandida em relação à base de autovetores e_i como:

A matriz Z contém os coeficientes para diferentes autovetores em diferentes tempos. Z é chamada matriz de componentes principais. Os modos de crescimento rápido podem ser selecionados através da evolução temporal dos coeficientes dos autovetores.

Para as séries temporais de diferenças dos campos de vento, o procedimento é análogo, mas suas componentes (zonal δu e meridional δv) são usadas para compor um número complexo δu + i δv , de acordo com a metodologia descrita em Legler (1983). Assim, para avaliar a matriz C, a matriz complexa conjugada transposta X^* da matriz X é considerada a fim de obter:

$$C = \left(\frac{1}{M}\right) X * X \tag{3.5}$$

Em que, C é simétrica e é composta de elementos complexos, exceto na diagonal, que são reais. Por definição, C é uma matriz Hermitiana com autovalores reais e autovetores ortogonais.

No procedimento de reescalonamento das perturbações no item f; cada campo perturbado é reescalonado para um valor pré-especificado, em termos do desvio padrão no domínio, ou seja, suponha que o desvio padrão original das perturbações EOF seja σ i e o desvio padrão pré-especificado seja σ f, então todos os pontos de grade daquela região são multiplicados pelo fator (σ f/ σ i) tal que as perturbações adquiram a amplitude desejada. É importante notar que esta operação não muda a estrutura das perturbações uma vez que ela ajusta apenas a sua intensidade.

A seguir um diagrama representativo do método de perturbação EOF para previsão de tempo por conjunto é ilustrado na Figura 3.1:



Figura 3.1 - Diagrama Esquemático do Método de Perturbação da Condição Inicial utilizando EOF, e a realização da Previsão por Conjuntos no CPTEC/INPE (a direita da figura). CI - Condição Inicial, PO – Perturbação Ótima. Fonte: Mendonça (2008).

3.4. Versão avaliada no estudo (MB09)

A versão utilizada neste trabalho segue uma metodologia proposta por Mendonça e Bonatti (2009), denominada de MB09. Estes autores propuseram modificações no método detalhado em 3.3. As três principais mudanças foram: I) aplicar o método EOF para perturbar adicionalmente as latitudes médias, II) aplicar perturbações adicionais para os campos de Pressão de superfície (Ps) e Umidade específica (q), e III) computar perturbações regionais sobre a América do Sul. Segundo os autores, essas modificações apresentaram um efeito positivo no desempenho do SPCON do CPTEC/INPE.

Primeiramente, perturbações EOF regionais sobre a AS foram calculadas, considerando as diferenças entre os setores tropical e extratropical da AS, quanto a atuação de sistemas sinóticos e, portanto, diferentes mecanismos de desenvolvimento. Duas áreas diferentes, porém, aproximadamente homogêneas quanto à influência de sistemas meteorológicos são consideradas: um setor com regime tropical e fortemente influenciado pela atuação de sistemas convectivos (norte da AS: 100°W e 010°W; 20°S

e 20°N) e uma região bastante influenciada pela atuação de sistemas baroclínicos (sul da AS: 110°W e 020°W; 60°S e 20°S).

A tendência linear e a taxa de crescimento foram medidas através do coeficiente angular da reta ajustada à série temporal dos coeficientes através do método dos mínimos quadrados. O modo selecionado será aquele cujos coeficientes apresentar maior taxa de crescimento no período de otimização (36 horas) (MENDONÇA, 2008).

Em relação aos campos perturbados nesta versão, ao invés de operar sobre os campos de T, U e V, as perturbações e o reescalonamento foram calculados utilizando-se também Ps e q. No processo de reescalonamento das perturbações, foi utilizado um desvio padrão global (horizontal e vertical) pré-especificado, semelhante aquele utilizado no método EOF, ao invés do reescalonamento regional de acordo com as incertezas climatológicas das análises e da energia das perturbações descrita em Toth e Kalnay (1997). Os valores pré-especificados dos desvios padrões globais das perturbações, são semelhantes àqueles utilizados no método EOF para os campos de ps (1 hPa) e q, porém valores ligeiramente menores são utilizados para temperatura (0.7 K) e para as componentes zonal e meridional do vento (1.5 m s⁻¹). Para a q, o reescalonamento global é realizado separadamente para cada nível vertical, usando como referência os valores dos desvios padrões apresentados em Derber e Bouttier (1999) para o sistema de assimilação de dados global do ECMWF. Estes valores foram interpolados linearmente para cada nível sigma do MCGA do CPTEC.

Foram considerados seis subregiões para o cálculo das perturbações EOF:

- Hemisfério Norte: 000°-360°W; 20°N-90°N;
- Hemisfério Sul: 000°-360°W; 20°S-90°S;
- Trópicos: 000°-360°W; 20°S-20°N;
- Trópicos Estendidos: 000°-360°W; 45°S-30°N;
- Norte da América do Sul: 100°W-010°W; 20°S-20°N;
- Sul da América do Sul: 110°W-20°W; 60°S-20°S.

Doravante, esta versão será referida como MB2009, e o SPCON que utiliza este método será citado como SPCON-MB2009.

3.5. Área de estudo

O período analisado foram os meses de dezembro, janeiro e Fevereiro (DJF), período de maior ocorrência dos VCAN no Atlântico Tropical, especificamente os verões de 2009, 2010 e 2011. A escolha da área de estudo está associada à atuação dos VCANs, formados sobre o NEB e Oceano Atlântico Tropical. A área de estudo compreende os intervalos entre 10° N e 20° S, e 010° E e 060° W, ilustrado na Figura 3.2. Segundo Gan (1983), a formação da maioria dos vórtices tropicais, ocorre na área que abrange a costa do NEB e Oceano Atlântico Sul adjacente, que compreende a faixa latitudinal de 00° a 20°S.

O propósito principal da determinação dos limites de latitude inferior e superior da área de estudo, é selecionar especialmente os VCANs que atuaram em regiões tropicais, procurando evitar parcialmente a identificação daqueles com características subtropicais, cujos processo de formação e deslocamento podem ser distintos.



Figura 3.2 - Representação da área de estudo (VCANs), ilustrada pelo quadrado em vermelho, que compreende os intervalos de 10°N e 20°S e 010°E e 060°W, Latitude e Longitude, respectivamente.

3.6. Descrição dos eventos

A seleção dos eventos de VCAN avaliados neste estudo foi feita dos registros da Revista Climanálise, disponível no CPTEC/INPE (www.climanalise.cptec.inpe.br), e imagens dos satélites GOES-8, 10 e 12 no canal infravermelho (IR), para melhor visualização. Os VCANs foram selecionados considerando-se os meses de verão, no período entre os anos de 2009 e 2011 (três anos). Estes anos correspondem ao único período para o qual se tem previsões retrospectivas da versão mais moderna do SPCON do CPTEC (SPCON MB09; descrito em 3.4).

Neste trabalho serão apresentados eventos com duração superior a 5 dias e inferior a 31 dias. O tempo de vida dos VCANs estudados foi em média de aproximadamente 14 dias. Segundo o estudo de Coutinho (2008), de 886 VCANs estudados na região Tropical Sul entre os anos de 1979 a 2006, 38 casos (minoria) perduraram mais do que 11 dias, enquanto que a maioria obteve frequência de 4 dias. Ramirez (1996) encontrou tempo de vida médio de VCAN igual a 7,1 dias, podendo ser maior durante o verão. No entanto, seus estudos abrangeram um intervalo maior entre 140°W e 7,5°E e 40°S e 20°N, uma climatologia para todo o Brasil.

Com a utilização do boletim Climanálise, foi feito um levantamento do número de VCAN que atuaram sobre o Brasil, entre os meses de DJF no período de 2009 a 2011, como observado na Tabela 3.1. O realce em amarelo representa os eventos estudados nesta pesquisa de acordo com a duração de dias do evento.

A frequência dos eventos de VCANs para o verão de 2009 foi em média de 8,6 eventos por mês, sendo, portanto, desconsiderado o mês de dezembro, já que este não estava contido dentro dos anos de dados das previsões retrospectivas da versão MB09. Para o verão de 2010 a média de eventos foi de 5,0 eventos por mês e para o verão de 2011 a média foi de 7,3 eventos por mês.

DURAÇÃO DE DIAS DE VCANs										
DEZ/08	JAN/09	FEV/09	DEZ/09	JAN/10	FEV/10	DEZ/10	JAN/11	FEV/11		
01	02	06	14	31	11	03	03	24		
01	09	04	01	02	21	01	01	02		
03	01	01	05	01	03	12	04	01		
01	02	02	05	03	02	02	05	01		
11	08	11	03	-	05	04	01	01		
02	01	01	-	-	02	-	12	05		
05	02	02	-	-	-	-	12	01		
03	01	08	-	-	-	-	01	01		
-	01	01	-	-	-	-	01	-		
8,6 eventos			5 eventos			7,3 eventos				
Média dos VCANs para cada estação										

Tabela 3.1 – Número de eventos de VCANs ocorridos nos meses de DJF e duração (em dias) nos anos estudados (2009 a 2011). O realce em amarelo representa os eventos escolhidos para a pesquisa totalizando 8 eventos.

A escolha de apenas um evento por mês foi feito de forma representativa dos meses (DJF), e que estivessem incluídos dentro do intervalo de estudo. Doravante, os eventos serão referidos como VC, seguidos por uma numeração de acordo com a cronologia dos anos estudados. Conforme ilustrado na tabela 3.2:

Tabela 3.2 - Ilustração dos episódios de VCANs selecionados para o estudo 2009, 2010 e 2011(DJF) e duração (dias).

ANOS	VCAN	INÍCIO	FIM	DURAÇÃO
2009	VC-01	04/01/2009	12/01/2009	9 dias
	VC-02	01/02/2009	06/02/2009	6 dias
	VC-03	01/12/2009	14/12/2009	14 dias
	VC-04	01/01/2010	31/01/2010	31 dias
2010	VC-05	08/02/2010	28/02/2010	21 dias
	VC-06	10/12/2010	21/12/2010	12 dias
2011	VC-07	13/01/2011	24/01/2011	12 dias
2011	VC-08	24/02/2011	28/02/2010	5 dias

3.6.1. Descrição sinótica mensal no período simulado

Nesta etapa foram utilizados os Boletins de Informações Climáticas (Infoclima), disponível em (<u>http://infoclima1.cptec.inpe.br/</u>), carta de altitude disponível em (<u>http://tempo.cptec.inpe.br/</u>) e imagens de satélite disponível em <u>http://satelite.cptec.inpe.br/</u>) a fim de informar a atuação dos VCANs na atmosfera superior, para subsidiar o estudo, como mostrado no painel de Figuras 3.3.



Figura 3.3 – Painel de Figuras que ilustram a atuação dos VCANs a partir de: Imagens de satélite no Canal IR (00:00 UTC), Carta de Altitude (200 hPa) (00:00 UTC), para os dias 06/01/2009, 06/02/2009, 08/12/2009, 07/01/2010, 17/02/2010, 17/12/2010, 14/01/2011 e 25/02/2011, e Boletins da Climanálise Mensal do posicionamento dos centros dos VCANs (DJF – 2009/2010 e 2011), respectivamente. (Continua)





Figura 3.3 – Continua.



Figura 3.3 – Continua.





Figura 3.3 – Conclusão.

VC-01: JANEIRO 2009 - 04 a 12/01/2009

Os VCANs foram notados em nove episódios no decorrer de janeiro de 2009 (Figura 3.3c), e juntos eles tiveram duração total de 27 dias. Um vórtice ciclônico que ocorreu em janeiro de 2009 sobre o NEB foi selecionado, indicado na Figura 3.3c que ocorreu entre os dias 04 a 12/01/2009. Este VCAN moveu-se no sentido leste-oeste iniciando-se no oceano atlântico e adentrando o continente.

Na análise da carta sinótica de altitude (250 hPa) de 00Z do dia 06/01/2009 (Figura 3.3b), foi observado a AB com o centro sobre o norte da Bolívia, que influenciou parte da Região Norte, tal como Acre, Roraima e Amapá. Um VCAN também foi notado, com o seu centro em torno de 08°S/030°W. O posicionamento deste VCAN intensificou a formação de áreas de instabilidade no sul do Maranhão, Piauí, nos setores oeste e sul da Bahia, no nordeste de Minas Gerais (Fig. 3.3a)

De modo geral, os VCANs que posicionaram no NEB, ora inibiu ora favoreceu a ocorrência de chuvas, o que explica a irregular anomalia de precipitação para o mês de janeiro para a região.

VC-02: FEVEREIRO 2009 - 01 a 06/02/2009

Os VCANs atuaram em nove episódios no decorrer do mês de fevereiro de 2009 (Figura 3.3f), e juntos eles tiveram duração total de 36 dias. Um vórtice ciclônico que ocorreu em fevereiro de 2009 sobre o NEB foi selecionado, indicado na Figura 3.3f, que ocorreu entre os dias 01 a 06/02/2009. Este VCAN moveu-se no sentido leste-oeste iniciando-se no oceano atlântico até próximo à costa do NEB.

Na análise da carta sinótica de altitude (250 hPa) de 00Z do dia 06/02/2009 (Figura 3.3e), observou-se a presença da AB centrada no sul da Bolívia, em torno de 20°S/064°W. E um VCAN centrado em 09S/43W, sobre o centro-oeste do PI. A associação do fluxo destes dois sistemas (AB e VCAN) geraram forte difluência sobre os estados do Amapá e Pará e isso associado a alta umidade, manteve as pancadas de chuva forte nestas áreas (Figura 33d).

Sobre o NEB, os VCANs foram importantes para a ocorrência de chuvas acima da média histórica, principalmente entre o leste dos Estados do Rio Grande do Norte e

Alagoas. Por outro lado, este mesmo sistema atuou de forma desfavorável no interior do Nordeste, onde predominaram totais pluviométricos mensais abaixo da média.

VC-03: DEZEMBRO 2009 - 01 a 14/12/2009

Cinco episódios de VCAN ocorreram no decorrer do mês de dezembro 2009 (Figura 3.3i). O primeiro episódio foi a continuação do episódio que teve início em 26 de novembro e persistiu até o dia 14 do mês de dezembro. Para esta análise foi selecionado o caso mencionado que ocorreu entre os dias 01 a 14/12/2009 (Figura 3.3i), em que se considerou apenas o mês de dezembro. Entre os dias 01 a 06 a trajetória do VCAN foi observada no sentido sul-norte, e posteriormente moveu-se no sentido leste-oeste. O centro do VCAN em média posicionou-se entre as latitudes 05°S e 15°S, deslocando-se desde o oceano atlântico até o interior do NEB.

Na análise da carta sinótica de altitude (250 hPa) de 00Z do dia 08/12/2009 (Figura 3.3h), foi observado a presença da AB ligeiramente enfraquecida e centrada em torno de 14°S/060°W, sobre o oeste do Mato Grosso. Notou-se também a presença do VCAN que posicionou-se sobre o Atlântico em torno de 06°S/030°W. Este VCAN estendeu um cavado pelo Atlântico em direção ao norte da Colômbia. A circulação associada a estes sistemas (VCAN e AB) resultou em divergência sobre grande parte do Norte e Sudeste do Brasil, além do oeste dos estados da Bahia, Maranhão e Piauí. Esta divergência é o resultado da difluência nos campos dos ventos em altitude. Esse padrão sinótico provocou convecção nas camadas mais baixa da troposfera, que resultou em forte instabilidade e nebulosidade sobre áreas mencionadas (Figura 3.3g).

De modo geral, o posicionamento dos VCANs contribuiu também para o excesso de chuvas no leste do NEB.

VC-04: JANEIRO 2010 - 01 a 31/01/2010

Os VCAN ocorreram em quatro episódios durante todo o mês de janeiro de 2010 (Figura 3.3m). O primeiro episódio ocorreu na região tropical, configurando-se em 29 de dezembro de 2009 e persistindo até o final de janeiro de 2010. Os demais episódios ocorreram na segunda quinzena, na região extratropical, e, de modo geral, estiveram associados à intensificação da corrente de jato em altos níveis. Para esta análise foi

selecionado o único episódio que ocorreu na região tropical, que permaneceu estacionário durante 31 dias (01 a 31/01/2010) (Figura 3.3m).

Na análise de altitude (250 hPa) de 00Z do dia 07/01/2010 (Figura 3.31), observou-se o posicionamento da AB entre o Paraguai e o sudoeste do Mato Grosso do Sul (22°S/058°W), e a circulação associada a esse sistema notou-se a presença do VCAN, cujo centro esteve posicionado em torno de 09°S/033°W. A combinação do fluxo desses dois sistemas (AB e VCAN) geraram forte difluência sobre a Região Norte e noroeste do NEB (Figura 3.3j).

Ressalta-se que o posicionamento dos VCANs, contribuiu também para o excesso de chuvas no leste do NEB no início de janeiro de 2010. Por outro lado, o norte do NEB sofreu com a falta de chuvas, em particular as localidades situadas entre o nordeste do Pará e o norte do Ceará, assim como o centro-leste da Bahia.

VC-05: FEVEREIRO 2010 - 08 a 28/02/2010

As configurações dos VCANs ocorreram em seis episódios no decorrer do mês de fevereiro de 2010 (Figura 3.3p). O segundo episódio configurou-se no período de 08 a 28 sobre o Atlântico, a leste de 020°W, e este foi o evento selecionado para o estudo (Figura 3.3p) que teve duração de 20 dias (estacionário). Os demais VCAN atuaram com núcleo no Pacifico Sul, próximo à costa sul do Chile e sobre o AS, próximo ao sul da Argentina.

Na análise da carta sinótica de altitude (250 hPa) de 00Z do dia 17/02/2010 (Figura 3.30), notou-se a presença de um VCAN centrado em torno de 15°S/038°W, próximo ao litoral sul da Bahia. Associado a este sistema, observou-se a AB centrada em aproximadamente 18°S/068°W. A partir destes dois sistemas, notou-se um padrão difluente a norte de 20°S, favorecendo a atividade convectiva no norte do NEB (Figura 3.3n).

Os VCANs causaram chuvas mais acentuadas sobre o NEB. Uma característica dos vórtices no mês de fevereiro, é que os seus centros estiveram deslocados para o sul em comparação com o mês de janeiro. O deslocamento para sul dos VCANs, resultaram em anomalias negativas de precipitação sobre grande parte do NEB.

VC-06: DEZEMBRO 2010 - 10 a 21/12/2010

Os VCANs foram observados próximos e sobre o NEB durante quase todo o mês de dezembro de 2010 (Figura 3.3s), totalizando em cinco episódios. Os episódios que se formaram no início da primeira quinzena posicionaram-se sobre o Atlântico e um pouco mais ao norte, alternando-se com a configuração de cavados em altos níveis. O evento selecionado deste mês no estudo foi aquele que ocorreu entre os dias 10 a 21/12/2010, que permaneceu na atmosfera por 12 dias, como pode ser visto na Figura 3.3s.

Na análise da carta sinótica de altitude (250 hPa) de 00Z do dia 17/12/2010 (Figura 3.3r), o padrão atmosférico mostrou um VCAN que esteve centrado no nordeste da BA e a circulação anticiclônica centrada no sul da Bolívia. Entre esses dois sistemas notouse o escoamento bastante difluente, gerando divergência em altitude, sobre os estados de Tocantins, parte do Maranhão, Piauí, Pará e Amapá. Este padrão associado a termodinâmica favoreceu a atividade convectiva em baixos níveis nessas áreas, como pode ser visto na imagem de satélite na Figura 3.3q.

De modo geral os VCANs no mês de dezembro de 2010, posicionaram-se mais ao sul, aumentando a atividade convectiva sobre todo o norte da Região Nordeste e inibindo a convecção principalmente no centro-sul e leste da Bahia e nos Estados de Sergipe e Alagoas. Nestas áreas, os totais mensais de precipitação ocorreram abaixo da média histórica para o mês de dezembro.

VC-07: JANEIRO 2011 - 13 a 24/01/2011

Os VCANs atuaram durante todo o mês de janeiro sobre o Leste da AS e oceano adjacente (Figura 3.3v), totalizando em nove episódios. Para esta análise foi escolhido o VCAN que se configurou entre os dias 13 a 24/01/2011, com duração de 12 dias (Figura 3.3v).

Na análise da carta sinótica de altitude (250 hPa) de 00Z do dia 14/01/2011 (Figura 3.3u), notou-se a AB, centrada em torno de 20°S/079°W. Observou-se um VCAN centrado em torno de 08°S/31°W, e na interface entre os sistemas VCAN e AB observou-se um escoamento difluente. Este escoamento difluente, assim como a AB provocaram a divergência de massa, que por sua vez induziu a convergência em baixos níveis e muita nebulosidade (Figura 3.3t)

39

Durante a primeira quinzena do mês de janeiro de 2011, os VCANs atuaram mais ao norte, inibindo a ocorrência de chuvas mais generalizadas no norte do NEB. Durante a segunda quinzena, os VCAN deslocaram-se para o interior do continente e posicionaram-se mais ao sul, favorecendo o aumento da convecção no norte do NEB. Estes sistemas contribuíram para as chuvas acima da média histórica principalmente nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e oeste da Paraíba.

VC-08: FEVEREIRO 2011 - 24 a 28/02/2011

Os VCAN atuaram preferencialmente sobre as Regiões NEB e Sudeste do Brasil e áreas oceânicas adjacentes no decorrer deste mês de fevereiro de 2011(Figura 3.3w), totalizando em oito episódios. O evento selecionado para esta análise foi o VCAN que ocorreu entre os dias 24 a 28/02/2011, que teve 5 dias de duração como pode ser visualizado na Figura 3.3w.

Na análise da carta sinótica de altitude (250 hPa) de 00Z do dia 25/02/2011(Figura 3.3z), observou-se um amplo anticiclone, com centro sobre o sul do estado de Goiás e sudoeste de Mato Grosso, foi observado também a atuação de um VCAN que atuou sobre o leste do NEB. Causando bastante nebulosidade sobre o NEB (Figura 3.3x).

O destaque em fevereiro de 2011, foram as chuvas abaixo da média, principalmente no sul do NEB e oeste da Região Norte.

3.7. Metodologia

3.7.1. Avaliação do posicionamento dos VCANs

Para a identificação e determinação do posicionamento dos VCANs foram utilizados os dados de análise do NCEP. As variáveis dos dados do NCEP são disponibilizadas com resolução de 2,5° longitude e 2,5° latitude. Ressalta-se que o T123L28/CPTEC possui a mesma resolução do NCEP. Em geral o VCAN abrange uma faixa de longitude igual ou maior que 10°, e, portanto, a resolução de 2,5° é considerada adequada.

A variável meteorológica utilizada para detectar o centro do VCAN foi a função de corrente (ψ) no nível de 200 hPa, conforme a equação3.6.

$$\zeta = \nabla^2. \, \psi \tag{3.6}$$

Onde, ζ é a vorticidade relativa, ψ é a função de corrente e ∇^2 é o laplaciano.

3.7.2. Avaliação de desempenho dos membros do conjunto e conjunto médio

Para avaliar o desempenho de cada membro do conjunto na detecção dos centros dos VCANs, considerando os 110 dias de frequência do sistema no período de estudo, utilizou-se a fórmula da distância euclidiana (ou distância métrica), definida pela distância entre dois pontos, validada pela aplicação do teorema de Pitágoras. Aplicando essa fórmula como distância, o espaço euclidiano torna-se um espaço métrico. Estes dois pontos representam o centro previsto e observado. Esta distância também pode ser interpretada como o erro associado à previsão. E, portanto, a distância será denominada de desvio.

A realização do cálculo foi possível utilizando as coordenadas geográficas de latitude e longitude (Lat e Long). Admitiu-se que os valores de Long são medidos no eixo das abscissas (eixo X, horizontal) e que os valores de Lat são medidos no eixo das ordenadas (eixo Y, vertical) do plano cartesiano, a partir da equação 2.

$$d = (A,B) = \sqrt{(xA - yA)^2 + (xB - yB)^2}$$
(3.7)

Em que, d é a distância entre os pontos A (xA,yA) e B (xB,yB), esses pontos representam o centro observado e previsto do VCAN.

A determinação da métrica foi realizada, com a finalidade de identificar as distâncias entre o centro do VCAN observado e o centro previsto, no qual foi necessária a utilização do software MATLAB, versão R2012a 7.14.0.739, para a representação estatística do desempenho dos membros do conjunto, conjunto médio e CTRL ao longo dos horizontes de previsão.

A representação estatística utilizada neste trabalho, foi o diagrama Box Plot, que fornece as informações completas sobre uma série de dados quantitativos tais como valores mínimos e máximos, mediana, primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3). Valores dos membros acima do Q3 são considerados acima do normal (outliers superior). Valores dos membros abaixo do Q1 são considerados abaixo do normal (outliers inferior). A caixa (*box*) indica o percentil de 25% e 75%, como sendo respectivamente a linha inferior e superior, portanto 50% da população amostrada se

encontra dentro destes limites. A distância entre estas duas linhas é chamada de Intervalo Interquartil (IQ). Conforme ilustrado na figura 3.4.



Figura 3.4 - Representação esquemática do gráfico Box plot.

O cálculo do conjunto médio, doravante será designado por ENM, foi baseado na média das previsões considerando que a probabilidade de ocorrência é a mesma para todos os membros, é a forma mais condensada da previsão por conjuntos. O cálculo foi realizado conforme a equação:

$$ENM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} F_{j}^{i}; \qquad (3.8)$$

Onde, N é o número de membros do conjunto (inclusive o de CTRL) e Fij são as previsões de cada membro.

O conjunto médio pode ser considerado, numa aproximação determinística, como a melhor estimativa da atmosfera futura, especialmente para previsão de médio prazo. (TOTH e KALNAY, 1993; MOLTENI et. al., 1996).

3.7.3. Critérios de proximidade usados na detecção dos centros dos VCANs

Para a análise semiobjetiva, foi definido um limite de proximidade, no qual o cálculo entre as distâncias (observado e o previsto) se fosse inferior a 0,01 graus em Lat e Long, isto é, se a Lat e Long prevista encontrava-se a uma distância de 0,01 graus era considerado o acerto na detecção dos VCANs (lembrando que 0,01equivale a 1km). Sob

estas condições, marcava-se o triângulo (vermelho) como acerto. Os erros na detecção ocorriam quando este limiar era ultrapassado, ou seja, superior a 0,01 graus.

Para poder contabilizar a previsão de localização dos centros dos VCANs como acerto ou desvio, tornou-se necessário definir um limite de proximidade *d* entre a posição prevista e a posição observada. Foram utilizados cinco limites para *d*: 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 e 5,0 graus de distância radial ao centro observado do VCAN (Figura 3.5). Assim, considerou-se como acerto se a previsão da posição (Lat e Long) dos centros dos vórtices esteve contida dentro de um raio de 1º da posição observada; de maneira análoga, também, considerando-se o raio para os demais limiares. Os desvios ocorriam sempre que a previsão não obedecia este critério. A escolha dos critérios dos limiares foi baseada na resolução espacial do SPCON. Onde 1º equivale a um raio de aproximadamente 110 km nos trópicos.



Figura 3.5 - Representação esquemática dos limiares estabelecidos no estudo na detecção dos VCANs, utilizando linhas de corrente (u e v em 200 hPa). Os círculos representam respectivamente: 4 graus (azul), 2 graus (amarelo), 1 grau (vermelho) e observado (verde).

Ressalta-se que foram escolhidos apenas 2 limiares, 2 e 4 graus, para representar o experimento. A utilização de apenas dois limiares foi devido os demais limiares serem relativamente semelhantes, como, por exemplo, 2 e 3 graus e 4 e 5 graus. Com relação ao limiar de 1 grau, foi invalidado em virtude da apresentação de baixa detecção dos

VCANs para ambos métodos de previsão (CTRL e ENM), além de apresentar proximidade à resolução do modelo (100 km), i. é, 1 grau equivale nos trópicos aproximadamente 100 km.

Para definirmos uma área de abrangência dos limiares, foi necessário ter uma amostragem de quanto seria em média a dimensão de um vórtice. Silva (2005), em seu experimento estudou dois casos distintos dos VCANs, que mostraram o comportamento dos vórtices em seu período de vida, enfatizando a nebulosidade associada, deslocamento, intensidade e abrangência. Sendo a abrangência a característica de maior interesse, na validação da detecção dos VCANs. Seus resultados apontaram: O caso 1 (intensidade forte) dos VCANs, atingiu no seu dia mais intenso uma área de 2.541.000 km². O caso 2 (intensidade fraca) apresentou em seu dia mais intenso uma área de cobertura de apenas 1.256.000 km².

3.7.4. Detecção dos centros dos VCANs

A detecção do rastreamento do centro do sistema foi realizada de forma individual, esta detecção foi calculada baseada no índice chamado de probabilidade de detecção (PD, na sigla em inglês), que é um índice de probabilidade de ocorrência de um determinado evento. Os valores de PD foram baseados na equação 3.9:

$$\mathbf{PD} = \frac{\mathrm{acertos}}{\mathrm{erros} + \mathrm{acertos}}$$
(3.9)

Onde, *acertos* significa a contagem de acertos na detecção dos centros dos VCANs, *erros* representa a contagem de erros na previsão do centro do vórtice. Desta maneira, o índice PD relaciona a detecção dos centros dos vórtices prevista corretamente com os eventos previstos correta ou incorretamente, i. é, mostra o desempenho de detecção do centro dos vórtices. A previsão perfeita ocorre quando nenhum centro é previsto incorretamente e, portanto, a PD é igual a 1 (um).

A detecção foi executada de forma semiautomática. Um GRADS script foi desenvolvido para detectar automaticamente o máximo de ψ . O máximo detectado era submetido à avaliação pelo operador do script para a confirmação do posicionamento automático ou reposicionamento, desta vez através da observação (subjetivo).
A detecção semiautomática foi repetida para cada um dos 15 membros do SPCON, para cada uma das 15 defasagens de previsão (de 24 a 360 horas de previsão, com intervalos de 24 horas) e para cada um dos dias de ocorrência dos VCANs (110 dias). O resultado deste processo de detecção são valores de latitude e longitude do centro previsto por cada membro, em função do dia de ocorrência do vórtice e do horizonte da previsão, conforme a Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Exemplo de arquivo resultante do procedimento de detecção semiautomática dos VCANs. A coluna 2 representa a previsão para o dia 04/01/2009 para defasagens de 15 dias (coluna 5). As colunas 2 e 3 representam a detecção dos VCANs (Long e Lat).

INICIALIZAÇÃO	PREVISÃO	LONGITUDE	LATITUDE	DEFASAGEM
2009010400	2009010400	345,0	-21,5	0
2009010300	2009010400	345,0	-21,5	24
2009010200	2009010400	344,0	-19,5	48
2009010100	2009010400	344,0	-21,5	72
2008123100	2009010400	341,0	-20,5	96
2008123000	2009010400	340,1	-21,3	120
2008122900	2009010400	339,0	-20,5	144
2008122800	2009010400	345,0	-21,5	168
2008122700	2009010400	349,0	-21,5	192
2008122600	2009010400	337,0	-16,5	216
2008122500	2009010400	340,1	-19,5	240
2008122400	2009010400	338,8	-17,1	264
2008122300	2009010400	344,0	-21,5	288
2008122200	2009010400	345,0	-19,9	312
2008122100	2009010400	344,9	-19,2	336
2008122000	2009010400	332,6	-20,3	360

4. **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Esta seção apresenta os resultados do estudo que estão divididos em três partes: A primeira parte apresenta os resultados de uma avaliação geral de desempenho, e comparação entre a previsão por conjuntos e a previsão do membro controle, considerando-se todos os eventos de VCAN indiscriminadamente. A segunda parte dos resultados é avaliada de um ponto de vista semiobjetivo, onde é ponderada o desempenho dos membros do SPCON na detecção dos centros dos VCANs, separadamente e para cada dia de ocorrência do fenômeno. E a terceira parte dos resultados consistiu de uma comparação entre o desempenho do ENM e o desempenho do membro CTRL para um único evento de VCAN.

4.1. Desempenho geral do SPCON

Nesta análise, os valores dos desvios entre o centro observado e centro previsto, foram calculados para todos os VCANs estudados (8 eventos) e para cada um dos 15 membros do SPCON, em função do prazo de previsão (24, 48, ..., 360 horas). A distribuição dos desvios, é exposta na forma de diagramas box plot (Figura 4.1). Os diagramas são uma forma bastante conveniente de avaliar diferenças entre populações.

A distância entre as duas linhas é chamada de distância interquartil (IQ). A linha dentro da caixa representa o percentil de 50% (mediana). Além disso, foram introduzidos no diagrama valores da média da previsão do CTRL e ENM, para efeito de comparação de desempenho do modelo. O ENM é representado por triângulos e o CTRL por círculos.

Notou-se que o ENM apresentou desvios ligeiramente superiores ao CTRL até 96 horas. A partir 120 horas observou-se a equivalência das previsões (CTRL e ENM). Os maiores desvios da previsão do CTRL foram observados após 120 horas (5 dias). Contudo, mesmo quando o ENM não produz melhor previsão que o CTRL, é comum um dos membros perturbados apresentar uma previsão mais coerente, essa tendência também foi observada em outros estudos (SILVEIRA et. al., 2014).

Com relação aos desvios apresentados pelos membros do conjunto, notou-se que cerca de 50% dos membros, apresentaram desvios na ordem entre 3,5 a 5,0 graus de distância do centro observado, para prazos de previsão posteriores a 72 horas.

47

De modo geral, se considerarmos que dentro da amostra, um dos membros obteve menor desvio entre o centro observado e o previsto quando comparado ao CTRL, então diz-se que a previsão probabilística teve um comportamento superior a determinística, isso fica evidente nos limites inferiores do Box Plot (Figura 4.1). Entretanto, quando um dos membros plotou como centro muito distante do centro observado, impactou na média do conjunto (limite superior).

Para prazos de previsão superiores a 144 horas (6 dias), o ENM manteve-se substancialmente localizado na margem de 5 graus do centro observado. Enquanto que o CTRL apresentou oscilações entre a margem de 5,0 a 6,5 graus. Mostrando indícios de estabilização do ENM a partir do sétimo dia de integração (168 horas), comparado ao CTRL que oscila bastante.

A estabilização do modelo para prazos posteriores a 144 horas (6 dias), pode ser explicado pela dispersão dos membros, no qual foi observado que para os prazos de 168 e 192 horas (7 e 8 dias), ocorreu um ligeiro aumento da dispersão dos dados. Esta dispersão mostra que defasagens superiores a esta, o modelo mostra indícios de aumento da incerteza, na detecção de vórtices nos trópicos.

Esta figura também destaca o melhor desempenho da previsão por conjunto em comparação à previsão determinística, principalmente para previsões de prazo mais longo, corroborando com resultados de outros estudos (ZHU, 2005).



Figura 4.1 - Desvios entre o centro observado e previsto (em graus) em função do prazo de previsão (em horas) para os VCANs (8 eventos) em DJF de 2009/2010/2011. O círculo indica o CTRL e o triângulo indica o ENM. A caixa indica o percentil de 25% e 75%, como sendo respectivamente a linha inferior e superior, portanto 50% da população amostrada se encontram dentro destes limites. O traço central das caixas representa a mediana.

4.2. Avaliação semiobjetiva

Esta etapa metodológica teve como objetivo exibir de forma gráfica, o posicionamento do centro observado dos VCANs (8 eventos), bem como a localização prevista por cada um dos membros do conjunto, ao longo dos dias de duração dos eventos. A finalidade da avaliação semiobjetiva, é permitir uma avaliação visual (qualitativa) das diferenças de desempenho das previsões, em função dos prazos de previsão.

O desempenho dos membros do SPCON foi analisado de forma individual para cada evento de VCAN, em que se considerou a duração de dias de cada VCAN. Para isso foram realizadas previsões retrospectivas dos VCANs selecionados, com o prado de previsão de até 360 horas (15 dias), desde a formação até a dissipação dos VCANs, totalizando 110 dias de duração de todos os 8 eventos.

A posição observada dos VCANs é sinalizada pelos círculos verde na Figura 4.2. Assim, a sequência de círculos indica o trajeto assumido pelo VCAN. As varetas em azul representam o desvio na detecção do centro do VCAN por cada membro, ou seja, o desvio entre o centro observado e centro previsto por cada membro. A detecção correta (desvio inferior a 0,02) do centro do VCAN pelo SPCON é sinalizada por triângulos vermelho, indicando que algum dos membros detectou corretamente a posição do centro do sistema.

O deslocamento dos VCANs estudados seguiu, uma trajetória no sentido E-W entre as latitudes de 10°N e 20°S, geralmente sua gênese ocorreu no Oceano Atlântico Tropical e dissipando geralmente no NEB, concordando com os estudos de Kousky e Gan (1981, 1983), exceto em apenas 1 caso (VC-04), que não seguiu a trajetória E-W, sendo que, esse sistema permaneceu quase estacionários por vários dias, apresentando movimento irregular.

Dentre os oito VCANs estudados, houveram quatro vórtices, no caso o VC-03, VC-04, VC 07, VC-08, que o total de dias de evento foram respectivamente 14, 31, 12 e 5 dias, embora na simulação do modelo (Apêndice A), foram contabilizados 13, 28, 11 e 4 dias respectivamente. A visualização de menos um ou mais dias de duração dos eventos citados, ocorreu por coincidirem a mesma posição geográfica (Long e Lat). Em outras palavras, o evento VC-03, nos dias 03/02/2009 e 05/02/2009 (terceiro e quinto dia de evento), localizou-se na Long 331°W e na Lat 11,5°S. O VC-04 nos dias 08/01/2010 e 15/01/2010 (oitavo e decimo quinto dia de evento), localizou-se na Long 327°W e na Lat 11,5°S, nos dias 10/01/2010 e 13/01/2010 (décimo e décimo terceiro dias) localizouse na Long 323°W e na Lat 13,5°S, e nos dias 11/01/2010 e 12/01/2010 (décimo primeiro e décimo segundo dia de evento), localizou-se na Long 321ºW e Lat 11,5ºS. O mesmo comportamento foi notado no evento VC-07, em que nos dias 18/01/2011 e 20/01/2011 (sexto e oitavo dia de evento), o sistema apresentou o mesmo posicionamento geográfico (Long 320°W e 10,5°S), similarmente ocorreu para o evento VC-08 em que nos dias 25/02/2011 e 26/02/2011 (segundo e terceiro dia de evento), o sistema apresentou o mesmo posicionamento geográfico (Long 326°W e Lat 07,5S).

Para cada evento foram geradas 15 figuras, que corresponderam a trajetória percorrida pelos VCANs em relação ao horizonte de previsão. Totalizando 120 figuras (Apêndice A) e todas foram analisadas e as discussões são apresentadas de forma sumarizada em três partes.

4.2.1. Incerteza associada às previsões

A relação entre a acurácia da previsão e o espalhamento dos membros tem sido investigada por vários autores (MOLTENI; PALMER, 1991; BUIZZA, 1997; HOFFMAN; KALNAY 1983), com a finalidade de avaliar a qualidade da previsão, essa informação pode fornecer uma medida da incerteza da previsão, além de indicar o limite de previsibilidade da atmosfera. O maior espalhamento dos membros do conjunto, pode fornecer um maior intervalo de soluções possíveis da atmosfera, e menor será o nível de confiabilidade de uma previsão, ou seja, os valores altos (baixos) de espalhamento indicam baixa (alta) confiabilidade da previsão (BARKER, 1991).

Foi realizado, com base em todos os oito VCANs, uma avaliação da relação entre o espalhamento e a incerteza, que é mostrado nas Figuras 4.2. De maneira geral, e em concordância com estudos anteriores (MENDONÇA, 2008; MACHADO, 2010) notouse que há um aumento da incerteza à medida que aumenta o prazo de previsão.

Para essa análise, foram escolhidos dois VCANs para representar a incerteza inerente à previsão, e quantos os erros estão associados não somente a formulação do modelo quanto ao próprio estado da atmosfera (dinâmica). Os eventos VC-06 e VC-07 configuraram-se na atmosfera com a mesma duração de dias (12), e apresentaram maior dispersão dos membros em curto espaço de tempo em relação ao centro observado.

Os cálculos dos espalhamentos foram produzidos com base nos desvios apresentados pelos membros do SPCON, entre o centro observado e centro previsto (varetas azuis), para cada dia de ocorrência dos VCANs. Esses desvios são ilustrados na Tabela B.4 (Apêndice B).

Com relação ao evento VC-06 (Figura 4.2a), o quarto dia de formação do evento foi identificado o maior espalhamento dos membros do SPCON para o prazo de 96 horas (Figura 4.2a), em que o desvio entre o centro observado e o centro previsto do VCAN alcançou 10 graus, sendo que um dos membros do SPCON detectou como centro na Long 338°W e Lat 15,5°S, enquanto que o centro observado do VCAN ocorreu na Long 334°W e Lat 05,5°S.

Para o prazo de 264 horas (Figura 4.2b), o maior espalhamento foi observado no 6º dia de formação do VC-06, que o desvio foi superior (2 vezes maior) ao apresentado no

prazo de 96 horas, alcançando 23,5 graus de distância, sendo detectado como centro por um dos membros do SPCON na Long 350°W e Lat 12,5°S, enquanto que o centro observado ocorreu na Long 327°W e na Lat 07,5°S.

Em relação ao evento VC-07, o maior espalhamento foi observado no 11º dia de formação do evento para o prazo de 96 horas (Figura 4.2c), em que o maior desvio apresentado por um dos membros do SPCON foi de 19 graus, sendo que a detecção do centro foi na Long 339°W e na Lat 20°S, enquanto que o centro observado do VC-07, foi na Long 315°W e na Lat 12,5°S.

Para o prazo de 264 horas (Figura 4.2d), o maior espalhamento dos membros do SPCON foi observado no 10° dia de evento, que foi de 24,3 graus. Um dos membros do SPCON detectou como centro do VC-07 na Long 341°W e Lat 16,5°S, enquanto que o centro observado ocorreu na Long 317°W e Lat 12,5°S. Contudo, para maiores prazos de previsão aumenta-se a incerteza das previsões (prazos entre 10 a 15 dias), dado pelo maior espalhamento dos membros, em que foram observados, maiores amplitudes dos desvios na detecção do sistema.

Em síntese, o desempenho individual dos membros do SPCON na detecção dos VCANs, mostrou que para os eventos VC-06 e VC-07, foi detectado corretamente o centro dos vórtices 11 dias, de um total de 12 dias que perduraram na atmosfera, isso mostra um acerto de 92% na detecção dos VCANs. No entanto, esses eventos também colocaram em evidência uma característica indesejável dos membros do SPCON, o espalhamento dos membros com 96 horas de integração do modelo, isso implica que os desvios da previsão defasada atingem o limite de previsibilidade rapidamente em 96 horas (4 dias).

Na Figura 4.2a, notou-se que a partir do prazo de 96 horas (4 dias), para o evento VC-06, 50% dos membros apresentaram desvios da ordem de 5,0 a 9,0 graus do centro observado. Enquanto que para o VC-07 (Figura 4.2b) 50% dos membros apresentaram desvios na ordem de 6,0 e 7,0 graus do centro observado. Esta análise torna-se mais coerente, ao comparar as previsões do CTRL e ENM, no qual mostrou que o evento VC-07 (Figura 4.3a) mesmo havendo alto espalhamento, o comportamento do ENM foi bastante superior ao CTRL, quando relacionado a métrica entre as previsões observada e prevista, além disso, o CTRL a partir de 96 horas apresentou desvios em direção as observações que mais divergiram da série (outliers).

Por outro lado, ao comparar esse resultado ao evento VC-06 (Figura 4.3b), que também foi observado alto espalhamento, notou-se um cenário contrário, ENM apresenta desvios ligeiramente superiores ao CTRL, porém o comportamento do ENM restringiu-se substancialmente em torno da mediana.



Figura 4.2 - Posições do centro do VCAN conforme observado nas análises (círculos verdes) e distância das previsões até o centro observado do VCAN (varetas azuis).
O triângulo (vermelho) indica que ao menos um dos membros do SPCON realizou a previsão do posicionamento dos centros dos VCANs corretamente. Os eventos ilustrados fazem referência ao VC-06 (a) e (b) e VC-07 (c) e (d), para a defasagem de 96 e 264 horas, respectivamente.



Figura 4.3 - Desvios entre o centro observado e previsto (em graus) em função do prazo de previsão (em horas) para os eventos de VCAN referentes ao VC-06 (a) e VC-07 (b). O círculo indica o CTRL e o triângulo indica o ENM. A caixa indica o percentil de 25% e 75%, como sendo respectivamente a linha inferior e superior, portanto 50% da população amostrada se encontram dentro destes limites. O traço central das caixas representa a mediana.

4.2.2. Indicações de previsibilidade

Considerando que as condições iniciais perturbadas diferem muito pouco umas em relação às outras se, durante a integração das equações, esta diferença permanecer pequena, então o padrão atmosférico é mais previsível e a confiabilidade desta previsão é alta, entretanto, se à medida que o prazo de previsão aumentar, e os membros divergirem entre si, isso pode indicar a imprevisibilidade de um determinado sistema ou um erro indesejado do modelo. Em uma situação como essa que a quantidade de possíveis cenários futuros aumenta, consequentemente, a confiabilidade desta previsão diminui (MACHADO, 2010).

Foi realizado, com base em todos os oito eventos, uma avaliação dos diferentes cenários de previsibilidade associados à atuação dos VCANs. São apresentados quatro exemplos representativos dos diferentes cenários de previsibilidade encontrados no presente trabalho, os eventos VC-02 e VC-08 são eventos considerados de curta duração e VC-04 e VC-06 de longa duração.

A Figura 4.4a ilustra um caso de alta previsibilidade e curta duração, para essa situação notou-se que mesmo utilizando defasagens de longo alcance como o caso de 288 horas (12 dias), o espalhamento dos membros é baixo, sendo que 50% dos membros apresentaram desvios da ordem entre 2 a 3,5 graus (Figura 4.5a). Entretanto, ao analisarmos um evento de baixa previsibilidade e curta duração (Figura 4.4b), é possível perceber que para a mesma defasagem (312 horas), ocorre alto espalhamento dos membros, sendo que 50% dos membros apresentaram desvios da ordem entre 5,0 a 8,0 graus (Figura 4.5b).

A Figura 4.4c, mostra um caso de alta previsibilidade e longa duração, esse é um caso em que o espalhamento não variou ao longo do horizonte de previsão, com 11 dias de integração do modelo, notou-se a alta previsibilidade dos membros na detecção dos VCANs, onde 50% dos membros apresentaram desvios entre 2,5 e 3,5 graus (Figura 4.5c), em comparação a Figura 4.4d, que mostra um caso de baixa previsibilidade e longa duração, em que cerca de 50% dos desvios localizaram-se na margem entre 5,0 a 9,0 graus, mostrando uma baixa previsibilidade dos membros do SPCON (Figura 4.5d).

Em geral, o SPCON mostrou que, os espalhamentos dos membros são independentes da duração dos eventos, sejam os eventos de curta e/ou longa duração, i. é, VCANs com as mesmas características, apresentaram alta e baixa previsibilidade, esse cenário demonstra que a previsibilidade é uma característica da atmosfera e não do modelo, isto significa que, se houver variação da instabilidade da atmosfera, maiores serão os erros da previsão.

É importante ressaltar que, apesar dos pequenos desvios evidenciados, há um certo posicionamento dos membros nas adjacências do centro observado. Portanto, as perturbações geradas durante o processo de análise que originou as novas condições iniciais (perturbadas) do MCGA-CPTEC/INPE, beneficiaram o SPCON em alguns casos, reduzindo os erros nas detecções e aumentando a previsibilidade do sistema.



Figura 4.4 - Idem a Figura 4.2.1, exceto que, os eventos ilustrados fazem referência ao VC-02 (a), VC-08 (b), ambos para a defasagem de 288 horas, VC-04 (c) e VC-06 (d), ambos para a defasagem de 120 horas, respectivamente.







(c)



Figura 4.5 - Idem a Figura 4.2.1, exceto que, os eventos ilustrados fazem referência ao VC-02 (a), VC-08 (b), VC-04 (c) e VC-06 (d), respectivamente.

4.2.3. Erros Sistemáticos

Uma previsão é dita confiável quando, imposta a uma comparação com a real representação da atmosfera, e os resultados evidenciarem um certo grau de proximidade das trajetórias seguidas por ambas previsões. Entretanto, quando ocorre um certo distanciamento desta realidade, de modo que, tais desvios apresentem tendências em escolher uma certa localização, esta ponderação é intrínseca aos desvios sistemáticos em relação aos dados observados.

Para a avaliação dos erros sistemáticos, foram escolhidos dois exemplos representativos no estudo, no caso os eventos VC-03 e VC-07, dentre os demais eventos, foram os que apresentaram maior tendência do modelo, em prever posicionamentos sistematicamente deslocados em uma direção preferencial. A Figura 4.6, mostra um painel com quatro imagens referentes a previsão do observado e previsto nas detecções dos centros dos VCANs, para os prazos de previsão de 144 e 240 horas.

Para a orientação dos erros sistemáticos, foi necessário utilizar o sistema de quadrantes do círculo trigonométrico. Dessa forma, o círculo fica dividido em quatro quadrantes, identificados de acordo com o sentido anti-horário. As projeções de Norte a Leste representam o primeiro (I) quadrante, de Norte a Oeste o segundo quadrante (II), Sul a Oeste o terceiro quadrante (III) e de Sul a Leste o quarto quadrante (IV).

Baseado na ideia de que o modelo prioriza uma certa área nas detecções dos VCANs, a Figura 4.6, ilustra tais erros sistemáticos do SPCON, no qual foi observado que as regiões do primeiro (I) e quarto (IV) quadrantes, apresentam um número maior de posições preferenciais do que nos demais quadrantes (II e III). Isso significa que o SPCON, mostrou tendência em posicionar os vórtices mais para leste em relação àquela observada, uma vez que grande parte das detecções mostrou defasagens latitudinais menores em relação ao observado, quando comparados as detecções longitudinais, que apresentaram um afastamento maior do centro observado.

Em síntese os eventos VC-03 (Figura 4.6a e b) e VC-07 (Figura. 4.6c e d), apresentaram pequenas detecções nos quadrantes II e III, indicando que para esses eventos, o SPCON mostrou uma tendência em posicionar os VCANs simultaneamente mais entre os setores leste e sul do observado.

Outro aspecto importante é que existe uma tendência do erro sistemático do SPCON, que mostra que a maioria dos desvios tende a se alinhar de maneira zonal, i.é, há um crescimento das perturbações na faixa longitudinal, indicando que o SPCON detecta mais significativamente o posicionamento dos VCANs na direção meridional do que na direção zonal.

Esses resultados sugerem uma correção estatística das previsões, como por exemplo a remoção do viés dos desvios que apresentaram maior afastamento do observado, essa alternativa pode contribuir para aumentar o índice de acerto nas detecções dos VCANs, e torná-las mais ajustadas às observações.

Os erros sistemáticos também indicaram que em um modelo de PNT, a configuração da atmosfera muitas vezes é imprevisível, casos tipicamente com as mesmas características sinóticas (formação, intensidade e duração), foram observadas performances diferentes entre ambas as previsões (CTRL e ENM). Apesar dos erros sistemáticos presente no VC-03 (Figura 4.7a), notou-se que houve desvios superiores do ENM ao CTRL. Por outro lado, notou-se o inverso para o evento VC-07 (Figura 4.7b), no qual o ENM apresentou desvios inferiores ao CTRL. Contudo, para situações onde a previsão do CTRL foi superior ao ENM, que não é o objetivo deste trabalho, há indícios de que a introdução das perturbações na condição inicial, não foi um fator relevante na produção de uma previsão mais confiável do SPCON nas detecções dos VCANs.



Figura 4.6 - Idem a Figura 4.2.1, exceto que, os eventos ilustrados fazem referência ao VC-03 (a) e (b) e VC-07 (c) e (d), ambos para a defasagem de 144 e 240 horas, respectivamente.





Figura 4.7 - Idem a Figura 4.3, exceto que, os eventos ilustrados fazem referência ao VC-03 (a) e VC-07 (b), respectivamente.

4.3. Avaliação Objetiva: CTRL versus ENM

Nesta seção, são apresentados a segunda forma de avaliação deste trabalho, que consistiu de uma comparação entre o desempenho da média do conjunto (ENM) e o desempenho do membro controle (CTRL). Nesta comparação, consideraram-se os eventos de VCAN como um todo e não cada dia separadamente.

Os resultados da avaliação objetiva são apresentados somente para os limiares de 2,0 e 4,0 graus de distância radial ao centro observado dos VCANs. Foram contabilizados como acertos quando a previsão estava contida dentro dos limiares estabelecidos (descrito em 3.4.3). A Figura 4.8 está assim representada: As barras em preto representam o ENM e barras cinzas representam o CTRL.

Do ponto de vista da confiabilidade de uma previsão, foi convencionado neste trabalho como limite útil o valor de PD = 0,6 (ua), baseado nas avaliações de correlação de anomalia, em que uma PD próxima de zero indica que a confiabilidade do índice é baixa, e uma PD alta quanto mais próximo de 1. Valores abaixo de 1 representam uma porcentagem equivalente entre uma previsão determinística e probabilística, não havendo vantagens de utilizar tal índice.

A análise da distribuição das detecções dos VCANs, considerando o limite de 2 graus (Figura 4.8 a), mostrou semelhanças no desempenho do ENM e CTRL para o primeiro dia de integração do SPCON. As médias do período de ambas as previsões ficaram muito próximas, em torno de 70 % o CTRL e 68% o ENM, na detecção dos centros dos VCANs.

Uma característica importante observada na integração do SPCON, é que o limite considerado de vida útil para o limiar de 2 graus é muito restrito, de apenas um dia (24 horas), essa característica também foi observada em estudos anteriores na detecção de vórtices tropicais (BARRETO; CUNNINGHAM, 2014).

Ao relaxar o limiar para 4 graus (Figura 4.8b), o CTRL tem prazo de vida útil de até 72 horas, e o ENM de até 168 horas no desempenho da detecção dos VCANs, i. é, estiveram na margem de 60% (Tabela 4.1).

Embora, em alguns prazos de previsão, o desempenho das previsões (ENM e CTRL) tenham sido inferior ao limite aceitável, a média do período permaneceu alta, por

exemplo, o ENM para os prazos de previsão de 192, 216, 240, 264, 288 e 360 horas, a PD permaneceu com magnitude entre o intervalo de 0,5 e 0,6 (ua), o que determina um total de 50% a 60% de acerto nas detecções (Tabela 4.1), não ficando tão marginal ao limite de previsibilidade, enquanto que o CTRL alcançou cerca de 40% para os mesmos prazos de previsão.

Os prazos de previsão de 312 e 336 horas (13 e 14 dias), o SPCON voltou a produzir um limite de confiabilidade na previsão dos vórtices, o que indica uma tendência de avanço na previsão de médio prazo. Sugere-se, portanto, a utilização de uma técnica estatística de correção das previsões, como uma proposta na melhoria da qualidade das previsões do tempo.



Figura 4.8 - Magnitude de PD dos centros dos VCANs em função do prazo de previsão dos 8 eventos de VCANs. A detecção foi considerada em relação ao limite de (a) dois e (b) quatro graus, respectivamente. As barras cinzas representam o CTRL, as barras pretas representam ENM e a linha tracejada vermelha representa o limite de confiabilidade.

Em termos de comparação entre as previsões do ENM e CTRL, e levando em consideração os limiares de 2 e 4 graus, notou-se que o ENM apresentou maior

confiabilidade de previsão para prazos inferiores a 168 horas (7 dias), quando comparado ao CTRL que foi de 96 horas (4 dias), isso indica uma tendência de avanço do SPCON nos prognósticos de médio prazo.

	2 GI	RAUS	4 GRAUS		
PRAZOS (hs)	PD ENM	PD CTRL	PD ENM	PD CTRL	
24	0,68	0,70	0,89	0,90	
48	0,52	0,44	0,85	0,84	
72	0,47	0,41	0,76	0,66	
96	0,36	0,28	0,77	0,59	
120	0,31	0,23	0,68	0,52	
144	0,27	0,17	0,59	0,47	
168	0,23	0,13	0,61	0,37	
192	0,22	0,14	0,55	0,38	
216	0,24	0,18	0,56	0,41	
240	0,29	0,21	0,56	0,36	
264	0,24	0,12	0,57	0,37	
288	0,24	0,13	0,56	0,33	
312	0,22	0,12	0,59	0,29	
336	0,25	0,12	0,60	0,33	
360	0,21	0,14	0,56	0,28	

Tabela 4.1 - Representação da magnitude PD dos centros dos VCANs para os 8 eventos, em função do prazo de previsão. A detecção foi considerada em relação ao limite de dois e quatro graus.

4.4. Comparação de desempenho entre as versões OPER e MB09

Nesta seção, foram avaliados o desempenho das versões MB09 e OPER para fornecer uma referência das vantagens entre as previsões fornecidas pela versão futura e versão operacional, na detecção dos centros dos VCANs. Em um sentido determinístico, i. é., a média do conjunto (SPCON MB09 e OPER) serão avaliadas. A ideia é investigar qual das previsões podem gerar cenários futuros mais confiáveis, e minimizar as incertezas na previsão.

Para esta comparação foi analisado apenas o evento VC-01, e, portanto, duas rodadas do SPCON foram realizadas (OPER e MB09). Uma característica relevante nesta análise que precisa ser considerada: As rodadas do OPER perturbam apenas duas variáveis vento zonal e meridional e temperatura, como são compensatórias não sofrem tanto impacto na inicialização do modelo. Por outro lado, as rodadas do MB09 perturbam duas variáveis a mais que o SPCON-OPER que são ps e q, havendo um desequilíbrio dessas variáveis, esse impacto pode gerar um aumento dos erros na integração do modelo.

Para avaliar os benefícios das versões OPER e MB09, é apresentado o painel de Figuras 4.9. A abordagem usada nesta seção foi a mesma usada anteriormente, onde 2 limiares foram considerados na contabilização da chance de detecção dos vórtices, 2 e 4 graus de distância radial do centro observado dos VCANs.

A plotagem em barras (Figura 4.9) faz referência à magnitude de PD em relação aos prazos de previsão. As barras em azul fazem alusão ao SPCON-OPER, e em preto ao SPCON-MB09.

O limiar de 2 graus (Figura 4.9a), mostrou similaridade no desempenho da detecção dos VCANs para as versões MB09 e OPER. A média de ambas as previsões alcançaram magnitude de PD 0,8 (ua), que representa 80% de acerto na detecção dos vórtices. (Tabela 4.2 que sumariza os resultados apresentados nesta análise). A partir de 48 horas notou-se que a versão MB09 apresenta desvios inferiores a versão OPER na detecção dos VCANs, para todos os prazos de previsão considerados. Além disso, o melhor desempenho do MB09 foi registrado em 48 horas, que alcançou 0,9 (ua), que representa 90% de acerto na detecção dos centros dos VCANs. Prazos de previsão superiores a 96 horas apontaram um baixo desempenho da versão operacional, pois não apresentam valores significativos de PD, indicando um aumento das incertezas na previsão de VCANs, para prazos posteriores a este.

A análise do limiar de 4 graus (Figura 4.9b), mostrou também similaridade para ambas previsões nas primeiras 24 horas, isto é consistente com os resultados apresentados anteriormente na Figura 4.9a, exceto para o total de magnitude de PD, que ambas previsões alcançaram 100% de acerto, inferindo-se que, o aumento do limiar de 2 para 4 graus gera uma maior probabilidade de detectar os VCANs. E, portanto, limiares

superiores a 2 graus além de apresentar uma distribuição da detecção mais homogênea, devido a ampliação da área de cobertura, evidenciam também que o MB09 tem melhor acurácia que a versão operacional.

Conforme dito anteriormente sobre o limite de previsibilidade (seção 4.3), e usando a mesma abordagem para avaliar esta seção. O limiar de 2 graus representa uma porcentagem de acerto bastante rigorosa, de modo que, para tal limite a previsão é bastante restrita. O OPER atinge vida útil nas primeiras 24 de simulação do modelo, e o MB09 tem melhoria de apenas um dia comparada à versão operacional. Ao relaxar o limiar para 4 graus, fica evidente que o limite de previsibilidade do MB09 é de aproximadamente 15 dias de vida útil, enquanto que o OPER é de 3 dias. Isso significa que a versão MB09 tem um ganho de 12 dias comparado à versão operacional do CPTEC/INPE.



Prazos (horas)





Prazos (horas)

(b)

Figura 4.9 - Comparação entre SPCON OPER e SPCON MB09 na detecção do VC-01. O eixo vertical representa a magnitude de PD do centro do evento VC-01, e o eixo horizontal representa o prazo de previsão. A detecção foi considerada em relação ao limite de (a) dois e (b) quatro graus, respectivamente. As barras em azul (escuro) representam o ENM OPER, as barras em azul (claro) representam o CTRL OPER, as barras pretas representam ENM MB09, as barras cinzas representam OPER MB09 e a linha vermelha representa o limite de confiabilidade útil de previsão.

Fica evidente nesta avaliação, o desempenho superior da previsão por conjunto em comparação à previsão determinística. Além de apresentar uma grande perspectiva da versão MB09. Ressalta-se, portanto, que essa análise não é conclusiva, devido a comparação proposta nesta avaliação, levar em consideração apenas um evento.

■ PD ENM OPER ■ PD CTRL OPER ■ PD ENM MB-09 ■ PD CTRL MB-09

2 GRAUS				4 GRAUS				
PRAZOS	ENM	CTRL	ENM	CTRL	ENM	CTRL	ENM	CTRL
(hs)	OPER	OPER	MB09	MB09	OPER	OPER	MB09	MB09
24	0,8	0,4	0,8	0,6	1,0	0,9	1,0	1,0
48	0,3	0,1	0,9	0,6	0,8	0,7	1,0	1,0
72	0,1	0,1	0,6	0,3	0,8	0,6	1,0	0,7
96	0,1	0,2	0,4	0,1	0,3	0,3	0,8	0,2
120	0,1	0,0	0,3	0,1	0,6	0,2	0,8	0,3
144	0,0	0,0	0,4	0,1	0,2	0,3	0,6	0,4
168	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,7	0,3
192	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,6	0,6
216	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	0,2	0,7	0,3
240	0,0	0,1	0,3	0,1	0,4	0,1	0,8	0,2
264	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,7	0,6
288	0,0	0,0	0,4	0,2	0,1	0,0	0,8	0,6
312	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,7	0,4
336	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2
360	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,6	0,1

Tabela 4.2 - Representação da magnitude PD na detecção do evento VC-01, utilizando a versão OPER (ENM e CTRL) e MB09 (ENM e CTRL), em função do prazo de previsão. A detecção foi considerada em relação ao limite de dois e quatro graus.

O conjunto de Figuras 4.10, fazem referência ao desvio em graus entre o centro observado e centro previsto, em relação ao prazo de previsão para cada versão. A versão MB09 é representada pela Figura 4.10a e a versão OPER é representada pela Figura 4.10b. Os círculos fazem alusão ao CTRL, e os triângulos ao ENM.

Em termos de desempenho da versão MB09 (Figura 4.10a), observou-se que o CTRL apresentou desvios ligeiramente inferiores ao ENM nas primeiras 48 horas de integração do modelo. E para prazos posteriores a este, ocorreu uma inversão desses desvios (ENM apresenta desvios inferiores ao CTRL).

A versão MB09 destacou o melhor desempenho do ENM em relação ao CTRL, quanto aos desvios apresentados por ambas as previsões, no qual mostrou que os desvios do ENM localizaram-se substancialmente em torno de 5 graus, enquanto que o CTRL a partir do prazo de 216 horas (9 dias), localizou-se na margem de 6 graus de distância do centro observado.

A análise da versão OPER (Figura 4.10b), mostrou que até 72 horas o ENM e CTRL foram ligeiramente semelhantes (abaixo de 5 graus). Prazos de previsões posteriores a este, observou-se que os desvios amplificaram significativamente (entre 6 a 17 graus) com relação ao observado.

Com base nos resultados obtidos nesta seção, notou-se que são produzidas previsões por conjuntos melhores utilizando o MB09 do que a versão operacional, principalmente quando se observa os maiores desvios apresentados pela versão operacional que ocorreu em 360 horas (15 dias), no qual apresentou desvios na ordem de aproximadamente 13,0 graus de distância do centro observado, enquanto a versão avaliada apresentou menor amplitude da distância para o mesmo prazo de previsão (360 horas), que foi na ordem de aproximadamente 13,0 graus.

De modo geral, notou-se que a versão OPER é capaz de prever o sistema até o prazo de 72 horas, enquanto que a versão MB09 é capaz de prever o sistema até 216 horas (9 dias).



Figura 4.10 - Idem a Figura 4.2, exceto que, o evento ilustrado faz referência ao VC-01, (a) representa a versão MB09 e (b) representa a versão OPER.

5. CONCLUSÕES

O comportamento caótico da atmosfera associado à incapacidade de eliminar as incertezas das condições iniciais, e de descrever completamente os processos físicos e dinâmicos da atmosfera, gerou ao longo dos anos previsões confiáveis de apenas curto prazo. Dessa forma, a técnica de previsão de tempo por conjunto surge, como uma ferramenta útil para estimar a incerteza associada às previsões de médio prazo.

Nesta pesquisa foi avaliado o desempenho do SPCON do CPTEC/INPE na detecção de VCANs na região tropical. O SPCON avaliado neste trabalho foi o MB09, esta versão inclui as modificações propostas por Mendonça e Bonatti (2009) nas condições iniciais perturbadas. Esta versão ainda encontra-se em fase de implementação.

O período de estudo utilizado nesta pesquisa foi DJF dos anos de 2009 a 2011, no entanto, foram escolhidos eventos representativos de cada mês, e que tiveram tempo de vida variável, considerando então nesta pesquisa eventos de curta e longa duração. O motivo pelo qual se utilizou esse período foi em virtude da disponibilidade de previsões retrospectivas da versão SPCON-MB09.

Nesta pesquisa, a distância euclidiana entre as previsões do centro e o centro observado do VCAN, serviu como indicador do desvio (erro) associado às previsões (de 24 a 360 horas). A função de corrente foi a variável utilizada para definir a localização do VCAN, no nível de 200 hPa, e PD (probabilidade de acerto) foi o índice utilizado para detectar o centro do VCAN no intervalo entre 10° N e 20° S, e 010° E e 060° W. O motivo pelo qual se utilizou PD, foi devido apresentar ao longo do estudo um certo grau de acurácia na detecção do VCAN, ponderada por 0,6 (60%) como previsão útil. Além disso, utilizou-se um critério de limite para 2 e 4 graus, como forma de contabilizar os acertos na detecção do VCAN, a partir do centro observado.

A partir da metodologia adotada a avaliação do SPCON na detecção do centro do VCAN ocorreu sob vários aspectos. Primeiro, uma avaliação geral de desempenho, na qual foram considerados todos os eventos (8) e todos os membros, discriminado, em função do horizonte de previsão. Segundo, uma avaliação semiobjetiva que levou em consideração a variabilidade entre os eventos. Terceiro, uma comparação objetiva de desempenho, através do PD, entre o ENM e o CTRL. Finalmente, foi feita uma

comparação entre a versão MB-09, que inclui melhorias no esquema de perturbação e a versão atualmente em operação (OPER).

Com relação ao desempenho geral do SPCON encontrou-se que, nas primeiras 96 horas (4 dias) de integração do modelo, o ENM apresenta desvios superiores ao CTRL, esse cenário se inverte a partir da defasagem posterior (120 horas), indicando que para prazos mais longos o ENM apresenta desempenho superior.

A dispersão dos membros do SPCON, mostrou que o ENM localizou-se substancialmente a margem de 5 graus a partir do sétimo dia, enquanto o CTRL no sétimo dia ultrapassou este limiar (5 graus). Isto indica uma certa estacionariedade do ENM a partir da defasagem de 168 horas (7 dias), mostrando também indícios de que, com o ligeiro aumento da dispersão dos dados, o limite de vida útil do SPCON restringe-se a 7 dias, e, portanto, prazos mais longos que este, aumenta-se a incerteza na detecção dos vórtices na região tropical.

De modo geral, em todos os eventos, o ENM restringiu sua localização substancialmente em torno da mediana (50%). Houve um evento (VC-06) no qual evidenciou-se um desempenho do ENM inferior ao CTRL. Para este caso, mesmo havendo um melhor desempenho do CTRL, foi comum um dos membros perturbados apresentarem uma previsão mais coerente, concordando com Silveira et. al., (2014).

A análise da avaliação semiobjetiva mostrou três resultados:

1°) Houve um aumento da incerteza da previsão, à medida que aumentou-se o prazo de previsão. Este resultado está em concordância com estudos anteriores citados por Silva (2008) e Machado (2010). A indicação da incerteza foi interpretada através do comportamento dos espalhamentos dos membros, característica esta que somente um sistema de previsão por conjuntos, como o SPCON, pode mostrar.

Em alguns eventos, apesar do alto espalhamento, houve detecções corretas. Por outro lado, a média dos desvios entre o centro observado e previsto ficaram marginal a uma distância dita como ideal (5 graus), para prazos de previsão entre 10 a 15 dias, ficou mais ainda evidente esse espalhamento, inferindo-se que perturbações de natureza aleatórias para limiares a médio prazo sofrem influências dinâmica da atmosfera, gerando erros de simulação do modelo.

Em geral, existe uma relação inversa entre o espalhamento e o desempenho médio do conjunto, ou seja, na maioria dos casos, o pequeno (grande) espalhamento dos membros do conjunto está associado com alto (baixo) desempenho do conjunto médio, em concordância com outros estudos citados Silva (2008) e Machado (2010).

A ocorrência do alto espalhamento em alguns eventos de VCANs, geraram duas fontes de informações: A primeira que reflete o desempenho do ENM em relação ao CTRL, onde prazos posteriores a 96 horas (CTRL) apresentou desvios em direção aos outliers. A segunda que reflete o ligeiro desempenho do CTRL, para estes casos mesmo com o desempenho inferior do ENM, sua localização restringiu-se substancialmente em torno da mediana, indicando mesmo assim uma certa confiabilidade.

2°) A previsibilidade é uma peculiaridade da atmosfera e não do modelo, e com base nisso, notou-se que existe uma tendência do modelo em detectar os VCANs independentemente do prazo de duração sendo eles longos e/ou curtos. Cerca de 50% dos membros apresentaram desvios na ordem de 2,5 e 3,5 graus, nos casos em que houve alta previsibilidade, e cerca de 50% dos desvios na ordem de 5,0 a 9,0 graus, nos casos em que houve baixa previsibilidade.

3°) Devido a erros sistemáticos do SPCON, em algumas situações, houve o ligeiro deslocamento do centro do sistema para uma região preferencial (I e IV quadrante), i. é., o modelo mostrou o VCAN a leste da posição observada. Isto indica um atraso do sistema na detecção dos VCANs. Em outros casos foi observada uma trajetória simétrica. Assim, neste caso, uma correção estatística das previsões, que remova o viés dos maiores desvios com relação ao observado se configura como uma opção prática e efetiva para incrementar o desempenho do SPCON.

Os resultados deste estudo revelaram que, em todos os eventos, o SPCON apresentou um atraso do VCAN a leste do observado. Essa característica ficou mais evidente a partir de prazos de previsão superiores a 120 horas (5 dias). Prazos inferiores a este, o SPCON produz direções aleatórias, não apresentando uma preferência de quadrante.

Uma característica marcante mencionada neste trabalho, é que em um evento de VCAN isolado (VC-03), o SPCON ao apontar os erros sistemáticos, identificou que o CTRL é superior ao ENM. Para situações onde a previsão do CTRL foi superior, apesar de ainda não estar claro quais os motivos para essa ocorrência, há indícios (não mostrados nesta

pesquisa) de que adição de perturbações na condição inicial gerou impacto negativo no SPCON, na detecção dos VCANs.

Com relação a avaliação objetiva, no qual foi realizado uma comparação determinística, (ENM versus CTRL), ponderada pelo índice de confiabilidade (como sendo ideal valores iguais ou superior a 0,6). Os resultados mostraram que para o limiar de 2 graus, a confiabilidade do SPCON restringiu-se apenas ao primeiro dia de integração (24 horas) para ambas as previsões (ENM e CTRL).

Uma particularidade do SPCON, neste estudo foi apresentar nas primeiras 24 horas de integração do modelo, um desempenho superior do CTRL com relação ao ENM, para este fato há indícios de que ocorre um ajuste do modelo, ou seja, o tempo de *spin-up*, os dados de entrada representados pela condição inicial levam um tempo para entrar em equilíbrio com o modelo, concordando com Silveira (2014).

O limiar de 4 graus mostrou que ENM apresenta maior confiabilidade de previsão para prazos até de 168 horas (7 dias), quando comparado ao CTRL, que apresentou um prazo inferior, 96 horas (4 dias), i. é, 3 dias a menos que o ENM, indicando que o ENM tem desempenho superior ao CTRL na detecção dos VCANs, e consequentemente, um avanço nos prognósticos de médio prazo.

Dado que o limiar de 4 graus apresenta melhores resultados, o que é compatível com a resolução do modelo que é de 100 km, sugere-se aumentar a resolução do SPCON-CPTEC para 45 km (T299L64 - 45x45 km), para atender a limiares inferiores a 4 graus, ou a fenômenos de menor dimensão espacial.

Em relação à comparação entre as versões OPER e MB09, a versão operacional apresentou limite de previsibilidade de 3 dias, e a versão avaliada (MB09) apresentou limite de previsibilidade de 9 dias. Indicando um ganho de 6 dias da versão avaliada sobre a versão operacional. Sugerindo-se que, melhores performances do SPCON são produzidas utilizando a versão MB09, e, portanto, representa uma melhor opção do que a versão atualmente em operação, em concordância com estudos anteriores (CUNNINGHAM et. al., 2013).

Baseado nos resultados apresentados neste trabalho pode-se concluir que a ferramenta exposta, é uma técnica relevante para a previsão de médio prazo, além de mapear as

78

incertezas da previsão, representa um avanço na produção de previsões mais confiáveis na detecção de VCAN, mostrando que a metodologia de perturbações baseadas em EOF trazem benefícios para a previsão probabilística nos trópicos.
6. TRABALHOS FUTUROS

- O uso de mais eventos de VCANs, para melhorar a estatística de desempenho do SPCON na detecção dos vórtices tropicais.
- Novos métodos para correção de erros sistemáticos;
- Fazer novos experimentos para buscar as razões do deslocamento do SPCON a leste da posição observada do VCAN;
- Uma compreensão mais profunda das incertezas nas observações, condições iniciais e modelo para a previsão de erro;
- Perturbar randomicamente outras variáveis de entrada na superfície: temperatura da superfície do mar e umidade do solo;
- Procurar novas formas e regiões para as perturbações randômicas das variáveis da condição inicial;
- Usar o modelo 3DVAR como condição inicial do SPCON (MCGA-CPTEC/INPE);
- Validar a precipitação na área do VCAN utilizando o SPCON;
- Usar uma resolução maior (T299L64) 45x45 km, para eventos de tamanho menor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTHES, R.A. A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. **Mon. Wea. Rev.**, v. 105, p. 270-286, 1977.

ARAGÃO, J. O. R. Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil. 1975. 219 p. (INPE-789-TPT/017). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1975. Disponível em: <http://urlib.net/6qtX3pFwXQZ3P8SECKy/Gd6qG>. Acesso em: 24 ago. 2015.

BARKER, T. The relationship between spread and forecast error in extended-range forecast. **J. Climate**, v. 4, n.7, p. 733742, 1991.

BARRETO, E.C.A; CUNNINGHAM C. A. Avaliação do desempenho do sistema de previsão por conjuntos do CPTEC/ INPE na detecção de um evento de vórtice ciclônico em altos níveis no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 11.., Recife, PE. **Anais**... Rio de Janeiro: SBMet, 2014.

BELL, G. D. E.; BOSART, L.F. A case study diagnosis of the formation of an upperlevel cut off cyclonic circulation over the eastern United States. **Monthly Weather Review**. V.121, n.6, p.1635-1655, 1993.

BUIZZA, R. Potential forecast skill of ensemble prediction and spread and skill distributions of the ECMWF ensemble prediction system. **Mon. Wea. Rev**, v. 125, n. 1, p. 99-119, 1997.

CAMPETELLA, C.; POSSIA, N. Upper-level cut-off lows in southern South America. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 96, n. 1-2, p. 181-191, April 2006.

CARDOSO, A. O.; MENDONÇA, A. M.; ARAVÉQUIA, J. A.; BONATTI, J. P.; SILVA DIAS, P. L. Correção estatística das previsões de tempo por conjunto do MGCA CPTEC/COLA através da remoção do viés. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 14., 2006, Florianópolis, SC. **Anais...** Rio e Janeiro: SBMet, 2006. Papel. (INPE-14294-PRE/9382). CARLSON, T. B. Structure of a steady-state Cold Low. Monthly Weather Review. v. 114 95, n. 11, p. 763-777, 1967.

CAVALCANTI, I. F. A.; MARENGO, J.; <u>SATYAMURTY, P.</u>; <u>NOBRE, C. N.</u>; TROSNIKOV, I.; BONATTI, J. P.; <u>MANZI, A. O.</u>; <u>TARASOVA, T.</u>; <u>PEZZI, L. P.</u>; <u>D'ALMEIDA, C.</u>; SAMPAIO, G.; CUNNINGHAM-CASTRO, C. A.; SANCHES, M. B.; CAMARGO, H. Global Climatological features in a Simulation Using the CPTEC/COLA AGCM. **J. Climate**, v. 15, p. 2965-2988, 2002.

CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista-SP: INPE/CPTEC, 2009. v. 24. n. 1. 28p.

CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista-SP: INPE/CPTEC, 2010. v. 25. n. 1. 28p.

CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista-SP: INPE/CPTEC, 2011. v. 28. n. 1. 28p.

COSTA, S.B.; GANDU, A. W. Balanço de Vorticidade e Energia aplicado a um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis atuante no atlântico tropical sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. **Anais...**, Rio de Janeiro: SBMet, 2008.

COUTINHO, M. M. **Previsão por conjuntos utilizando perturbações baseadas em componentes principais.** 1999. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

COUTINHO, M. D. L. Método objetivo de identificação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis na região tropical sul: validação e climatologia. 2008. 119 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

CUNNINGHAM, C.A., BONATTI, J.P., FERREIRA, M. J., RAMOS, J. R. Assessing improved CPTEC probabilistic forecasts on medium range time-scale. **Meteorological Applications.** 2013. Publishing online library. Disponível em: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/met.1464/epdf. DAVIES, R. Documentation of the solar radiation parameterization in the GLAS climate model.. 1982. 57 p. NASA Tech. Memo. 83961

DEAN, G. A. Three dimensional wind structure over South America and associated rainfall over Brazil. 1971. (LAFE-164). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1971.

DERBER, J.; BOUTTIER, F. A reformulation of the background error covariance in the ECMWF Global Data Assimilation System. **Tellus**, v. 51A, p. 195-221, 1999.

EPSTEIN, E. S.: Stochastic dynamic prediction, Tellus, v.6, p. 739–759, 1969.

FARRELL, B. F. Optimal excitation of baroclinic waves. J. Atmos. Sci. v. 46, p. 1193-1206, 1989.

FRANK, N. L. The weather distribution with upper tropospheric cold lows in the tropics. U.S. Weather Bureau. Southern Region, Technical Memorandum, n. 28, p. 1-6, 1966.

FUENZALIDA, H.; SÁNCHEZ, R.; GARREAUD, R. A climatology of cutoff lows in the Southern Hemisphere. J. Geophys. Res., v. 110, p. 1-10, Sept., 2005. (D18101 10.1029/2005JD005934).

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

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

HARSHVARDHAN, T.; DAVIS, R.; RANDALL, D.A; CORSETTI, T.G. A fast radiation parameterization for general circulation models. **J. Geophys. Res**., v. 92, p. 1009-1016, 1987.

HODGES, K. I. A general Method for tracking analysis and its application to meteorological data. **American Meteorological Society.** v. 122, p. 2573-2585, Nov. 1994.

HODGES, K. I. Feature tracking on the unit sphere. **Monthly Weather Review**, v.123, p. 3458–3465, 1995.

HODGES, K. I. Spherical nonparametric estimators applied to the UGAMP model integration for AMIP, **Monthly Weather Review.** v. 124, p. 2914–2932, 1996.

HODGES, K. I. Adaptive constraints for feature tracking. **Monthly Weather Review.** v. 127, p. 1362-1373, 1999a.

HOFFMAN, R. N.; KALNAY, E. Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. **Tellus**, v.35A, n. 2, p.100-118, 1983.

HOLTON, J. R. An introduction to dynamic meteorology. 4. ed. 2004. Washington. Ed. Elsevier Science. p. 535. 2004.

HSIEH, Y. P. An investigation of a selected cold vortex over North America. Journal of Meteorology. v. 6, p. 401–410, 1949.

KALNAY, E, 2004: Atmospheric modeling, data assimilation and predictability. Cambridge University Press. United Kingdom. 341 pp.

KINTER, J. L. and collaborators. **The COLA atmosphere-biosphere general circulation model**. Calverton, USA; Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, 1997.volume1: Formulation, 1997. Tech. Rep. 51

KUO, H.L. On the formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. **J. Atmos. Sci.**, v. 22, p. 40-63, 1965.

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

LACIS A.; HANSEN, J.E. A parameterization of the absorption of solar radiation in the Earth's atmosphere. **J. Atmos. Sci.**, v. 31, p. 118-133, 1974.

LEITH, C.E. Theoretical skill of Monte Carlo forecasts. **Mon. Wea. Rev.**, v. 102,p. 409-418, 1974.

LORENZ, E.N. Deterministic non-periodic flow. J. Atmos. Sci., v. 20, p. 130-141, 1963.

LORENZ, E.N. A study of the predictability of a 28-variable atmospheric model. **Tellus**, v. 17, p. 321-333, 1965.

LORENZ, E.N. Atmospheric Predictability as Revealed by Naturally Occurring Analogues. J. Atmos. Sci., v. 26, p. 636-646, 1969.

MACHADO, L. H. R.; MENDONÇA, A. M.; MENDONÇA, L. H. R.; BONATTI, J. P. Impacto da utilização de previsões defasadas no sistema de previsão de tempo por conjunto do CPTEC/INPE. **Revista Brasileira de Meteorologia.** v. 25, n.1, 54-69, 2010.

MELLOR, G.L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model geophysical fluid problem. **Rev. Geophys. Space Phys.**, v. 20, p. 851-875, 1982.

MENDONÇA, A. M; BONATTI, J.P. Impacto dos modos de perturbação extratropicais na previsão de tempo por conjunto do CPTEC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2006.

MENDONÇA, A. M. Estudo das características das perturbações EOF extratropicais e seu impacto na previsão de tempo de médio prazo por conjunto. 2008. 237 p. (INPE-15480-TDI/1423). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2008.

MENDONÇA, A. M.; BONATTI, J. P. Experiments with EOF-Based Perturbation Methods and their Impact on the CPTEC/INPE Ensemble Prediction System. **Mon. Wea. Rev.**, v. 137, p. 1438-1459, 2009.

MOLTENI, F.; PALMER, T.N. A real-time scheme for the prediction of forecast skill. **Mon. Wea. Rev.**, v. 119, n. 2, p. 299-323, 1991.

MOLTENI, F.; BUIZZA, R.; PALMER, T.N.; PETROLIAGIS T. The ECMWF ensemble prediction system: methodology and validation. Quart. **J. Roy. Meteor. Soc.**, v. 122, n. 529, p. 73-119, 1996.

MOORTHI, S.; SUAREZ, M.J. Relaxed Arakawa-Schubert: a parameterization of moist convection for general circulation models. **Mon. Wea. Rev.**,v. 120, p. 978-1002, 1992.

MUREAU, R.; F MOLTENI, T. N. PALMER. Ensemble Prediction using dynamically conditioned perturbations. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc**, 119, 299-323, 1992.

MURRAY, R. J.; SIMMONDS, I. A numerical sheme for tracking cyclone centers from digital data. Part II: application to January and July general circulation model simulations. **Aust. Meteor. Mag.**, v. 39, p. 167-180, 1991B.

NIETO, R.; SPRENGER, M.; WERNLI, H.; TRIGO, R. M.; GIMENO, L. Identification and climatology of Cut-off Low near the tropopause. **Annals of the New York Academy of Sciences**. v. 1146, n. 1, p. 256-290, 2008.

NMC Development Division Staff Research version of the medium range forecast model. **NMC Documentation Series** #1 (available from the Development Division, NMC, Washington, D.C. 20233), 1988.

PAIXÃO, E. B. Caracterização do vórtice ciclônico de ar superior sobre o Nordeste do Brasil. 1999. (IAG/USP). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PALMÉN, E. Origin and structure of high-level cyclones south of the maximum westerlies. **Tellus**, v. 1, p. 22-33, 1949.

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

PALMER, T.F., MOLTENI, R. MUREAU, R. BUIZZA, P. CHAPELET, J. TRIBBIA. **Ensemble prediction**. ECMWF Research Department Tech., 1994. Memo. Nº 188. (Available from ECMWF, Reading, England).

PANETTA, J.; BARROS, S. R. M.; BONATTI, J. P.; TOMITA, S.; KUBOTA, P. Y. Computational cost of CPTEC AGCM. In: USE OF HIGH PERFORMANCE COMPUTING IN METEOROLOGY, 2007, Reading, Inglaterra. **Proceedings...** Reading: ECMWF, 2007. p. 65-83.

PINHEIRO, H. R. Validação do método track para identificação objetiva dos vórtices ciclônicos de altos níveis em regiões subtropicais. 2010. Dissertação
(Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos

Campos, 2010. Disponível em: <<u>http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/37ESD38</u>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

RAMIREZ, M. C. V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos de altos níveis no Nordeste do Brasil.** 1996. 109 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996. Disponível em:<<u>http://urlib.net/6qtX3pFwXQZGivnJSY/Htyhr</u>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

RAMIREZ, M. C. V; KAYANO, M. T.; FERREIRA, N. J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989 period. (INPE-10582-PRE/604412). Atmosfera, v. 12, p. 75-88, Apr. 1999.

RAO, V. B.; Bonatti, J. P. On the origin of upper tropospheric cyclonic vortices in the South Atlantic Ocean and adjoining Brazil during the summer. **Meteorology and Atmospheric Physics**. v. 37., p. 11-16. 1987.

RICKS, E. L. On the structure and maintenance of high tropospheric cold-core cyclones of the tropics. **Unpublished master's thesis**. University of Chicago, p. 31, 1959.

SATYAMURTY, P.; SELUCHI, M. E. Characteristics and structure of an Upper Air Cold Vortex in the subtropics of South America. **Meteorology and Atmospheric Physics**. v. 96, p. 203-220, 2007.

SATO, N.; SELLERS, P.J.; RANDALL, D.A.; SCHNEIDER, E.K.; SHUKLA, J.; KINTER III, J.L.; HOU, Y.-T.; ALBERTAZZI, E. Implementing the simple biosphere model in a general circulation model: Methodologies and results. **NASA Contractor Report** 185509, 76 pp., 1989.

SILVA, L. A. A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas. 2005. 131
f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível
em:<<u>http://urlib.net/6qtX3pFwXQZGivnJSY/HTbGp</u>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

SILVA et. al., Determinação das previsões de temperatura mínimas e máximas a partir do histórico das previsões de tempo por conjunto do CPTEC. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 23, n.4, p. 431-449, 2008.

SILVEIRA, C. S.; COUTINHO, M. M.; COSTA, A. A.; MARIA, P. H. S. Previsão de tempo por conjuntos para a região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 3, p. 351-366, 2014.

SIMPSON, R. H. Evolution of the Kona Storm, a subtropical cyclone. Journal of Meteorology. v. 9, p. 24-35, Oct. 1952.

TIEDTKE, M. The sensitivity of the time-mean large-scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. In: Workshop on Convection in Large-Scale Numerical Models, 1983, Reading, UK. **Proceedings**... Reading, UK: ECMWF, 1983, p. 297-316.

TOTH, Z.; KALNAY, E. Ensemble forecasting at NMC: The generation of perturbations. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v. 74, p. 2317-2330, 1993.

TOTH, Z., KALNAY, E. Ensemble forecasting at NCEP and the breeding method. **Mon. Wea. Rev.**, v. 125, p. 3297-3319, 1997.

VIRJI, H. A preliminary study of the summer time tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Monthy Weather Review**, v. 109, p. 99-610; Mar. 1981.

XUE, Y.; SELLERS, P.J.;. KINTER III, J.L.; SHUKLA, J.A simplified biosphere model for global climate studies. **J. Climate**, v. 4, p. 345-364, 1991.

ZHANG, Z; KRISHNAMURTI, T. N. A perturbation method for hurricane ensemble predictions. **Mon. Wea. Rev.**, v. 127, p. 447-469, 1999.

ZHU, Y. Ensemble forecast: A new approach to uncertainty and predictability, Advance in **Atmospheric Sciences**, v. 22, n. 6, p.781-788, 2005.

WILKS, D.S. Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press, 467 pp, 1995.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO), 2008: Recommendations for the verification and intercomparison of QPFs and PQPFs from operational NWP models. October 2008. Revision 2. 1 Geneva, Switzerland, 2008. 37p. (WMO/TD-No.1485).

APÊNDICE A

Este apêndice está dividido em 3 partes: A primeira parte, encontram-se as figuras referentes aos oito VCANs (Apêndice A) estudados neste trabalho para cada horizonte de previsão, totalizando 120 figuras utilizando a versão MB09, e 15 utilizando a versão OPER. A segunda parte, encontram-se as tabelas referentes aos desvios entre o centro observado e previsto apresentados pela versão MB09 na detecção dos VCANs, de acordo com os limiares de PD estabelecidos neste estudo 1, 2, 3, 4 e cinco graus (Apêndice B). E a terceira parte, refere-se ao fluxograma (Apêndice C) que representa as etapas da metodologia que foram realizadas neste trabalho.

Versão SPCON-MB09



<u>VC-01</u>

Continua



<u>VC-02</u>





<u>VC-03</u>



Continua



<u>VC-04</u>





<u>VC-05</u>





<u>VC-06</u>



Continua



<u>VC-07</u>





<u>VC-08</u>



Continua



Figura A.1 - Representação do Posicionamento dos centros dos VCANs pelos membros do SPCON-MB09 dos 8 eventos estudados nesta pesquisa. Posições do centro do VCAN conforme observado nas análises (círculos verdes) e distâncias das previsões até o centro observado do VCAN (varetas azuis). O triângulo (vermelho) são os acertos de algum membro do SPCON na previsão do posicionamento dos centros dos VCANs.

Versão OPER

<u>VC-01</u>





Figura A.2 - Representação do Posicionamento dos centros dos VCANs pelos membros do SPCON-OPER para o VC-01. Posições do centro do VCAN conforme observado nas análises (círculos verdes) e distâncias das previsões até o centro observado do VCAN (varetas azuis). O triângulo (vermelho) são os acertos de algum membro do SPCON na previsão do posicionamento dos centros dos VCANs.

APÊNDICE B

Tabela B.1 - Representação da PD dos centros dos VCANs em função do prazo de previsão dos 8 eventos. A detecção foi considerada em relação aos limites de um, dois, três, quatro e cinco graus.

	1 GI	RAU	2 GR	AUS	3 GR	AUS	4 GF	RAUS	5 GR	AUS
DEFAS	PD									
AGEM	ENM	CTRL								
(hs)	OPER									
24	0,44	0,33	0,78	0,44	1,00	0,78	1,00	0,89	1,00	0,89
48	0,11	0,11	0,33	0,11	0,67	0,33	0,78	0,67	0,89	0,89
72	0,00	0,00	0,11	0,11	0,33	0,22	0,78	0,56	0,89	0,78
96	0,11	0,11	0,11	0,22	0,33	0,22	0,33	0,33	0,56	0,33
120	0,00	0,00	0,11	0,00	0,33	0,00	0,56	0,22	0,56	0,56
144	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56
168	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,11	0,22	0,33
192	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,22
216	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,22	0,22	0,22
240	0,00	0,00	0,00	0,11	0,22	0,11	0,44	0,11	0,44	0,33
264	0,00	0,11	0,00	0,11	0,11	0,11	0,33	0,11	0,56	0,11
288	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11	0,11
312	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00
336	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela B.2 – Representação da PD do centro do VCAN em função do prazo de previsão do evento VC-01, utilizando o SPCON-MB09. A detecção foi considerada em relação aos limites de um, dois, três, quatro e cinco graus.

_	1 G	RAU	2 GF	RAUS	3 GF	AUS	4 GF	RAUS	5 GF	RAUS
DEFAS. (hs)	PD ENM MB09	PD CTRL MB09								
24	0,22	0,33	0,78	0,56	1,00	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00
48	0,11	0,44	0,89	0,56	1,00	0,78	1,00	1,00	1,00	1,00
72	0,33	0,00	0,56	0,33	0,89	0,33	1,00	0,67	1,00	0,89
96	0,11	0,11	0,44	0,11	0,56	0,22	0,78	0,22	0,89	0,33
120	0,22	0,00	0,33	0,11	0,67	0,33	0,78	0,33	0,89	0,56
144	0,22	0,00	0,44	0,11	0,44	0,44	0,56	0,44	0,78	0,44
168	0,11	0,00	0,22	0,11	0,44	0,22	0,67	0,33	0,67	0,56
192	0,11	0,00	0,22	0,11	0,44	0,44	0,56	0,56	0,78	0,78
216	0,11	0,00	0,33	0,11	0,44	0,11	0,67	0,33	0,67	0,44
240	0,11	0,00	0,33	0,11	0,56	0,22	0,78	0,22	0,78	0,22
264	0,22	0,00	0,22	0,22	0,67	0,33	0,67	0,56	0,89	0,56
288	0,11	0,11	0,44	0,22	0,56	0,22	0,78	0,56	0,78	0,56
312	0,11	0,00	0,56	0,00	0,56	0,11	0,67	0,44	0,89	0,56
336	0,00	0,00	0,22	0,00	0,56	0,11	0,78	0,22	0,78	0,33

360	0,00	0,00	0,00	0,11	0,11	0,11	0,56	0,11	0,78	0,11

Tabela B.3 - Representação da PD do centro do VCAN em função do prazo de previsão do evento VC-01, utilizando o SPCON-OPER. A detecção foi considerada em relação aos limites um, dois, três, quatro e cinco graus.

	1 GI	RAU	2 GR	AUS	3 GR	AUS	4 GR	AUS	5 GR	AUS
DEFAS.	PD	PD								
(hs)	ENM OPER	CTRL OPER								
24	0,44	0,33	0,78	0,44	1,00	0,78	1,00	0,89	1,00	0,89
48	0,11	0,11	0,33	0,11	0,67	0,33	0,78	0,67	0,89	0,89
72	0,00	0,00	0,11	0,11	0,33	0,22	0,78	0,56	0,89	0,78
96	0,11	0,11	0,11	0,22	0,33	0,22	0,33	0,33	0,56	0,33
120	0,00	0,00	0,11	0,00	0,33	0,00	0,56	0,22	0,56	0,56
144	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56
168	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,11	0,22	0,33
192	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,22
216	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,22	0,22	0,22
240	0,00	0,00	0,00	0,11	0,22	0,11	0,44	0,11	0,44	0,33
264	0,00	0,11	0,00	0,11	0,11	0,11	0,33	0,11	0,56	0,11
288	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00	0,11	0,11
312	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00
336	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela B.4 - Demonstrativo dos desvios em graus entre o centro observado e centro previsto para os prazos de previsão. O desvio médio equivalente correspondem aos 8 eventos, e para todos os membros do conjunto.

						D	EFAS	AGE	NS							
	EVENTOS	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360
	VC-01	2,8	2,4	2,5	3,5	3,6	5,2	5,4	3,1	5,1	5,2	3,4	2,8	4,1	4,1	6,6
	VC-02	2,4	1,4	2,4	2,5	3,7	5,8	4,1	3,7	3,1	2,0	3,3	3,6	5,1	4,6	4,6
7	VC-03	0,8	1,4	2,1	3,1	3,2	3,5	4,1	3,8	4,1	3,1	3,8	4,2	4,8	5,0	5,8
011	VC-04	2,2	2,4	3,6	3,9	3,2	3,4	3,0	3,5	3,3	3,4	3,8	4,5	4,5	3,7	3,7
	VC-05	2,4	2,4	3,2	3,6	4,9	7,3	7,9	7,7	8,3	8,3	8,0	8,8	7,1	6,6	7,1
	VC-06	3,0	2,9	2,6	4,1	4,3	5,3	5,3	3,8	4,2	6,1	3,8	3,7	4,4	5,1	4,8
	VC-07	1,9	4,0	5,6	7,0	4,5	6,6	7,2	7,6	5,6	6,9	7,7	7,3	7,2	4,6	6,6
	VC-08	2,8	2,5	3,1	3,8	3,3	4,2	3,9	3,9	3,5	2,4	3,9	5,6	5,2	4,1	5,3
	VC-01	3,0	2,3	3,3	4,3	4,4	4,8	4,8	5,4	7,2	7,2	5,8	5,7	4,7	5,4	5,3
	VC-02	1,9	2,2	2,5	4,4	3,2	3,9	4,1	4,2	2,8	3,5	3,4	4,1	2,0	1,5	1,9
IP	VC-03	1,1	1,9	2,4	2,3	3,7	4,2	4,5	4,8	5,5	3,5	3,2	3,4	5,5	4,9	3,2
0	VC-04	2,4	2,4	2,5	3,3	3,1	3,1	3,9	3,6	3,1	2,9	3,7	2,9	3,1	3,2	3,7
	VC-05	2,7	3,9	4,3	4,8	4,5	4,7	5,1	4,7	4,3	4,5	5,9	6,0	4,9	5,4	5,2
	VC-06	3,3	3,0	3,8	5,8	6,8	7,3	6,7	8,2	8,0	8,0	6,3	7,7	8,7	9,7	10,9

VC-07	2,7	3,0	3,7	4,4	6,4	5,0	4,9	4,1	6,8	5,7	6,3	7,1	7,6	8,2	8,5
VC-08	3,1	5,3	5,5	3,2	3,2	9,3	5,2	7,3	9	7,5	6,7	5,4	6,7	4,3	5,8

Continua

Continuação

	VC-01	2,3	3,0	2,9	2,7	3,9	3,7	4,0	4,7	4,1	3,8	4,3	3,9	3,4	3,6	5,2
	VC-02	1,6	2,6	1,7	2,3	4,1	5,6	5,5	4,2	5,7	4,7	2,6	2,8	5,7	4,4	5,7
	VC-03	1,2	1,8	1,8	2,4	2,5	3,7	3,4	3,2	3,0	4,1	4,0	4,6	4,4	4,1	3,4
Z	VC-04	2,1	2,7	2,9	2,9	2,8	2,2	2,9	2,9	2,8	2,9	3,2	3,3	3,3	3,3	3,0
0	VC-05	5,2	4,8	5,3	5,6	7,8	8,3	8,2	9,0	9,1	9,3	8,8	8,3	8,5	9,6	10,5
	VC-06	3,8	4,8	5,4	5,9	5,4	5,8	5,6	7,1	8,1	8,7	7,3	7,9	6,2	7,8	8,8
	VC-07	2,0	3,1	4,0	5,6	6,5	6,9	6,9	7,3	6,5	6,3	6,4	6,0	5,9	7,2	6,2
	VC-08	4,6	3,2	2,6	5,2	5,3	3,2	6,4	6,2	7,9	7,0	7,1	5,8	8,1	8,3	5,6
	VC-01	2,1	1,1	2,7	4,0	4,7	5,1	5,7	6,8	8,1	6,7	4,6	5,5	6,4	6,4	9,0
	VC-02	2,3	1,8	2,0	2,9	3,6	1,5	3,3	2,8	2,2	1,8	2,5	3,6	2,7	3,8	3,8
	VC-03	0,8	2,6	2,7	3,9	4,1	5,3	5,5	4,3	4,6	4,9	4,8	3,8	5,4	6,0	5,9
2P	VC-04	2,3	2,5	2,5	3,1	3,2	3,1	3,1	3,6	3,6	3,5	3,3	4,4	3,8	3,9	4,0
0	VC-05	1,8	3,6	5,1	5,4	4,8	4,2	4,8	4,8	5,2	6,5	5,5	6,1	6,0	4,8	4,6
	VC-06	2,7	2,7	4,0	4,5	7,5	6,7	9,9	8,4	6,5	7,3	7,1	7,9	9,9	8,3	6,8
	VC-07	2,3	3,5	4,3	5,8	7,6	5,0	5,4	7,3	7,7	6,0	5,5	6,2	6,2	6,1	6,6
	VC-08	3,0	2,9	4,4	5,4	3,9	6,1	6,6	4,4	5,6	6,8	6,5	6,7	5,2	7,3	7,3
	VC-01	2,2	2,6	3,5	3,5	4,1	3,9	4,9	4,1	4,1	4,1	3,1	4,4	4,8	4,1	4,6
	VC-02	2,1	1,7	3,0	1,9	4,0	3,2	4,0	3,7	2,9	2,8	3,0	2,6	3,8	1,9	2,6
	VC-03	1,6	1,6	1,9	2,7	3,4	3,7	4,0	5,3	4,5	4,7	5,1	5,1	5,0	4,8	5,8
S	VC-04	3,1	3,8	3,1	3,6	3,0	3,7	3,4	3,2	2,8	2,8	3,2	3,0	3,4	4,0	3,6
0	VC-05	5,2	4,8	5,7	5,7	7,4	7,5	7,8	8,8	9,2	10,2	9,3	11,2	11,5	11,9	10,5
	VC-06	3,0	2,9	2,7	4,6	6,4	6,3	6,4	4,8	6,2	7,8	7,1	6,9	8,6	7,4	8,5
	VC-07	3,0	3,5	3,7	5,6	7,0	6,4	6,7	5,9	6,9	6,0	7,3	6,6	8,0	7,1	5,8
	VC-08	4,2	4,0	5,3	5,2	4,5	6,7	8,5	4,5	6,5	6,8	6,5	5,6	11,0	10,9	7,9
	VC-01	2,1	1,1	2,7	4,0	4,7	5,1	5,7	6,8	8,1	6,7	4,6	5,5	6,4	6,4	9,0
	VC-02	2,3	1,8	2,0	2,9	3,6	1,5	3,3	2,8	2,2	1,8	2,5	3,6	2,7	3,8	3,8
	VC-03	0,8	2,6	2,7	3,9	4,1	5,3	5,5	4,3	4,6	4,9	4,8	3,8	5,4	6,0	5,9
3P	VC-04	2,9	2,9	2,9	3,0	3,2	3,4	3,2	3,3	3,2	3,8	3,6	3,7	3,5	3,9	4,0
0	VC-05	2,9	3,7	4,1	4,2	4,1	4,4	5,8	5,2	5,5	6,3	6,7	6,0	5,4	5,3	6,5
	VC-06	3,8	4,2	4,3	4,7	6,2	6,6	7,6	8,2	8,9	8,7	9,9	8,2	9,6	8,8	8,3
	VC-07	2,7	4,2	6,9	9,0	10,8	11,5	13,3	11,3	9,7	9,4	9,4	9,4	8,1	7,2	6,2
	VC-08	5,4	6,3	5,8	5,5	5,1	11,0	9,5	10,3	10,0	8,8	5,2	7,7	3,9	8,0	4,2
	VC-01	2,6	2,7	2,5	2,8	3,4	3,3	3,9	4,0	4,2	3,5	2,8	3,3	2,7	2,8	5,1
	VC-02	1,9	2,3	3,0	5,2	4,3	2,6	2,5	4,5	2,9	2,5	1,1	2,8	2,1	3,3	3,8
7	VC-03	1,3	1,4	1,5	2,3	2,7	3,3	5,0	4,2	4,4	4,4	4,8	4,3	4,8	3,6	4,9
041	VC-04	2,2	1,9	3,1	3,3	3,0	2,6	3,3	3,1	3,2	3,3	3,2	3,5	4,2	3,6	2,9
	VC-05	5,2	4,8	5,6	6,3	7,2	6,5	6,1	6,8	7,3	7,6	6,9	7,8	8,4	9,4	9,6
1	VC-06	3,1	3,1	3,8	4,7	5,2	4,7	4,8	5,0	6,2	7,0	8,6	7,7	5,7	7,0	6,3
	VC-07	1,9	3,2	3,9	3,8	6,4	7,3	6,5	5,6	5,6	5,1	6,4	7,8	6,3	5,6	5,9

 VC-08
 2,2
 4,1
 8,1
 5,8
 6,1
 5,9
 6,4
 5,7
 7,9
 7,2
 8,1
 9,2
 5,1
 5,5
 7,4

 Continua

-						1	1	1		1	1		1	1	1	
	VC-01	1,3	1,6	2,5	3,5	4,7	5,2	7,2	7,1	7,7	6,2	6,9	7,6	6,6	6,7	6,0
	VC-02	1,6	1,9	2,2	2,8	3,3	3,6	4,0	3,3	2,5	2,4	3,3	2,9	2,5	2,9	3,5
	VC-03	3,0	3,0	2,8	3,5	3,1	3,3	3,5	4,1	3,7	3,1	3,1	3,3	3,8	3,3	3,6
4P	VC-04	0,9	2,8	2,8	3,5	4,5	4,6	5,5	3,9	4,3	5,2	3,7	5,5	4,9	3,6	4,5
0	VC-05	4,3	4,8	4,2	6,4	7,7	7,7	7,4	6,5	7,1	7,2	7,6	7,5	6,2	7,9	8,0
	VC-06	2,7	3,1	5,1	6,4	7,9	8,1	9,5	7,7	7,6	8,6	7,0	6,5	8,8	9,3	9,2
	VC-07	2,9	2,8	3,8	6,5	6,8	7,8	6,7	7,5	7,2	6,8	5,6	6,8	6,3	7,1	7,9
	VC-08	2,9	2,8	3,8	6,5	6,8	7,8	6,7	7,5	7,2	6,8	5,6	6,8	6,3	7,1	7,9
	VC-01	1,9	3,3	3,3	3,6	4,2	4,6	5,0	4,5	6,0	3,2	4,3	3,8	3,9	7,4	6,5
	VC-02	1,6	1,9	2,2	2,8	3,3	3,6	4,0	3,3	2,5	2,4	3,3	2,9	2,5	2,9	3,5
	VC-03	1,5	2,3	2,6	2,2	2,8	2,9	3,4	3,5	4,1	3,8	4,3	5,0	4,9	4,2	4,6
Z	VC-04	2,3	2,5	2,7	2,8	2,8	3,3	3,2	3,3	3,1	2,8	2,8	2,7	2,5	2,8	2,8
ö	VC-05	5,5	5,6	6,0	5,0	6,0	7,5	7,9	7,4	8,2	8,9	8,5	6,9	9,7	8,4	8,9
	VC-06	3,1	3,8	3,3	4,2	5,2	7,0	5,3	6,5	6,5	6,5	6,9	6,8	7,9	11,4	8,8
	VC-07	2,6	3,1	3,7	4,4	6,4	5,0	4,5	3,8	6,6	5,5	6,1	7,1	7,5	8,2	8,4
	VC-08	3,7	4,2	4,5	5,9	6,7	7,2	5,0	6,9	5,7	5,7	9,2	3,7	7,2	7,3	6,6
	VC-01	1,3	1,9	3,6	3,8	4,1	3,2	4,1	4,0	3,8	3,5	3,8	5,2	4,9	4,0	4,3
	VC-02	1,4	1,4	3,3	3,1	3,4	2,9	4,8	5,2	2,0	4,6	1,5	2,5	2,0	3,0	4,0
	VC-03	1,5	1,5	2,2	2,5	2,8	4,3	3,6	3,9	4,6	3,0	3,5	4,9	4,3	4,4	3,3
SP	VC-04	2,3	2,8	2,6	3,3	3,3	3,7	4,3	4,3	3,7	3,9	4,4	4,6	4,7	3,9	3,8
Ö	VC-05	2,4	3,0	4,0	4,3	5,2	5,5	5,0	6,0	6,1	5,3	5,5	6,3	5,9	5,3	6,4
	VC-06	2,9	2,8	4,3	4,7	6,2	7,6	7,8	8,6	9,5	11,2	9,6	10,9	11,5	11,4	9,9
	VC-07	3,2	3,7	5,7	8,2	10,7	9,6	8,6	10,5	10,2	8,9	8,7	8,3	5,8	7,1	7,0
	VC-08	3,7	3,1	5,1	3,9	3,9	6,7	5,7	5,3	7,5	8,0	5,9	5,3	9,6	8,8	7,0
	VC-01	2,7	2,4	3,3	3,3	3,3	3,4	2,6	5,7	4,2	6,4	6,3	4,9	5,2	5,7	6,9
	VC-02	1,4	2,1	1,5	3,6	3,4	3,2	3,2	3,5	2,1	1,6	1,4	1,9	1,9	1,9	1,8
	VC-03	1,3	1,9	1,8	2,4	2,6	3,0	3,1	4,1	3,4	4,0	4,9	4,9	4,6	4,6	3,7
S	VC-04	2,2	2,7	2,4	3,0	3,2	2,6	3,0	3,0	3,2	3,1	3,5	3,4	3,2	2,9	3,0
Ō	VC-05	4,4	5,2	5,1	5,2	6,0	6,8	7,8	9,1	7,6	8,2	8,1	8,9	8,4	8,6	9,0
	VC-06	3,1	3,4	3,7	5,5	7,2	7,0	6,0	4,7	7,3	6,1	7,2	8,3	7,9	7,7	8,3
	VC-07	2,5	2,2	4,3	3,9	4,6	4,9	4,6	5,1	4,5	3,1	4,1	4,1	4,6	6,0	5,8
	VC-08	2,8	4,2	5,7	3,1	4,9	5,5	7,7	5,2	4,8	4,5	6,3	8,5	9,7	8,3	7,7
	VC-01	1,5	1,3	2,3	3,3	3,3	3,9	4,3	4,4	5,5	4,2	3,0	6,4	7,2	7,2	8,0
	VC-02	1,9	3,1	4,6	5,1	4,6	3,3	4,2	4,2	3,8	1,9	2,0	2,5	2,6	2,3	3,5
	VC-03	1,6	2,6	3,2	3,0	4,6	5,3	5,0	5,5	5,7	5,4	4,1	3,3	3,7	3,7	4,5
6P	VC-04	3,0	2,8	2,8	3,1	3,7	3,8	4,8	5,1	4,7	5,0	5,1	4,5	5,1	5,3	5,2
0	VC-05	2,4	3,0	4,0	4,3	5,2	5,5	5,0	6,0	6,1	5,3	5,5	6,3	5,9	5,3	6,4
	VC-06	3,7	4,1	4,1	4,3	8,5	7,2	7,9	7,9	7,7	7,1	8,4	9,3	11,1	8,1	9,3
	VC-07	2,5	3,4	4,2	6,2	7,8	6,5	6,7	7,2	6,9	7,6	7,1	5,9	6,3	6,0	4,7
	VC-08	4,0	4,3	3,8	2,7	4,3	4,4	6,6	6,8	6,5	4,2	7,6	7,4	6,9	8,6	8,8

	VC 01	25	2.1	20	1.0	4 1	47	5.0	2.2	20	4.2	20	47	(7	5.2	4.0
	VC-01	2,5	2,1	2,8	4,6	4,1	4,/	5,0	3,2	3,8	4,5	3,6	4,/	6,7	5,5	4,9
	VC-02	0,9	1,6	2,3	2,9	3,4	4,7	4,5	3,4	3,1	4,0	2,4	1,0	1,1	2,3	1,9
	VC-03	0,7	1,9	2,4	2,7	3,4	3,4	3,7	3,6	3,0	3,6	3,3	3,3	3,8	3,9	4,3
Z	VC-04	2,1	2,9	2,7	3,1	3,0	2,4	3,1	3,9	3,5	3,4	3,7	3,4	3,2	3,5	2,8
0	VC-05	2,8	2,8	2,9	3,2	4,1	5,0	5,7	5,6	5,2	5,8	5,7	6,3	7,0	6,5	7,0
	VC-06	3,3	3,7	4,0	4,7	6,8	5,6	4,7	6,1	5,6	7,3	10,2	8,9	7,8	10,8	10,5
	VC-07	2,8	2,7	4,0	5,9	3,9	5,0	3,8	6,7	5,3	4,6	5,7	6,0	4,4	3,1	6,4
	VC-08	5,1	6,9	4,4	5,7	5,2	4,9	5,7	5,4	6,7	4,6	6,4	8,4	8,0	7,2	10,0
	VC-01	1,6	1,5	2,7	3,6	3,1	3,2	4,0	5,4	4,6	5,5	4,7	5,3	5,1	5,2	6,7
	VC-02	1,8	2,4	2,6	2,2	2,4	4,2	3,9	4,1	2,5	3,0	1,7	2,2	2,3	1,7	3,4
	VC-03	1,8	1,6	1,9	2,4	3,4	3,4	4,7	4,8	4,4	4,1	4,2	5,1	4,8	3,8	4,3
ΤP	VC-04	2,8	2,8	3,4	3,9	4,7	5,1	4,6	5,2	5,3	5,8	5,3	5,1	4,2	4,7	5,8
) O	VC-05	3,3	3,5	4,0	4,9	4,5	5,5	5,5	5,0	6,1	6,6	7,2	6,3	6,1	6,6	5,8
	VC-06	3,3	3,8	4,6	4,1	4,7	6,6	8,1	7,6	6,8	5,8	8,3	10,2	10,3	9,8	8,9
	VC-07	4,1	4,8	7,5	11,3	11,7	13,7	17,1	14,2	10,8	9,8	9,3	10,5	9,2	8,6	6,2
	VC-08	3,7	5,6	2,2	4,2	4,9	7,2	9,3	10,0	9,3	7,6	10,2	8,1	5,3	6,2	7,4
	VC-01	2,1	1,8	3,5	5,0	5,0	5,3	5,1	3,8	4,9	6,9	6,1	5,9	6,2	6,4	7,2
	VC-02	1,0	1,3	1,3	1,9	3,4	3,1	2,9	2,7	2,2	1,1	2,2	2,3	2,9	3,3	3,6
	VC-03	1,0	1,4	2,2	2,3	2,7	2,8	3,9	3,6	2,7	2,6	3,4	3,7	3,2	2,6	2,7
RL	VC-04	1,8	2,4	2,9	3,5	3,7	3,8	4,2	4,8	4,7	4,4	4,8	5,6	6,0	5,4	5,9
CI	VC-05	1,6	2,8	3,0	4,0	4,3	4,6	5,7	5,8	4,9	6,7	5,9	5,5	5,6	6,2	6,6
	VC-06	2,4	2,9	2,9	3,5	4,5	5,3	5,4	6,3	5,7	6,3	8,7	8,9	7,8	8,3	10,4
	VC-07	2,8	3,5	6,1	5,8	10,6	12,9	12,3	15,7	13,1	12,7	12,2	12,9	9,2	7,8	7,9
	VC-08	2,1	4,0	3,3	1,8	2,6	7,3	6,5	8,7	8,8	7,6	8,6	12,0	10,8	10,3	6,5

APÊNDICE C:



Figura C.1 - Representação (Fluxograma) dos processos para a detecção dos VCANs



Figura C.2 - Fluxograma da detecção dos VCANs, utilizando os limiares de um, dois, três, quatro e cinco graus.