



UFRJ

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA - PPGM**

POR HENRIQUE VAICBERG

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ

**CARACTERIZAÇÃO SINÓTICA DE 3 EPISÓDIOS DE CICLONES
SUBTROPICAIS NA COSTA SUL E SUDESTE DO BRASIL UTILIZANDO O
SRDAS**

Rio de Janeiro

2017

HENRIQUE VAICBERG

**CARACTERIZAÇÃO SINÓTICA DE TRÊS EPISÓDIOS DE CICLONES
SUBTROPICAIS NA COSTA SUL E SUDESTE DO BRASIL UTILIZANDO O
SRDAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (área: Meteorologia).

Orientadores:

Dr^a. Ana Maria Bueno Nunes

Dr^a. Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira

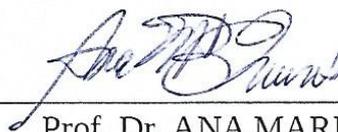
Rio de Janeiro

2017

**CARACTERIZAÇÃO SINÓTICA DE TRÊS EPISÓDIOS DE CICLONES SUBTROPICAIS
NA COSTA SUL E SUDESTE DO BRASIL UTILIZANDO O SRDAS**

HENRIQUE VAICBERG

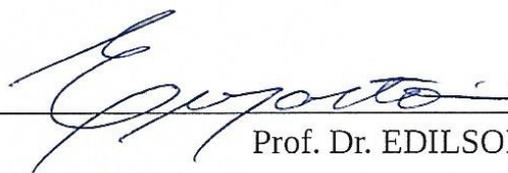
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ) COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM METEOROLOGIA.



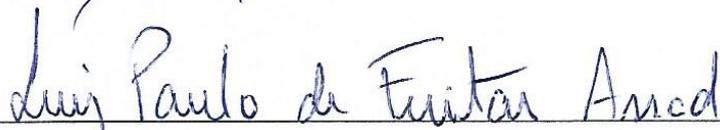
Prof. Dr. ANA MARIA BUENO NUNES



Prof. Dr. ANA CRISTINA PINTO DE
ALMEIDA PALMEIRA



Prof. Dr. EDILSON MARTON



Prof. Dr. LUIZ PAULO DE FREITAS ASSAD



Prof. Dr. MÁRCIO CATALDI

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil)

V128 Vaicberg, Henrique
Caracterização Sinótica de três episódios de ciclones subtropicais na Costa Sul e sudeste do Brasil utilizando o SRDAS. – 2017.
164 f.: il. color.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação Meteorologia, 2017.

Orientadoras: Prof^a. Dr^a. Ana Maria Bueno Nunes.
Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira

1. SRDAS. 2. Diagrama de Fase. 3. Ciclone Subtropical. 4. Atlântico Sul. I. Vaicberg, Henrique. II. Nunes, Ana Maria Bueno. III. Palmeira, Ana Cristina Pinto de Almeida. IV. Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO/PPGM/CCMN, Programa de Pós-graduação em Meteorologia. V. Título.

CDD

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha esposa e meus filhos por sempre me apoiarem e me amarem. Essa conquista é também de vocês.

Aos meus pais queridos, que sempre me ajudaram e apoiaram, com seus amores incondicionais.

Aos meus irmãos, que sempre estão presente quando mais necessito.

As minhas orientadoras, professoras Ana Nunes e Ana Cristina, agradeço pela paciência e dedicação, pelos conhecimentos transmitidos e por terem aceitado este desafio comigo.

Aos Professores do PPMG, minha gratidão e respeito, a quem devo muito na minha formação.

Agradeço aos meus amigos Caio Souza e Laís Raysa Lopes Ferreira por estarem sempre prontos a me ajudar.

Aos meus amigos do CIAGA agradeço o apoio e o incentivo.

E finalmente, agradeço a Deus, que guia nossos caminhos, pois nada somos e nada realizamos sem sua vontade.

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO SINÓTICA DE TRÊS EPISÓDIOS DE CICLONES SUBTROPICAIS NA COSTA SUL E SUDESTE DO BRASIL UTILIZANDO O SRDAS

Henrique Vaicberg

ORIENTADORAS: Ana Maria Bueno Nunes e Ana Cristina Pinto de Almeida
Palmeira

O conhecimento da evolução dos ciclones subtropicais na costa da América Sul fica comprometido pela escassez de observações. Portanto, o uso de produtos com base em sensoriamento remoto e (re)análises globais são comuns para a compreensão de tais fenômenos meteorológicos. No entanto, devido a baixa resolução espacial de muitos desses produtos, características específicas dos ciclones subtropicais encontrados nesta região são mascaradas, tornando difícil a identificação dos mesmos. Portanto, análises de ocorrências de ciclones na costa Sul e Sudeste do Brasil são feitas através de uma reconstrução, em desenvolvimento no Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. A reconstrução denominada *Satellite-enhanced Regional Downscaling for Applied Studies* (SRDAS), é produzida com base na assimilação de estimativas de precipitação por satélites ambientais, em combinação com uma técnica de *downscaling* dinâmico aplicada a uma reanálise global, gerando os campos horários de variáveis atmosféricas e de superfície sobre a América do Sul, disponíveis de janeiro de 1998 a dezembro de 2012. Como forma de ilustrar e reforçar a importância do estudo dos ciclones subtropicais na costa sul e sudeste do Brasil são analisados os três casos observados nos seguintes meses: fevereiro de 2006, janeiro de 2008, março de 2010. O presente estudo classifica os três casos reconstruídos como ciclones subtropicais, tendo em conta as respectivas estruturas verticais e condições atmosféricas favoráveis ao desenvolvimento desses sistemas.

Palavras-chave: SRDAS; Diagrama de fase; Ciclone Subtropical; Atlântico Sul.

ABSTRAT

SYNOTIC CHARACTERIZATION OF THREE EPISODES OF SUBTROPICAL CYCLONES IN THE SOUTHERN AND SOUTHERN COAST OF BRAZIL USING THE SRDAS

Henrique Vaicberg

ADVISORS: Ana Maria Bueno Nunes and Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira

Knowledge of the evolution of subtropical cyclones on the coast of South America is compromised by the scarcity of observations. Therefore, the use of products based on remote sensing and global analyzes and reanalysis are common for the understanding of such meteorological phenomena. However, due to the low resolution of many of these products, specific characteristics of the subtropical cyclones found in this region are masked, making it difficult to identify them. Therefore, analyzes of occurrences of cyclones on the south and southeast coast of Brazil are done through a reconstruction, under development at the Meteorology Department of the Federal University of Rio de Janeiro. The hydro-climatic reconstruction, called Satellite-enhanced Regional Downscaling for Applied Studies (SRDAS), is produced based on the assimilation of precipitation estimates by environmental satellites, in combination with a dynamic downscaling technique applied to a global reanalysis, generating time atmospheric and surface variables over South America, available from January 1998 to December 2012. As a way of illustrating and reinforcing the importance of the study of subtropical cyclones on the south and southeast coast of Brazil, the three cases observed in the following months : February 2006, January 2008, March 2010. The present study classifies the three cases reconstructed as subtropical cyclones, taking into account the respective vertical structures and atmospheric conditions favorable to the development of these systems.

Keywords: SRDAS; Phase diagram; Subtropical Cyclone; South Atlantic.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO.....	19
2. CICLONES	20
2.1 CICLOGÊNESES NO ATLÂNTICO SUL.....	21
2.2 CICLONES TROPICAIS	23
2.3 CICLONES EXTRATROPICAIS	27
2.4 CICLONE SUBTROPICAL	30
2.5 CICLONES SUBTROPICAIS E SUA OCORRÊNCIA NO BRASIL.....	35
2.6 MECANISMO DE FORMAÇÃO DE CICLONES SUBTROPICAIS NO ATLÂNTICO SUL	37
2.7 CASOS OCORRIDOS NO ATLÂNTICO SUL.....	38
2.8 EXEMPLOS DE IMPACTOS DE CICLONES EM CIDADES, NA COSTA, NA NAVEGAÇÃO, NA INDÚSTRIA MARÍTIMA E NA ECONOMIA.....	44
3. METODOLOGIA	46
3.1 DADOS DO SRDAS.....	46
3.2 CLASSIFICAÇÕES DE CICLONES COM O DIAGRAMA DE FASE...	47
3.3 ESTUDOS DE CASO	52
3.3.1 CASO 2006.....	52
3.3.2 CASO 2008.....	53
3.3.3 CASO 2010.....	54
4. RESULTADOS	55
4.1 CASO 2006.....	55
4.2 CASO 2008.....	89
4.3 CASO 2010.....	111
5. CONCLUSÃO	154
6. TRABALHOS FUTUROS	157
7. REFERÊNCIAS	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Imagem do ciclone tropical Katrina capturado pelo satélite meteorológico GOAS-12 da NOAA.....	24
Figura 2- Ilustração das etapas da evolução de um ciclone tropical, com uma onda tropical.25	
2.1-Ilustração de Tormenta Tropical.....	25
2.2-Imagem de Depressão Tropical, com ventos na superfície de até 34 nós	25
2.3-Imagem de Tempestade Tropical, apresenta ventos na superfície 34 a 63 nós..	25
2.4-Ilustração de Furacão, apresentando ventos na superfície de 63 nós.....	25
Figura 3- Ilustração da trajetória e intensidade das tempestades tropicais.....	25
Figura 4- Imagem de satélite do furacão Catarina.....	27
Figura 5- Ilustração da evolução de um ciclone extratropical, representando ar frio.....	28
Figura 6- Imagem de satélite de ciclone extratropical, baixa próximo à costa do Uruguai...	29
Figura 7- Satélite da tempestade subtropical Nicole, capturada pela NASA, às 15:30 UTC.	31
Figura 8- Ilustração da trajetória da tempestade subtropical Nicole	31
Figura 9- Imagens do ciclone subtropical tipo A, a esquerda e B, a direita.....	32
Figura 10- Imagens de satélite em infravermelho de uma tempestade Kona, em 2003.....	33
Figura 11- Imagem dos níveis de pressão de uma baixa quente sobre a fronteira da Índia..	34
Figura 12- Imagens das correntes de superfície, (a) na bacia do Atlântico Sul e (b), o ponto convergência entre as correntes do Brasil e das Malvinas	36
Figura 13- Ilustrações dos principais casos de ocorrência na costa brasileira... ..	37
Figura 14- Imagem da Carta Sinótica, as baixas pressões da tempestade Arani, sobre o E.S e a trajetória da tempestade subtropical Arani, desde a sua formação em alto mar.....	39
Figura 15- Imagem da Carta Sinótica(a), demonstrando as baixas pressões da tempestade subtropical Bapo e a Trajetória(b) da tempestade subtropical I Bapo em 2015, Arani desde a formação em alto mar até a costa.....	40
Figura 16- Imagens da Carta Sinótica(a) demonstrando a tempestade subtropical Cari e a Trajetória(b) da tempestade subtropical I Cari, 2015 desde a sua formação em alto mar.....	41
Figura 17- Imagem do Alagamento causado pela tempestade subtropical Cari, em Iça/Santa Catarina.....	41
Figura 18- Imagem da Carta Sinótica(a) demonstrando as baixas pressões da tempestade subtropical Deni e da Trajetória da tempestade subtropical Deni em 2016.....	42

Figura 19- Ilustração do satélite mostrando a tempestade subtropical Eçai	43
Figura 20- Ilustração da carta Sinótica(a) mostrando a tempestade subtropical Eçai e a Trajetória(b) da tempestade subtropical Eçai	43
Figura 21- Imagem do Domínio do SRDAS.....	46
Figura 22- Diagramas de fase com parâmetro (a)B e $-V_T^L$ e $-V_T^U$, com as principais categorias de ciclones.....	48
Figura 23- Diagrama de fases de um ciclone raso híbrido de 0000 UTC	49
Figura 24- Ilustração do diagrama de fase do ciclone Catarina, que ocorreu em 2004	49
Figura 25- Diagramas de fase de um ciclone sobre o Atlântico Sul obtidos a partir do modelo GFS, com resolução de $0,5^\circ$ com os parâmetros (a) B e $-V_T^L$ e (b) $-V_T^L$ e $-V_T^U$	52
Figura 26- Imagem da Ciclogênese em fevereiro de 2006.....	53
Figura 27- Imagem satélite GOES-10 IR, válida para (a) 0000 UTC 12 Jan, (b) 1200 UTC 12 Jan, (c) 0000 UTC 13 Jan e (d) 1200 UTC 13 Jan 2008.	53
Figura 28- Carta sinótica do Ciclone Anita.....	54
Figura 29- Imagem de satélite GOES-12, do ciclone Anita.....	54
Figura 30- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 22/02/2006 às 09Z.	59
Figura 31- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 22/02/2006 às 12Z.	61
Figura 32- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 22/02/2006 às 15Z.	63
Figura 33- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 22/02/2006 às 18Z.	65
Figura 34- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 22/02/2006 às 21Z.	67
Figura 35- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 23/02/2006 às 00Z.	69
Figura 36- Resultados obtidos através do modelo SRDAS, 23/02/2006 às 03Z.	71
Figura 37- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 23/02/2006 às 06Z.	73
Figura 38- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 23/02/2006 às 09Z.	75
Figura 39- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 23/02/2006 às 12Z.	77
Figura 40- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 23/02/2006 às 15Z.	79
Figura 41- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 23/02/2006 às 18Z.	81
Figura 42- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 23/02/2006 às 21Z.	83
Figura 43- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 24/02/2006 às 00Z.	85
Figura 44- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 24/02/2006 às 03Z.	87
Figura 45: Diagrama de fase do caso 2006. (a) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros $-V_T^L$ e $-V_T^U$ (b) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros B e $-V_T^L$	88
Figura 46- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 12/01/2008 às 18Z.	92

Figura 47- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 12/01/2008 às 21Z.	94
Figura 48- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 13/01/2008 às 00Z.	96
Figura 49- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 13/01/2008 às 03Z.	98
Figura 50- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 13/01/2008 às 06Z.	100
Figura 51- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 13/01/2008 às 09Z.	102
Figura 52- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 13/01/2008 às 12Z.	104
Figura 53- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 13/01/2008 às 15Z.	106
Figura 54- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 13/01/2008 às 18Z.	108
Figura 55- Cartas sinótica de PNMM para: (a) 11 às 1200 UTC. (b)12 às 0000 UTC. (c)12 às 1200 UT7. (d)13 às 0000 UTC. (e)13 às 1200 UTC. (f)14 às 0000UTC.....	109
Figura 56- Diagrama de fase do caso 2008. (a) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros $-V_T^L$ e $-V_T^U$ (b) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros B e $-V_T^L$	110
Figura 57- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 08/03/2010 às 00Z.	115
Figura 58- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 08/03/2010 às 06Z.	117
Figura 59- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 08/03/2010 às 12Z.	119
Figura 60- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 08/03/2010 às 18Z.	121
Figura 61- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 09/03/2010 às 00Z.	123
Figura 62- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 09/03/2010 às 06Z.	125
Figura 63- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 09/03/2010 às 12Z.	127
Figura 64- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 09/03/2010 às 18Z.	129
Figura 65- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 10/03/2010 às 00Z.	131
Figura 66- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 10/03/2010 às 06Z.	133
Figura 67- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 10/03/2010 às 12Z.	135
Figura 68- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 10/03/2010 às 18Z.	137
Figura 69- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 11/03/2010 às 00Z.	139
Figura 70- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 11/03/2010 às 06Z.	141
Figura 71- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 11/03/2010 às 12Z.	143
Figura 72- Resultados obtidos através do modelo SRDAS 11/03/2010 às 18Z.	145
Figura 73- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 12/03/2010 às 00Z.	147
Figura 74- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 12/03/2010 às 06Z.	149
Figura 75- Resultados obtidos através do modelo SRDAS – 12/03/2010 às 12Z.	151
Figura 76: Cartas sinótica de PNMM para: (a) 08 às 0000 UTC. (b) 08 às 1200 UTC. (c) 09 às 0000 UTC. (d) 09 às 1200 UTC. (e) 10 às 0000 UTC. (f) dia 10 às 1200UTC.....	152

Figura 77: Diagrama de fase do caso 2010. (a) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros $-V_T^L$ e $-V_T^U$ (b) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros B e $-VTL$ 153

LISTA DE ABREVIATURAS

AFWA - Air Force Weather Agency

AS – América do Sul

ASAS -Alta Subtropical do Atlântico Sul

SBMET – Sociedade Brasileira de Meteorologia

CFS - NCEP Climate Forecast System

CFSR - NCEP Climate Forecast System Reanalysis

CHM - Centro de Hidrografia da Marinha

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

ERA - ECMWF Reanalysis

EUA - Estados Unidos da América

FSU - Florida State University

GFS - Global Forecast System

GOES - Geostationary Operational Environmental Satellites

GrADS - Grid Analysis and Display System

HN - Hemisfério Norte

HS - Hemisfério Sul

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MB - Marinha do Brasil

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NCAR - National Center for Atmospheric Research

NCEP - National Centers for Environmental Prediction

NHC - National Hurricane Center

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

PNMM - Pressão ao Nível Médio do Mar

PSU - Pennsylvania State University

RSM - Regional Spectral Model

SRDAS - Satellite-enhanced Regional Downscaling for Applied Studies

SMM - Serviço Meteorológico Marinho

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

UTC - Universal Time Coordinated

VG - Vento geostrófico

V_T^L - Ventos térmicos em baixos níveis

V_T^U - Ventos térmicos em altos níveis

WRF - Weather Research and Forecasting

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de nomes em tupi-guarani para nomear sistemas Subtropicais e Tropicais	38
--	----

1. INTRODUÇÃO

O estudo dos fenômenos atmosféricos tem se tornado cada vez mais, uma importante ferramenta na prevenção de catástrofes e também na salvaguarda da vida humana. Previsões de chuvas, ventos fortes, nevascas, tempestades, e os diversos tipos de ciclones ajudam o homem a conhecer como a atmosfera funciona e como enfrentar possíveis eventos adversos.

Estudos sobre os ciclones sobre o Atlântico Sul são principalmente limitados pela escassez de observações. Como consequência, a detecção remota e os produtos de reanálise globais são geralmente empregados nas investigações das características do ciclo de vida do ciclone. No entanto, o uso freqüente da reanálise global pode dificultar a avaliação das características dos ciclones encontrados sobre ele. O uso de modelos regionais na redução de modelos de circulação geral fornece informações mais detalhadas sobre clima. A este respeito, os estudos sobre ciclones "subtropicais" foram realizados com a resolução de 25 km, Downscaling regional para estudos aplicados por satélite (SRDAS, Nunes 2016). O SRDAS é um produto desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) no Brasil. No SRDAS, o Modelo Espectral Regional assimila as estimativas de precipitação de satélites ambientais, ao mesmo tempo em que reduz de forma dinâmica uma reanálise global usando a técnica de correção de polarização seletiva de escala (Kanamitsu *et al.*, 2010) para manter a solução modelo regional de acordo com os recursos em grande escala da reanálise global conduzida.

Apesar de ocorrerem com certa frequência, pouco se conhece ainda das características dos ciclones subtropicais sobre o Atlântico Sul. Até o presente momento, apenas Evans e Braun (2012) apresentou um trabalho com uma climatologia de série longa (1957–2007), dedicada a tempestades subtropicais.

É indiscutível a importância do Atlântico Sul para a navegação, seja de cabotagem, longo curso ou *offshore*. Com isso, o conhecimento e previsão dos sistemas meteorológicos atuantes nessa região é de fundamental relevância. Um mar grosso, quando ocorrem ondas iguais ou superiores a 3 (três) metros, pode causar uma perda do rumo e diversas avarias. Ainda, em relação a indústria marítima, a formação e passagem de um sistema meteorológico como um ciclone por exemplo, acarretará em prejuízos importantes relacionados a não execução de operações de carga e descarga, mudança de rotas de navios, atrasos e cancelamentos de viagens visando a segurança da navegação e

salvaguarda da vida humana no mar ou até mesmo em último caso, a naufrágio de embarcações e/ou plataformas.

Grandes sistemas meteorológicos, como os ciclones afetam diretamente a navegação. Isso, devido aos ventos fortes gerados pelo sistema, conseqüentemente, elevação do nível do mar. Além disso, há uma grande diversidade de elementos que conspiram contra o bom andamento da navegação, devido a estes aspectos relevantes, é indispensável que haja um estudo profundo de ciclones para se obter previsões mais antecipadas desses sistemas, prevenindo as adversidades indesejadas.

Compreender melhor estes ciclones, do ponto de vista teórico é de grande importância para auxiliar na previsão operacional do tempo. A previsibilidade dos ciclones subtropicais no Atlântico Sul atualmente é baixa, com modelos numéricos e reanálises ainda são deficientes para prever e representar tais sistemas (MATHIAS, 2012; DA ROCHA E ABREU, 2013; SILVA, 2014).

Sua ocorrência regular próximo a regiões densamente povoadas e de grande importância econômica, isto é na costa Sul e Sudeste do Brasil, tornam o problema ainda mais relevante (GOZZO, 2014).

Além da incidência de ciclones tropicais, onde nunca havia sido registrada antes de 2004 no Brasil, também ocorreu o registro do aumento da incidência e da intensidade de ciclones extratropicais na costa Brasileira (MELLO *et al.*, 2015).

Segundo informações da Sociedade Brasileira de Meteorologia (SBMET), em 2007 ocorreram severos ciclones extratropicais na região Sul, causando sérios danos à região do vale do Itajaí em Santa Catarina, devido a fortes ventos e enchentes.

A ocorrência de ciclones extratropicais é comum em algumas épocas do ano na costa Brasileira, porém com o aumento das suas intensidades, aumentam-se o potencial de destruição desses ciclones e a possibilidade de, nas baixas latitudes, intensificarem-se e transformarem-se em ciclones subtropicais ou até tropicais (FERREIRA, 2007).

No caso dos ciclones subtropicais, houve em 2015 o registro anômalo de dois casos incidentes na costa Sul do Brasil, as tempestades subtropicais Bapo e Cari, que significam “chocalho usado em solenidade” e “homem branco” em tupi guarani, respectivamente. Esse último ocasionou um volume significativo de chuva e ventos de até 60 km/h, causando alagamentos e danos à população nas cidades da região litorânea do Rio Grande do Sul conforme publicado pelas mídias sócias (CORREIO DO POVO, 2015).

Sendo assim, em virtude do grande risco potencial desses fenômenos, um estudo meteorológico sistemático se faz de extrema importância para contribuir com o conhecimento e a previsão antecipada do referido sistema, com isso, antecipar possíveis situações de risco para a população.

No Capítulo 2 serão expostas as principais características dos diferentes Ciclones: Ciclones Tropicais, Ciclones Extratropicais e Ciclones Subtropicais e no Capítulo 3 será tratada a metodologia usada para identificar e classificar os Ciclones Subtropicais. No Capítulo 4 serão analisados três ciclones no Atlântico Sul, enquanto no Capítulo 5, serão apresentadas as conclusões analisadas. No capítulo 6, os trabalhos futuros e para finalizar esse trabalho, o Capítulo 7, com as referências bibliográficas.

1.1 OBJETIVO:

GERAL: O objetivo geral deste estudo é apresentar o ambiente sinótico em que ocorreram alguns ciclones subtropicais sobre o Atlântico Sul, no intuito de tornar mais clara a formação dos mesmos nesta região, a partir do SRDAS (Satellite-enhanced Regional Downscaling for Applied Studies).

ESPECÍFICOS:

Compreender o ambiente característico para formação de um ciclone subtropical sobre o Atlântico Sul.

Compreender os mecanismos dinâmicos e termodinâmicos relacionados aos desenvolvimentos dos ciclones subtropicais.

2. CICLONES

Ciclones são centros de baixa pressão ao nível do mar com atividade convectiva e movimentação ciclônica dos ventos (anti-horário no Hemisfério Norte, e horário no Hemisfério Sul). A atividade convectiva está relacionada à formação de nuvens, precipitações, tempestades.

A ciclogênese é o nascimento, desenvolvimento ou intensificação de um ciclone. Ela é estudada desde o século XIX, devido a sua extrema importância no transporte de calor, umidade e quantidade de movimento, além de mudanças no tempo da região de influência. Sua ocorrência está relacionada a três fatores: queda de pressão ao nível do mar, atividade convectiva, convergência de ventos em superfície e vorticidade dos ventos.

Essas características estão diretamente atreladas, devido ao fato que uma implica na outra. Como por exemplo, a atividade convectiva, que reduz a pressão ao nível do mar, e por consequência o ar da vizinhança é “puxado” para essa região gerando a convergência.

O estudo dessa gênese ajuda a compreender a dinâmica e a termodinâmica dessas tempestades ciclônicas, que influenciam a todos, direta e indiretamente, ao longo do ano.

Segundo Stull (2015) os seguintes fatores favorecem uma rápida ciclogênese:

- a) Forte baroclinia (grande gradiente horizontal de temperatura);
- b) Estabilidade estática fraca ou instabilidade: a temperatura decresce em razão da altitude mais rapidamente que o padrão troposférico da atmosfera;
- c) Umidade alta: o calor latente liberado no processo de condensação aumenta a energia do sistema e reduz a estabilidade estática;
- d) Elevação de terreno: que favorece o movimento vertical ascendente de uma massa de ar, embora não seja o caso dos ciclones marítimos estudados aqui.

Assim sendo, os ciclones passam por uma fase de formação, desenvolvimento e dissipação, podendo durar desde poucos dias até duas semanas.

2.1 CICLOGÊNESES NO ATLÂNTICO SUL

A ciclogênese representa o início de um ciclone com o processo de abaixamento da pressão atmosférica em superfície e consequente circulação ciclônica, ou seja, circulação do ar no HS (HN) no sentido horário (anti-horário). Gan e Rao (1991) definiram que uma ciclogênese surge com o aparecimento de uma isóbara fechada nas cartas sinóticas de pressão ao nível médio do mar (PNMM). Os autores também sugeriram que a isóbara fechada deveria persistir por pelo menos 24h. Com esta metodologia, encontraram duas regiões preferenciais para a ciclogênese sobre a costa leste da América do Sul, sendo uma na costa sudeste da Argentina e outra na costa do Uruguai.

Satyamurty *et al.* (1990), utilizando imagens de satélite para avaliar eventos ciclogenéticos no período de 1980-1986, identificaram uma variabilidade sazonal nos eventos de ciclogêneses na América do Sul (AS), sendo o verão a estação do ano com a maior ocorrência desses eventos. Deve-se ressaltar que a partir de análises com imagens de satélite os eventos de ciclogêneses em altos níveis que não se estenderam até a superfície também foram identificados no estudo de Satyamurty *et al.* (1990).

Posteriormente, Gan (1992) avaliou a frequência de ciclogêneses na AS utilizando imagens de satélite e cartas sinóticas em superfície para o período de 1979-1988. Em seu estudo, identificou as regiões do Golfo de São Matias e do Uruguai como ciclogenéticas. Além disso, observou um maior número de ciclogêneses no inverno e um menor no verão, concordando com os resultados obtidos por Necco (1982). Já Gan e Rao (1991) mostraram que a Cordilheira dos Andes desempenhara um papel importante no processo de formação de ciclones na AS

Para Guia (2011), também existe uma região ciclogenética com maior densidade sobre a Patagônia Argentina, mas o segundo máximo ocorre entre o litoral das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, sobre o Oceano Atlântico. No verão, o efeito baroclínico é a mais importante contribuição na fase de desenvolvimento dos ciclones (Cavalcanti *et al.* 2009). Hoskins e Hodges (2005), investigando ciclogêneses no HS, constataram que a maioria das ciclogêneses em baixos níveis provavelmente está associada a ondas preexistentes na média e na alta troposfera. Eles ainda ressaltaram que a influência da orografia e a liberação de calor latente podem ser fatores importantes no processo de ciclogênese em baixos níveis na região Subtropical. Todavia, o trabalho de Murray e Simmonds (1991) conclui que ocorre um máximo de atividade ciclônica durante o verão na costa leste da América do Sul, entre as latitudes de 20° S e 30° S.

Reboita *et al.* (2009), mostrou que os ciclones que se formam na costa Sul/Sudeste do Brasil deslocam-se para leste ou sudeste com velocidade média de 9 m/s, percorrem distâncias de aproximadamente 2700 km, possuem tempo de vida médio de 3 dias e nessas ciclogêneses, a presença de umidade exerce grande importância. Como salienta Cardoso *et al.*, (2012) em seu estudo, o Leste da Região Sul do país é influenciada pela atuação de ciclones extratropicais que acarretam impactos sócios-econômicos associados à ocorrência de precipitação, ventos fortes e agitação marítima. Os impactos podem ser maiores quando da ocorrência de ciclones tipo “explosivos”, que, de acordo com Bitencourt *et al.* (2011), apresentam queda de pressão central superior a 1 hPa por hora em 24 h e tem maior frequência nos meses mais frios, de junho a agosto, com início da trajetória com desenvolvimento explosivo pelo oceano e ao sul de 27° S.

Reboita (2008) elaborou uma climatologia de ciclones através de um esquema automático, que identifica mínimos de vorticidade relativa calculada pelo vento a 10 m de altura para 10 anos de dados extraídos do NCEP. Identificou três regiões de máxima atividade ciclogênica na AS, uma no Sul/Sudeste do Brasil, a segunda na desembocadura do rio da Prata no Uruguai e por último a terceira no sul da Argentina. Os resultados mostraram que nas ciclogêneses próximas ao Sul/Sudeste do Brasil, a umidade é fundamental. Nas demais regiões as ciclogêneses estão associadas à influência de cavados transientes em níveis superiores que se deslocam do Pacífico e a influência da topografia. Embora na região próxima ao Uruguai, os sistemas só se originam a 1000 km da cordilheira, pela interação dos distúrbios transientes com o cavado estacionário gerado pela influência da topografia no escoamento de oeste. Ainda, o suprimento de umidade é importante, mas não essencial para as ciclogêneses na região próxima ao Uruguai e que a topografia é fundamental para a existência dos três máximos ciclogênicos na costa Leste da AS.

2.2 CICLONES TROPICAIS

Ciclone Tropical é um centro de baixa pressão de núcleo quente, com circulação organizada, que se forma em águas tropicais e subtropicais. Sua ocorrência está relacionada a fortes ventos próximos à superfície e chuva intensa, devido à alta energia que esses sistemas possuem, sendo seu potencial de destruição muito grande (NATIONAL WEATHER SERVICE, 2011).

Na região interna forma-se um olho em torno de 20 (vinte) a 50 (cinquenta) km horizontal e normalmente são mais quentes que o ambiente ao redor possuindo uma forma circular.

A formação de um sistema tropical está diretamente relacionada a alguns fatores: possuir a temperatura da superfície do mar (TSM) acima de 26,5°C, com uma camada de mistura oceânica (CMO) de espessura superior a 50 m (para que o bombeamento de Ekman ao estreitar a CMO não a resfrie e conseqüentemente resfrie a TSM). A força de Coriolis na região precisa ser diferente de zero, possuir alta umidade na média troposfera, fraco cisalhamento vertical de vento, vortacidade e um gatilho, para gerar a convergência horizontal na atmosfera.

Mesmo com a ocorrência de todos os parâmetros descritos, um ciclone tropical depende de um mecanismo disparador para sua formação. Um exemplo de gatilho é o fenômeno das Ondas de Leste típicas da região tropical. Essas ondas geram convergência e movimento ascendente do ar (STULL, 2015).

Com todas as condições favoráveis e um gatilho próprio, forma-se o primeiro estágio de um ciclone tropical, denominado depressão tropical. Continuando a intensificar evolui para tempestade tropical e posteriormente ciclone tropical, pelo qual é denominado furacão apenas sobre o Oceano Atlântico. Esse processo está exemplificado na Figura 1.

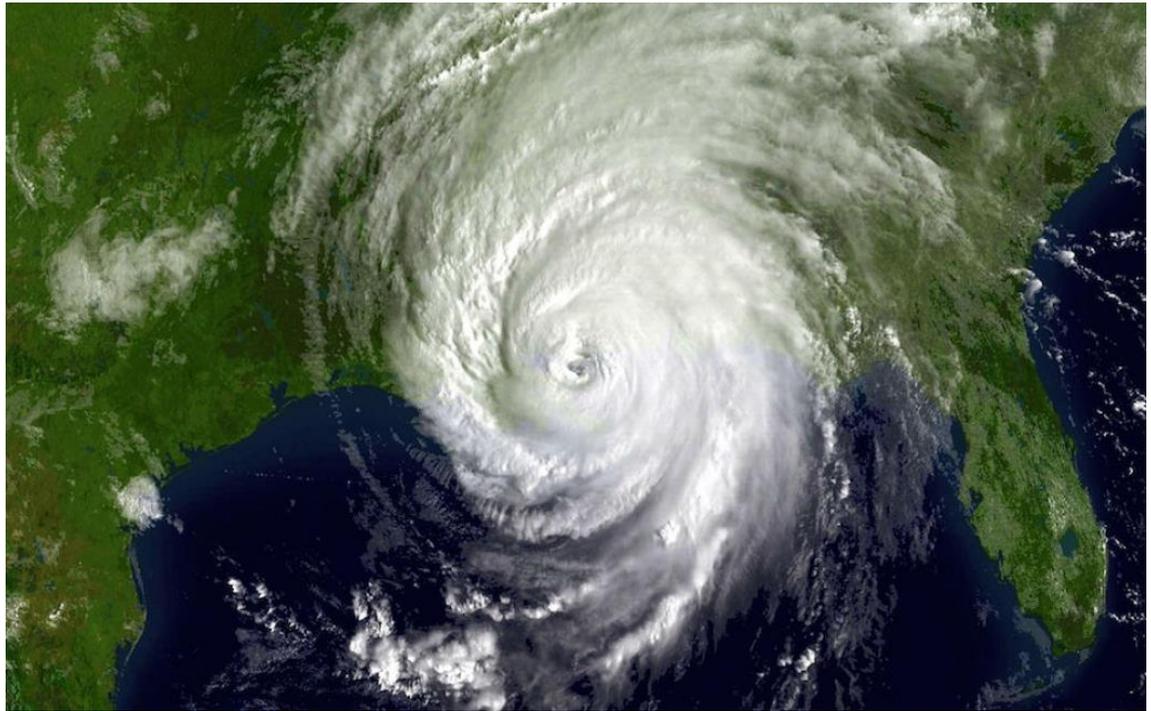


Figura 1: Imagem do ciclone tropical Katrina capturado pelo satélite meteorológico GOAS-12 da NOAA. Fonte: <https://www.nvvl.noaa.gov/site-custom/KatrinaGallery.php>

Considerando que, para a formação de um sistema tropical, a TSM precisa ser maior que $26,5^{\circ}\text{C}$. É natural que esses sistemas se formem próximo ao equador, pois nessa região a incidência da radiação solar é maior, gerando temperaturas mais elevadas.

Porém, com raras exceções, essas tempestades não se formam em latitudes menores que 5° , devido à força de Coriolis necessária para o ciclone adquira giro insuficiente. Seguindo os critérios descritos, existem sete regiões no planeta onde as tempestades tropicais são mais prováveis de se formar, e estão ilustradas na Figura 2 (STULL, 2015).

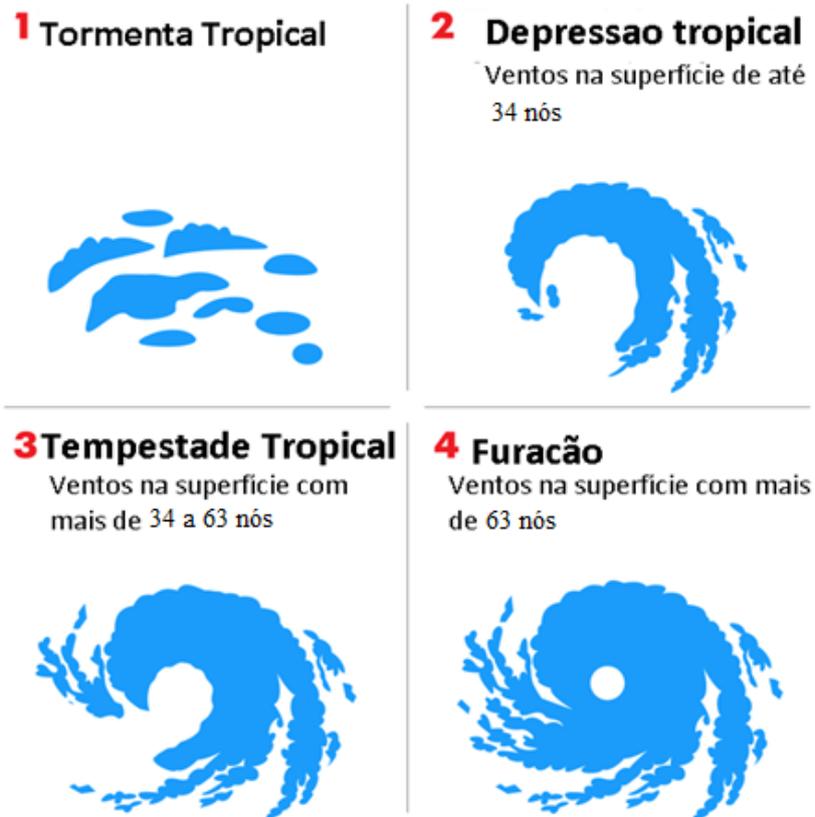


Figura 2: Ilustração das etapas da evolução de um ciclone tropical, desde uma onda tropical até o furacão. Fonte: adaptado de scoopnest.com.

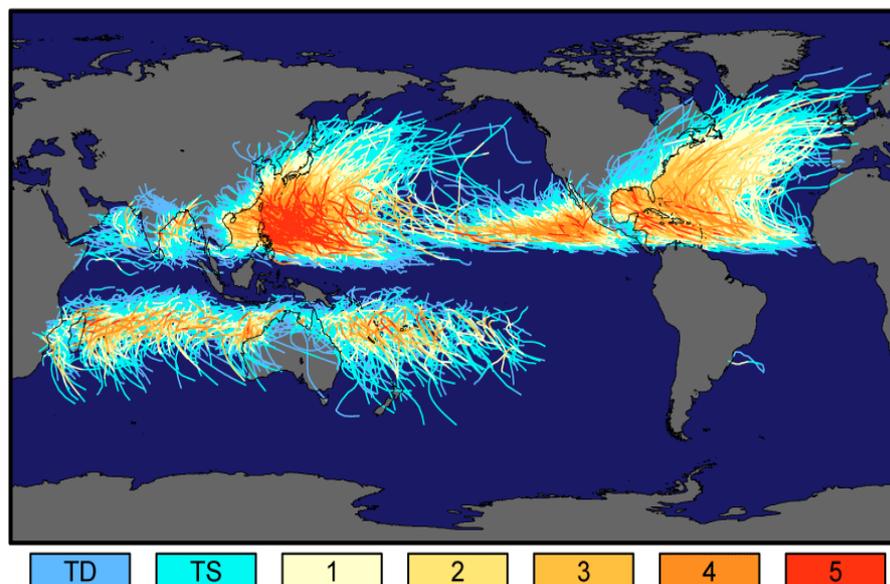


Figura 3: Ilustra a trajetória e intensidade das tempestades tropicais. Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov>.

Ciclones tropicais ocorrem rotineiramente em todas as bacias do mundo exceto no Atlântico Sul. Essa falta de ciclones tropicais no Atlântico Sul tem sido atribuída à

TSM fria e ao forte cisalhamento vertical dos ventos. Em ambos os oceanos Pacífico e Índico, o ambiente de monções provê os ingredientes essenciais de organização dinâmica, fraco cisalhamento vertical e ampla atividade convectiva necessária para a formação de ciclones tropicais.

O Atlântico Sul não apresenta monções convencionais e os cisalhamentos verticais dos ventos é muito forte para que haja o desenvolvimento de tempestades puramente tropicais. Os ciclones subtropicais, no entanto, conseguem se desenvolver com uma TSM muito mais fria e forte cisalhamento vertical dos ventos (GUISHARD *et al.*, 2009). Assim a climatologia dos ciclones subtropicais tem o potencial de ajudar a compensar a escassez de ciclones tropicais, além da sua própria formação (EVANS e BRAUNS, 2012).

No Brasil, foi registrada apenas uma ocorrência de ciclone tropical, considerada anômala pelos meteorologistas, o furacão Catarina, vide Figura 4. O Catarina começou como um ciclone extratropical que, devido a condições anômalas de TSM e aos padrões sinóticos específicos, adquiriu características tropicais. Porém, esse tipo de fenômeno não é comum na costa brasileira (MENEZES E SILVA DIAS, 2004).

Muito se discutiu para serem chamados de furacão em encontros com especialistas, e ainda hoje, alguns desconsideram esta denominação, apesar do consenso das instituições envolvidas (CPTEC, MARINHA DO BRASIL).

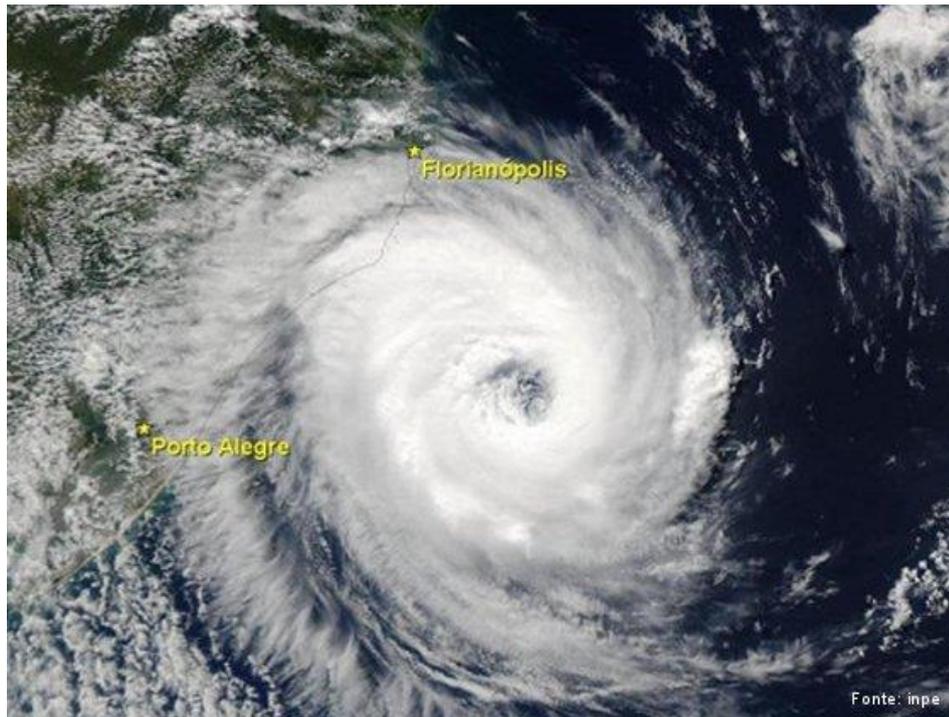


Figura 4: Imagem de satélite do furacão Catarina. Fonte: INPE.

2.3 CICLONES EXTRATROPICAIS

Ciclones extratropicais, são centros de baixa pressão sinóticos de núcleo frio, geralmente formados nas médias e altas latitudes, normalmente associados a sistema frontais, ou seja, encontro de massas de ar avançando uma sobre as outras.

Possuem rotação horária no Hemisfério Sul e anti-horária no Hemisfério Norte deslocando-se para leste, em detrimento dos ventos de oeste da célula de Ferrel (STULL, 2015), bem como dos padrões de oeste de níveis elevados.

Ciclones extratropicais são comuns na costa brasileira e tem sua maior ocorrência nos meses de inverno nela. Durante todo o ano a costa brasileira é afetada por diversas ocorrências de ciclones extratropicais, que possuem dois pontos principais de formação: na costa do Uruguai e no litoral da Argentina (GAN & RAO, 1991).

Esses ciclones possuem tipicamente quatro estágios de desenvolvimento, que são melhores identificáveis por imagens de satélite, principalmente sobre o oceano. Sobre o continente a influencia da orografia torna mais difícil a visualização.

As fases de desenvolvimento de um ciclone extratropical são descritas na Figura 5 e estão associados a sistemas frontais onde a energia deriva dos gradientes horizontais

de temperatura, possui núcleo frio na troposfera inferior, vento térmico (cisalhamento vertical do vento acentuado).

Nos passos 1, 2 e 3 da Figura 5 a fase inicial do ciclone, onde as nuvens geralmente Cumulus constituem um conglomerado único de forma arredondada. Em 4, apresenta a fase de oclusão, apresenta aparência de vírgula invertida. Em 5 a maturação onde se verifica a maior intensidade do centro de baixa. Em 6, 7 e 8 a fase de dissipação, onde há o desaparecimento progressivo do padrão característico de nuvens.

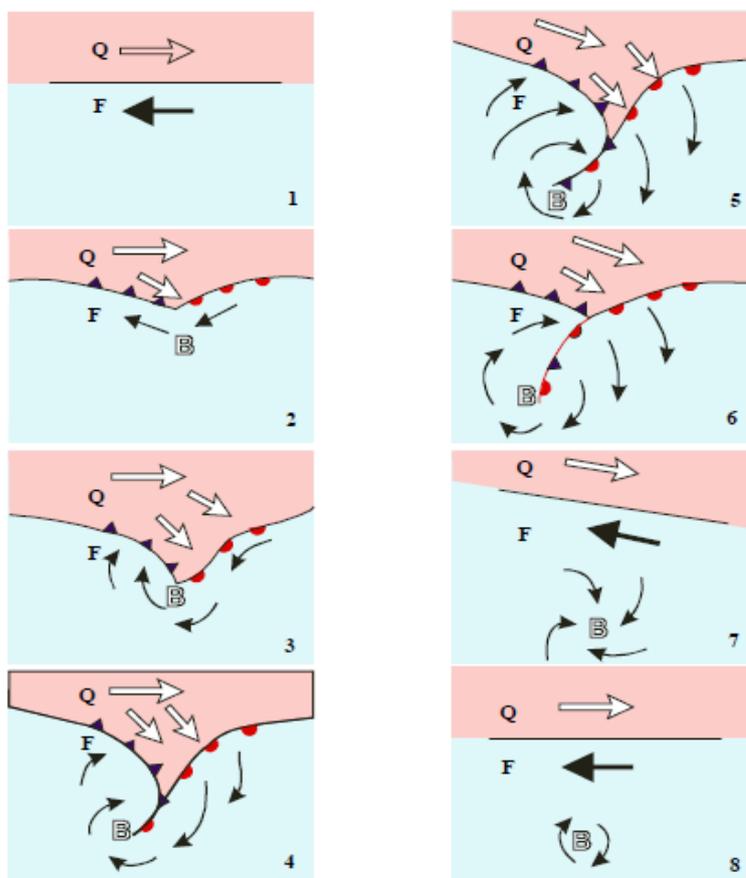


Figura 5: Ilustração da evolução de um ciclone extratropical representando ar frio como F e o ar quente como Q. Fonte: VAREJÃO, 2006.

Os ciclones extratropicais possuem formato espiral em torno do centro de baixa pressão. A frente fria associada ao ciclone é caracterizada por uma faixa estreita e densa de nuvens na imagem de satélite. A frente quente associada ao ciclone é caracterizada por uma faixa larga e esparsa de nuvens (Figura 6).

GOES13 - Visível (0.65 μm)
América do Sul: 20141104 1800 GMT

CENTRO DE PREVISÃO DE
TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS

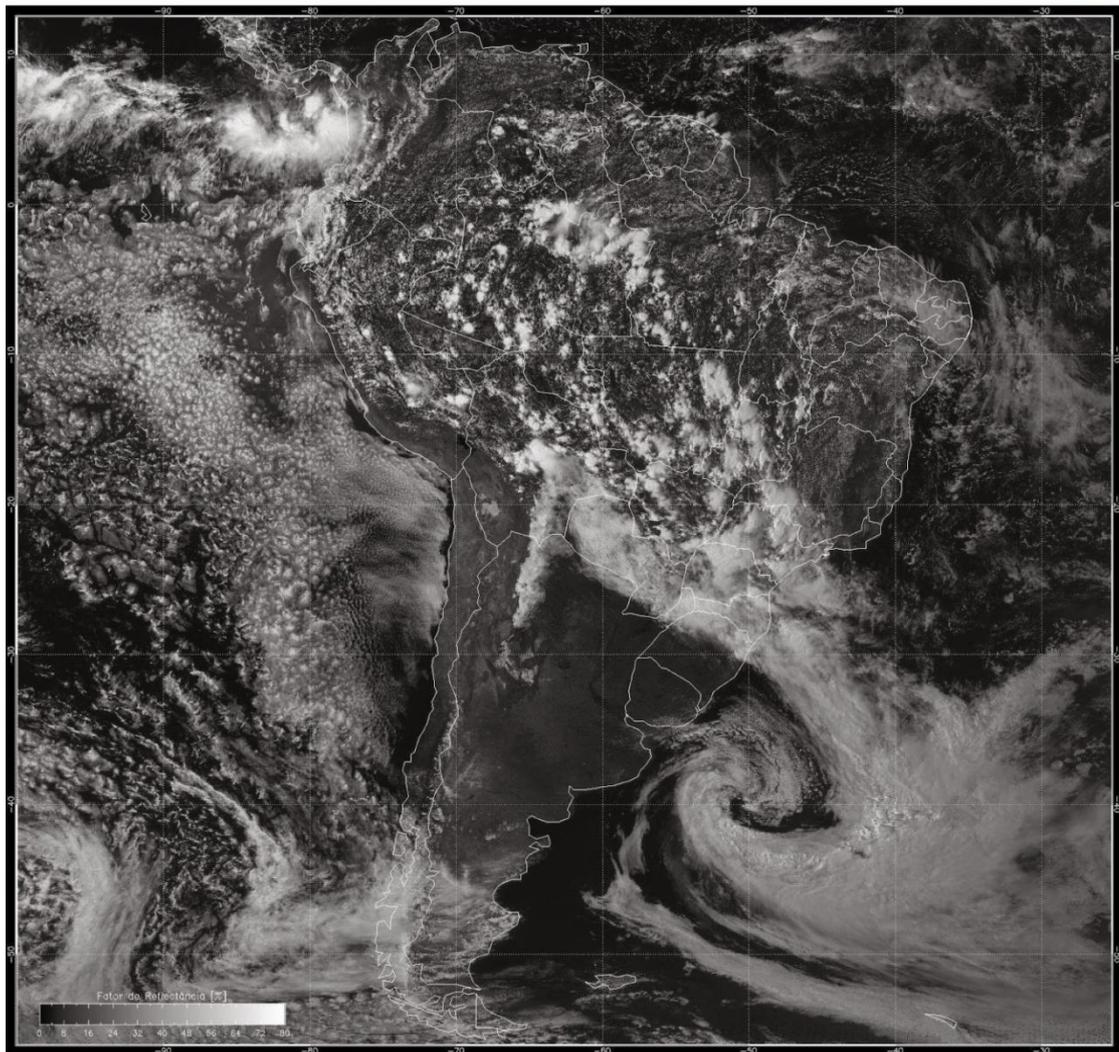


Figura 6: Figura de uma imagem de satélite mostrando um ciclone extratropical com centro de baixa próximo à costa do Uruguai e frente fria cruzando o Rio Grande do Sul. Fonte: CPTEC.

2.4 CICLONE SUBTROPICAL

São fenômenos não frontais, normalmente com núcleo frio em altos níveis, possuindo o núcleo quente na camada inferior, não ultrapassando 500 hPa, existindo uma retroalimentação entre a circulação e os intensos fluxos de calor latente do oceano. Apresentam uma nebulosidade difusa.

O termo “ciclone subtropical” foi usado pela primeira vez por Simpson (1952) para descrever as Tempestades *Kona* ou *Kona Lows*, que são ciclones que ocorrem durante o inverno no Oceano Pacífico Leste causando intensa precipitação nas ilhas do Haváí (GOZZO, 2014).

Entre as décadas de 1950 e 1960, o que é hoje conhecido como ciclone subtropical era referido como semitropical e o termo “Ciclone Subtropical” era usado principalmente para se referir a qualquer ocorrência de ciclone ocorrido nas latitudes acima dos trópicos de Capricórnio e de Câncer.

Após intensos debates na década de 1960, quando ocorreram vários ciclones híbridos formados na bacia do Atlântico Norte, a *National Hurricane Center* (NHC) – a divisão dos Estados Unidos foi a responsável pela previsão e acompanhamento de sistemas atmosféricos – finalmente designou essas tempestades como ciclones subtropicais e atualizou seu banco de dados para que incluísse os ciclones subtropicais no ano de 1972 (SIMPSON e HERBERT, 1973).

Hoje, a definição mais comum para ciclones subtropicais é um ciclone que possui ambas as características de ciclones extratropicais e de tropicais. Para um ciclone subtropical ter características tropicais, deve haver semelhanças na convecção que alimenta o sistema de baixa pressão. Enquanto que, quando o ciclone tem características extratropicais, significa que os gradientes de temperatura participaram na geração e na intensificação do sistema, ou seja, baroclinia.

Assim como os ciclones tropicais, os ciclones subtropicais passam por estágios de desenvolvimento, que são: depressão subtropical, tempestade subtropical, e por fim ciclone subtropical. Como por exemplo, a tempestade subtropical Nicole que se formou no Atlântico Norte em outubro de 2004, cuja formação e trajetória são mostradas respectivamente na Figura 7 e na Figura 8 (PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY, 2004).

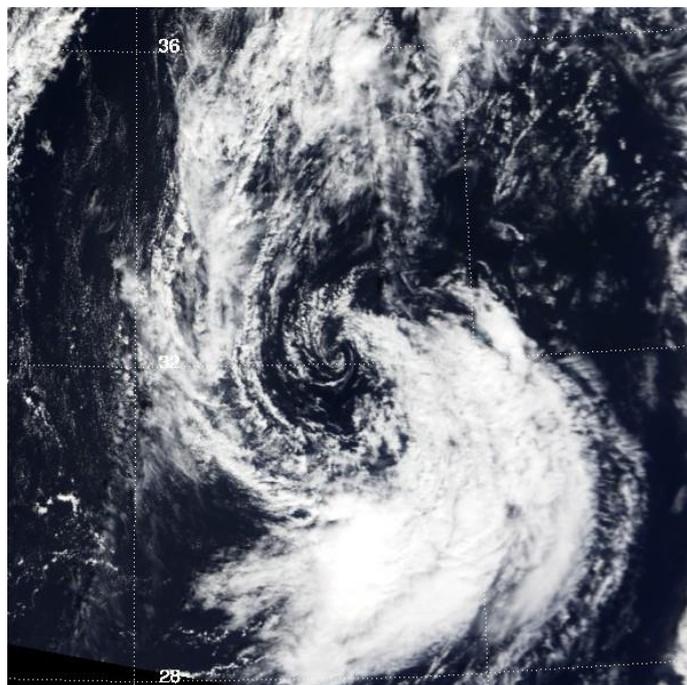


Figura 7: Imagem de satélite da tempestade subtropical Nicole capturada pela NASA às 15:30 UTC no dia 10 de outubro de 2004. Fonte:NASA

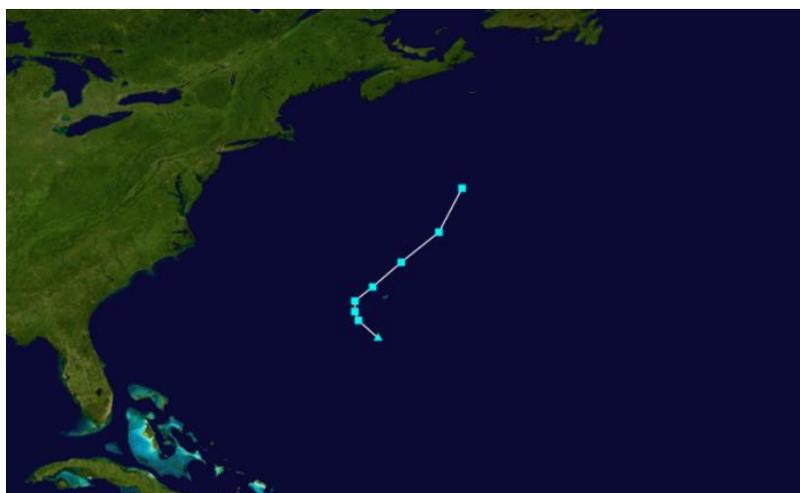


Figura 8: Trajetória da Tempestade Subtropical Nicole. Fonte: NASA

Os ciclones subtropicais se formam e tomam força quando há sobreposição de uma baixa despreendida fria em altos níveis a uma perturbação ciclônica em baixos níveis em uma atmosfera com fraca estabilidade estática. É característica comum de ciclones subtropicais e tropicais a necessidade de perturbação ciclônica, embora tenha origem diferente nos dois tipos.

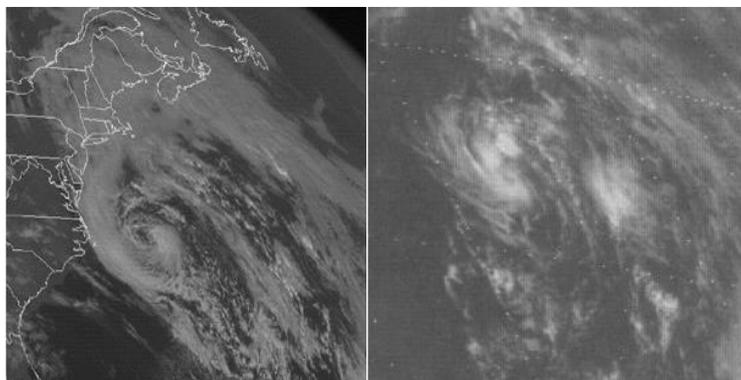
No ciclone tropical, a perturbação ciclônica inicial pode se originar de uma onda de leste equatorial; enquanto que nos subtropicais, ela se origina de uma região de cisalhamento devido a uma frente fria.

As perturbações subtropicais podem ter intensidades superiores às de perturbações tropicais, quando combinadas com um valor de vorticidade elevado, o que é causado por se localizarem em latitudes mais altas.

Esses sistemas subtropicais possuem duas fontes para sua manutenção e aprofundamento, por terem núcleo quente próximo à superfície e raso não ultrapassando o nível de 500 hPa. Eles apresentam, além de retroalimentação entre a circulação e intensos fluxos de calor latente do oceano (como ocorre nos ciclones tropicais), um mecanismo adicional para a intensificação do movimento ascendente: as baixas desprendidas, sendo estas circulações ciclônicas de centro frio na média e alta troposfera que forçam o movimento ascendente, assim mantendo o ciclone em superfície.

O desprendimento da baixa em altos níveis, que pode ocorrer devido ao meandramento da onda de Rossby (ondas que se formam com a variação do efeito Coriolis com a latitude, em um ambiente com cisalhamento anticiclônico), ou com liberação de calor latente de uma atividade convectiva, quando um ciclone subtropical ocorre a leste de um cavado, reduz a escala do cavado e intensifica a interação dessa circulação com o ciclone em baixos níveis (GOZZO, 2014).

Há dois tipos desses ciclones subtropicais: tipo A (55% das ocorrências) e tipo B (45% das ocorrências), que são exemplificados da Figura 9. O de tipo A é definido como frio em baixos níveis, raso, com circulação e sustentação de intensidade máxima de ventos num raio de aproximadamente 60 km do centro.



(a)

(b)

Figura 9: Ciclone subtropical “tipo A”, à esquerda, ciclone subtropical “tipo B”, à direita. Fonte: PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY, 2004.

Já os ciclones subtropicais de tipo B são definidos como ciclones de médio porte, originando-se perto de uma frente no final do seu ciclo e com sustentação de intensidade máxima de seus ventos num raio de menos de 20 km de seu centro; o sistema inteiro às vezes tem menos de 60 km de diâmetro. A estrutura do núcleo desses ciclones pode variar de quente a frio. Apesar de geralmente terem uma vida curta, eles podem mudar de fase para ciclones tropicais, ou para fortes ciclones extratropicais.

Ambos os tipos têm características em comum: um núcleo verticalmente oposto. Este núcleo pode ser quente próximo à superfície como em um ciclone tropical, embora frio como em um ciclone extratropical na parte superior. Esses sistemas são providos de energia tanto pelo calor latente, quanto pela energia potencial relacionada a baixos gradientes de temperatura (ROTH, 2002).

A ocorrência de ciclones subtropicais se dá em várias partes do mundo. No pacífico, próximo ao Havaí, ocorrem exemplos clássicos de ciclones subtropicais, as tempestades Kona ou *Kona Lows* (“sotavento” no idioma polinésio).

Esses sistemas de baixa pressão se formam em latitudes subtropicais com núcleo frio e posteriormente se deslocam em direção ao Equador, onde adquirem um núcleo quente raso e um campo de vento semelhante ao dos ciclones tropicais (SIMPSON, 1952).

De fato, os ventos de superfície associados com as tempestades Kona são de Sul ou de Sudoeste, na direção oposta, em termos gerais, das principais costas. Historicamente as tempestades Kona são de tamanho considerável e castigam as ilhas com chuvas e ventos bastante severos, mostrado na figura 10 (PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY, 2004).

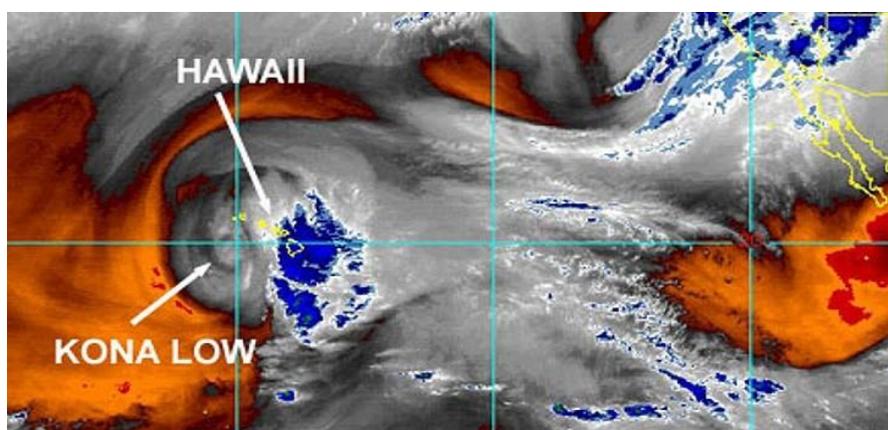


Figura 10: Imagem de satélite em infravermelho de uma tempestade Kona em 2003. Fonte: PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY, 2004

Outro exemplo são os ciclones subtropicais que ocorrem no mar da Arábia, entre maio e julho uma baixa quente forma-se próximo da fronteira entre o Paquistão e a Índia durante as monções de verão como o representado na Figura 11. Apesar de intenso aquecimento solar, a pressão da superfície associada com a baixa quente geralmente não cai mais do que 6 hPa durante o período (PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY, 2004).

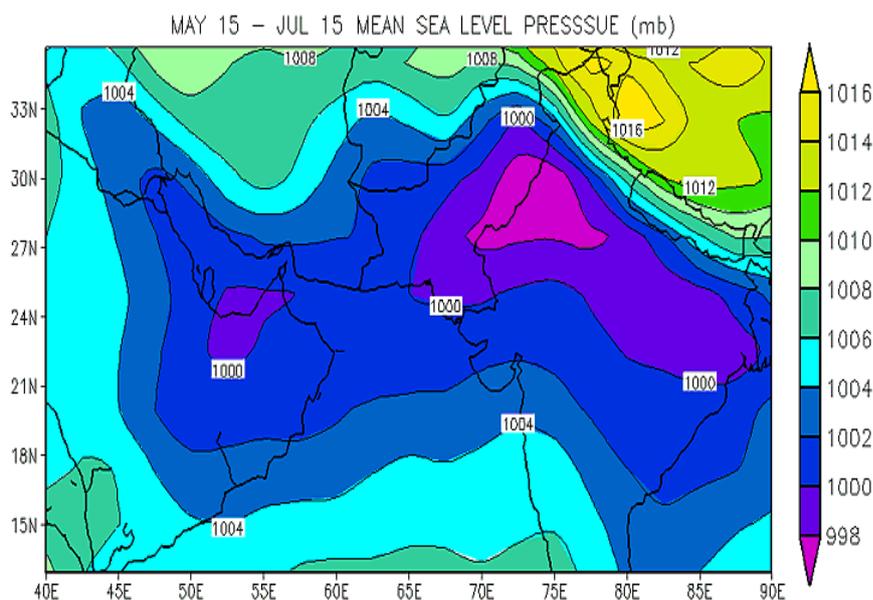


Figura 11: Níveis de pressão de uma baixa quente sobre a fronteira da Índia com o Paquistão. Fonte: PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY, 2004

Na costa leste da Austrália ocorrem os *eastcoastlows*. Esses sistemas são ciclones extratropicais, porém com muitas das características de um ciclone subtropical. São geralmente fenômenos intensos que ocorrem durante os meses de inverno entre as latitudes de 25°S e 45°S. Embora raros, têm uma frequência de quase um por ano e são responsáveis por danos diversos, causando grandes enchentes e ventos intensos. A sua previsão é difícil, por serem geralmente bem pequenos no estágio inicial e por evoluírem rapidamente (HOLLAND *et al.* 1987).

2.5 CICLONES SUBTROPICAIS E SUA OCORRÊNCIA NO BRASIL

Das condições ambientais para o desenvolvimento de ciclones subtropicais no Atlântico Sul, a TSM é um fator importante, apresentando uma relação direta de favorecimento de energia quando mais aquecida que a atmosfera adjacente. Muitas vezes, o gradiente de TSM também representa um papel importante, além do seu valor absoluto.

As TSMs no Atlântico Sul na área subtropical são geralmente frias (menores do que 26.5°C). A transferência de águas mais quentes em direção ao sul é feita pela Corrente do Brasil, porém essa transferência em direção ao sul é suprimida pela Corrente das Malvinas, que caracteriza-se por águas frias. A Corrente das Malvinas, que é um ramo da Corrente Circumpolar Antártica com direção para norte e separa a área subtropical do Atlântico Sul, conforme o indicado na Figura 12.

Segundo Evans e Braun (2012), a oscilação multidecadal do Atlântico Sul, em um período de aproximadamente 25 a 30 anos, sinalizada por uma mudança na intensidade dos ventos de oeste, associada com variação da circulação no verão da América do Sul, pode ter colaborado para uma alteração nessas correntes nos últimos anos. Essa alteração na velocidade do vento causa mudanças nas correntes superficiais, influenciadas pelos ventos predominantes, causando variação na intensidade da Corrente das Malvinas e na posição do ponto de convergência entre as correntes do Brasil e das Malvinas.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) também é de grande influencia. A intensa precipitação ao longo da ZCAS e um maior fluxo de calor coincidem com a TSM subtropical mais quente resultante.

Desta forma, segundo Evans e Braun (2012), cria-se estabilidade, e condições de umidade bastante propícias para o desenvolvimento de ciclones subtropicais. A Corrente das Malvinas estava um pouco mais fraca do que o normal em março de 2004. E águas mais quentes adentravam em direção ao sul na latitude de 30°S, como indicado na Figura 16, promovendo um ambiente oceânico favorável à formação do ciclone subtropical que mais tarde resultou no Ciclone Catarina.

Sinalizando que a variação dessas correntes contribuiu para a formação do Ciclone Catarina e, segundo os estudos de Evans e Brauns (2012), isso pode indicar uma mudança climática que permite a formação de outros ciclones similares no Atlântico Sul.

A configuração das correntes, porém, é apenas um componente favorável às condições de formação de ciclones subtropicais: apesar da Corrente das Malvinas terem

ficado mais fraca em 2005 do que em 2004, vide figura 16. E quatro ciclones subtropicais terem se formado nesse ano, nenhum deles desenvolveu características tropicais, possivelmente devido a maior força do cisalhamento vertical do vento na região (EVANS e BRAUN, 2012).

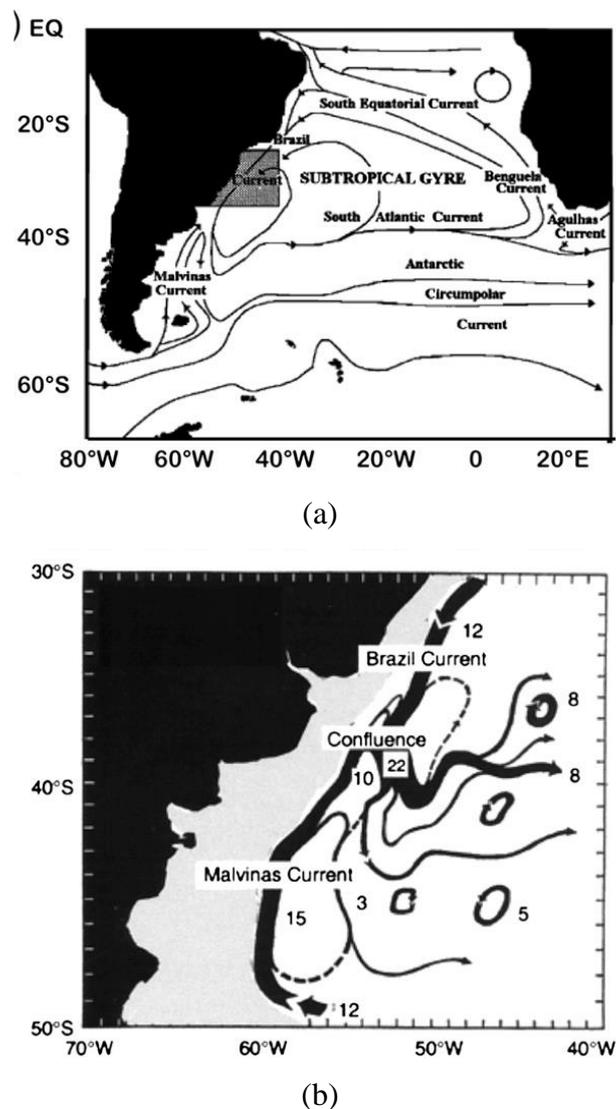


Figura 12: Correntes de superfície, (a) na bacia do Atlântico Sul e (b) o ponto de convergência entre as correntes do Brasil e das Malvinas. Fonte: a) Zavialov *et al.* 1999, b) Goni e Wainer (2001)

2.6 MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE CICLONES SUBTROPICAIS NO ATLÂNTICO SUL

O mecanismo de formação dos ciclones subtropicais é semelhante ao dos ciclones do Atlântico Norte, que se dá por uma interação com uma baixa desprendida em médios níveis, entretanto a presença do cavado semipermanente, posicionado sobre a região da corrente quente do Brasil, forma um ambiente ainda mais favorável à sua ciclogênese (GOZZO, 2014).

Cadeias de montanhas na costa leste do continente, como a Serra da Mantiqueira, fornecem a ciclogênese a sotavento, e, num ambiente de TSM suficientemente quente (caso da Corrente do Brasil) e com intensa advecção quente em baixos níveis, pode ocorrer o desenvolvimento de um ciclone subtropical. Ciclogênese a sotavento se trata do desenvolvimento em escala sinótica de circulação atmosférica ciclônica a sotavento de uma montanha, devido à uma perturbação do escoamento zonal de oeste pela presença da montanha (DUTRA, 2012). [Figura 13]

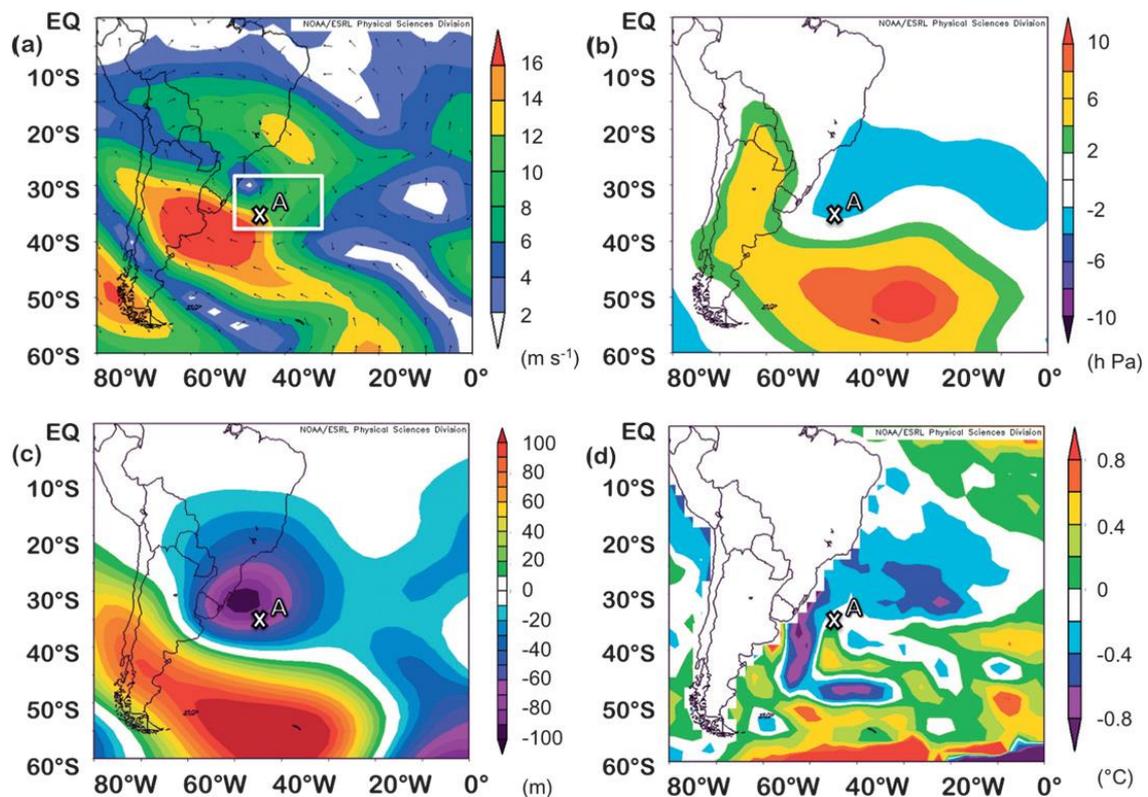


Figura 13: Principais casos de ocorrência de ciclogênese na costa brasileira. Fonte: a) Zavalov *et al.* 1999. b) Goni e Wainer (2001).

2.7 CASOS OCORRIDOS NO ATLÂNTICO SUL

No Brasil, em 2011, houve uma reunião de alguns centros operacionais oficiais da Marinha do Brasil, CPTEC, INMET, etc para monitorar e classificar sistemas subtropicais e tropicais. A partir daí a Marinha do Brasil elaborou uma lista de 10 nomes em ordem alfabética e em tupi-guarani, para nomear esses sistemas Subtropicais e Tropicais que se formarem dentro de sua área responsável pelo monitoramento (NORMAM 19), conhecida como Metarea V.

Tabela 1: Lista de nomes em tupi-guarani para nomear sistemas Subtropicais e Tropicais

NOME	SIGNIFICADO	DATA
Arani	Tempo furioso	03/2011
Bapo	Chocalho	02/2015
Cari	Homem branco	03/2015
Deni	Tribo indígena	11/2016
Eçaí	Olho pequeno	12/2016
Guará	Ave das águas	
Iba	Ruim	
Jaguar	Lobo	
Kamby	Leite	
Mani	Deusa indígena	

A partir de 2011 foram constadas as seguintes ocorrências de sistemas subtropicais:

- **Tempestade Subtropical Arani, 2011**

Essa tempestade subtropical foi monitorada e a primeira a receber um nome dado pela lista oficial de nomenclatura, identificada pela carta sinótica produzida pela DHN no dia 15 de março de 2011, na figura 14A. A sua intensidade máxima dos ventos foi de 85

km/h e a pressão mínima de 989 hPa. Atuou entre o alto mar e o litoral do Espírito Santo, vide figura 14B, onde causou fortes chuvas e ventos assim como grandes ondas ao longo do litoral do estado (METEOROBASIL, 2015).

Conforme os critérios estabelecidos por Jarvinen *et al.* (1984), o ciclone subtropical Arani foi classificado como Depressão Subtropical desde sua origem com ventos inferiores a 34 nós, junto à costa, até sua intensificação e elevação de categoria. A partir do dia 15 de janeiro 2011, o ciclone foi classificado como uma Tempestade Subtropical, pois os ventos superaram os 34 nós (MATHIAS, 2012).

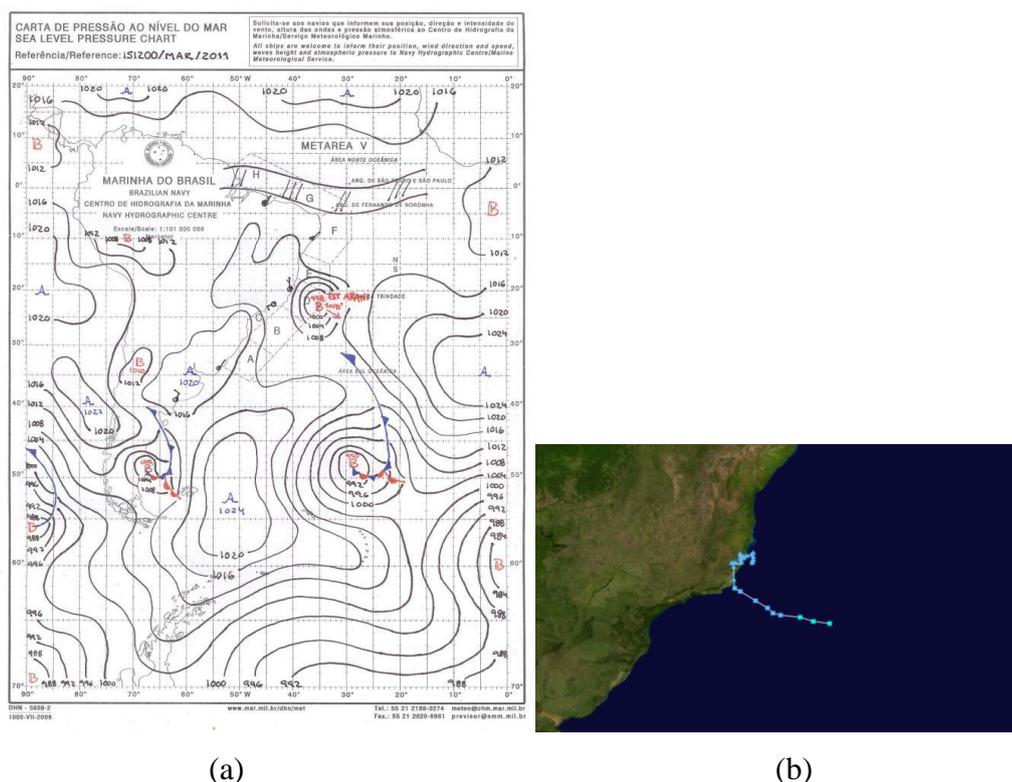


Figura 14: (a) Carta sinótica demonstrando as baixas pressões da tempestade Arani já formada atuando sobre a costa do estado do Espírito Santo. (b) Trajetória da tempestade subtropical Arani desde a sua formação em alto mar até a costa do estado do Espírito Santo. Fonte: DHN.

- **Tempestade Subtropical Bapo, 2015**

Tempestade ocorrida na região sul do Brasil entre 5 a 8 de fevereiro de 2015 com velocidade de ventos de 65 km/h e pressão mínima de 992 hPa (METEOROBASIL 2015). Esse sistema teve uma grande área de atuação se formando em alto mar e atingindo as regiões Sul e Sudeste do Brasil, conforme figura 15.

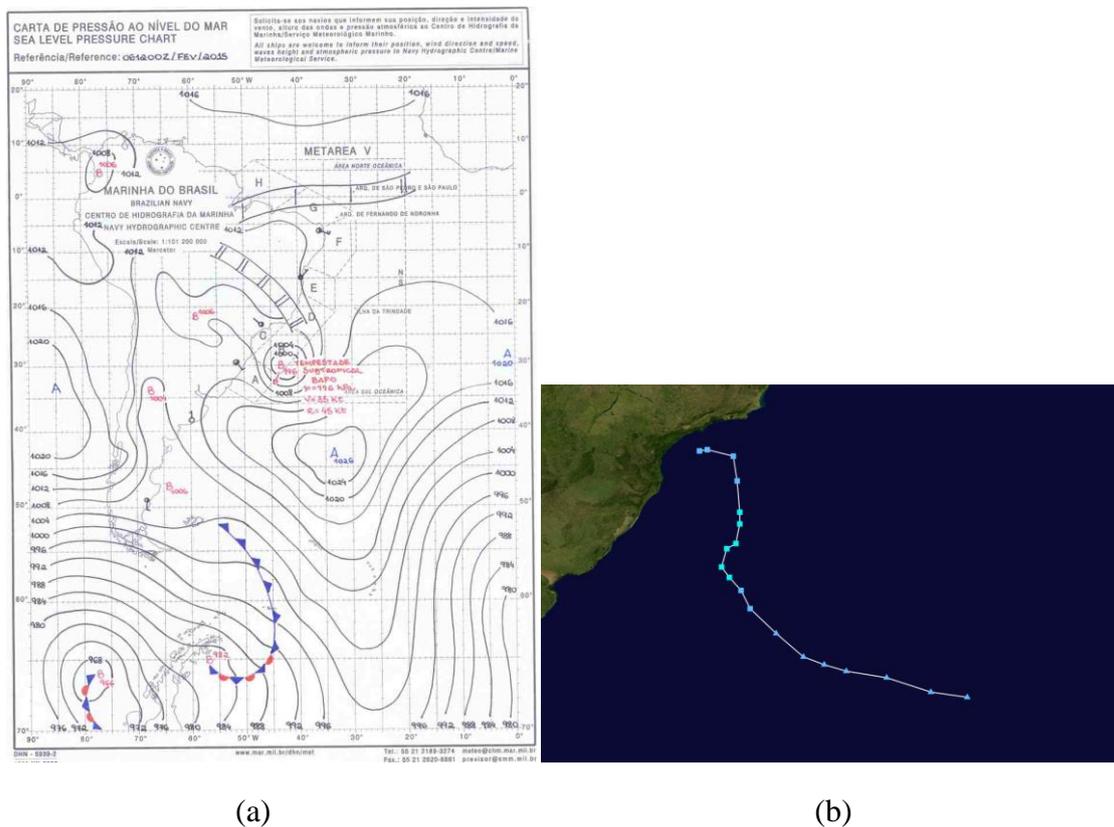
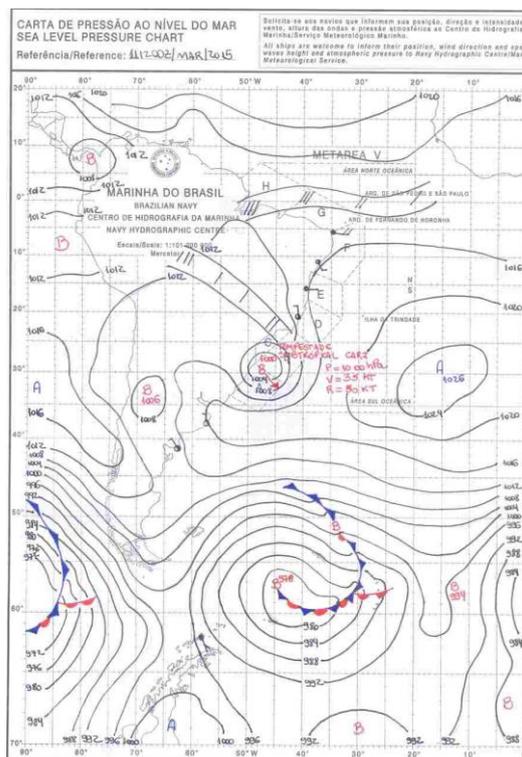


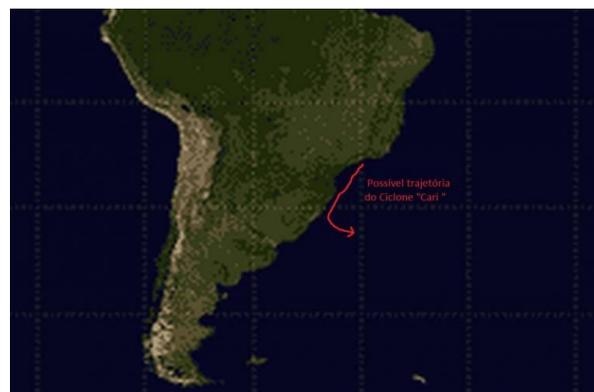
Figura 15: (a) Carta sinótica demonstrando as baixas pressões da tempestade subtropical Bapo. (b) Trajetória da tempestade subtropical I Bapo em 2015 Arani desde a sua formação em alto mar até a costa. Fonte: DHN.

- **Tempestade subtropical Cari, 2015**

Essa tempestade, cujo nome em Tupi-Guarani significa “homem branco”, teve ocorrência no litoral do estado de Santa Catarina com ventos máximos de 65 km/h e pressão mínima de 998 hPa, vide figura 16 e na figura 17, mostra grandes danos em vários municípios do estado de Santa Catarina (METEOROBASIL, 2015).



(a)



(b)

Figura 16: (a) Carta sinótica demonstrando as baixas pressões da tempestade subtropical Cari. (b) Trajetória da tempestade subtropical I Cari em 2015 desde a sua formação em alto mar até a costa. Fonte: DHN.



Figura 17: Alagamento causado pela tempestade subtropical Cari no município de Içara – SC. Fonte: www.g1.globo.com.br.

- **A tempestade subtropical Deni, 2016**

Nomeado Deni conforme lista oficial de nomenclatura, que em Tupi-Guarani significa “tribo indígena”, foi o primeiro sistema de natureza não-extratropical, a evoluir para tempestade subtropical da Temporada de Ciclones do Atlântico Sul em 2016. Desenvolveu-se de uma área de baixa pressão que cruzou o Centro-Oeste e Sudeste do país, associado a ZCAS, que forneceu umidade para fortalecer o fenômeno, evoluindo para depressão subtropical na costa do Rio de Janeiro passando para tempestade subtropical, resultando em ressaca no litoral e chuva forte em Petrópolis que deixou duas vítimas (Figura 18).

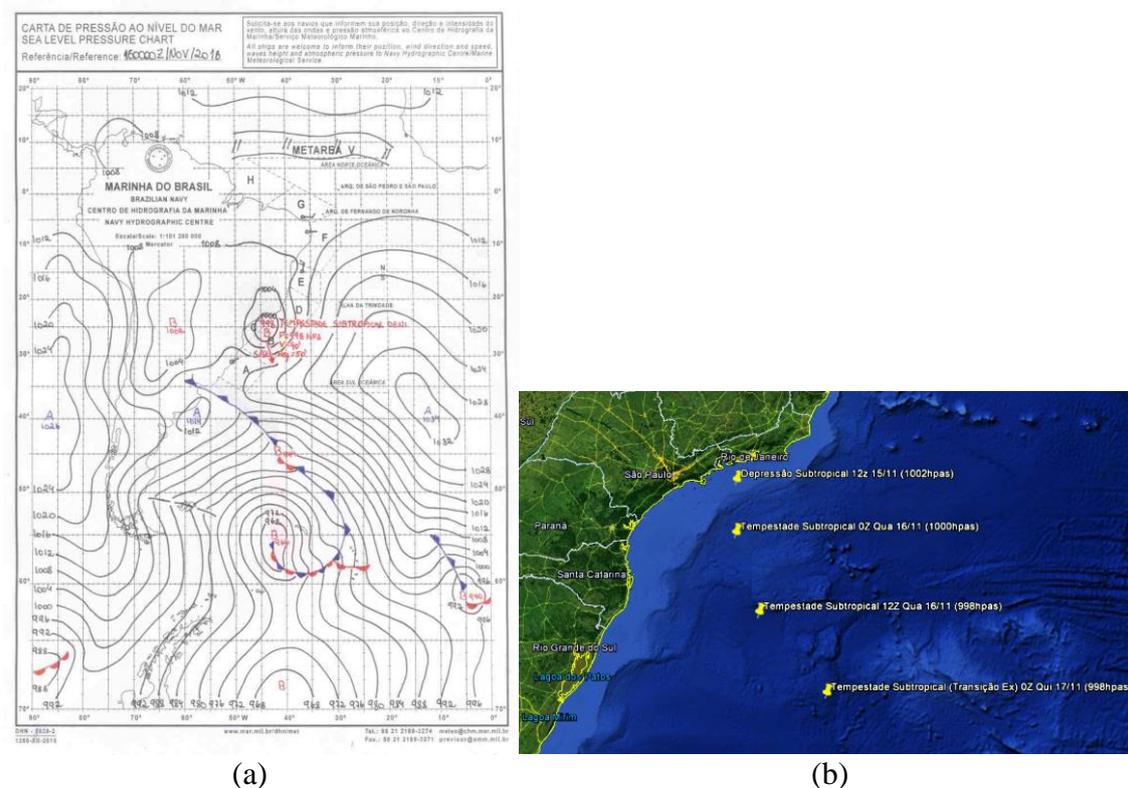


Figura 18: (A) Carta sinótica demonstrando as baixas pressões da tempestade subtropical Deni. (B) Trajetória da tempestade subtropical Deni em 2016. Fonte: DHN.

- **A tempestade subtropical Eçaí, 2016**

A Marinha do Brasil, conforme lista oficial de nomenclatura nomeou outra tempestade subtropical de Eçaí, que em Tupi-Guarani significa "olho pequeno" e formou-se na noite de 4 de dezembro de 2016 a partir da intensificação de uma baixa pressão atmosférica entre o Brasil e o Paraguai, e deslocou-se para a costa, entre São Paulo e

Santa Catarina, que causou transtornos entre os estados de SC e PR, com tempestades severas associadas às linhas de instabilidade.

O Eçaí gerou ressaca e rajadas de vento de até 118 km/h. Em Bom Jardim da Serra, SC, o INMET registrou várias rajadas de vento acima dos 100 km/h.(Figura 19)

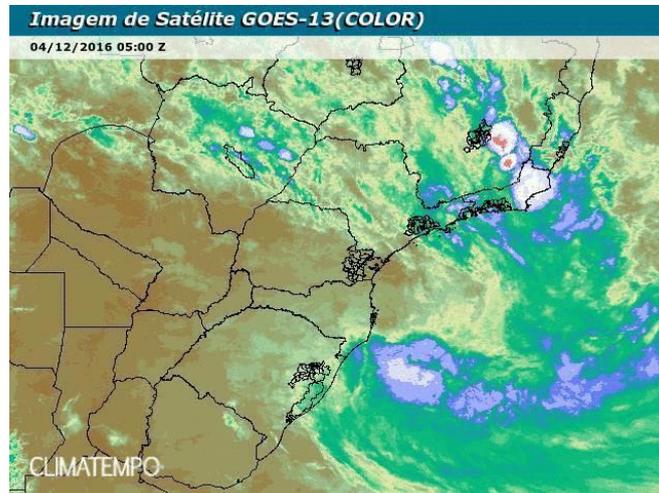


Figura 19: Imagem de satélite mostrando a tempestade subtropical Eçaí. Fonte: <https://www.climatempo.com.br>

Na análise sinótica de 00h UTC de 5 de dezembro, 22h de 4 de dezembro, pelo horário de Brasília, o centro da baixa pressão de Eçaí era de 994 hPa.(Figura 20a)

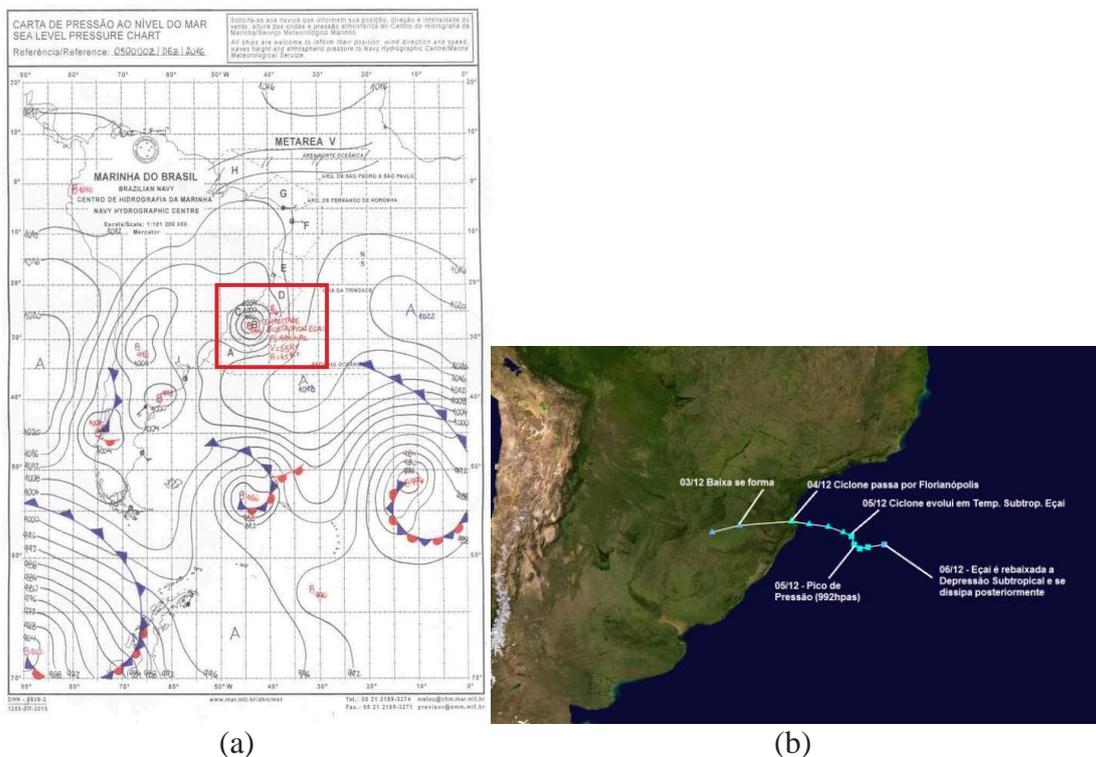


Figura 20: (a) Carta sinótica mostrando a tempestade subtropical Eçaí. (b) Trajetória da tempestade subtropical Eçaí.. Fonte: DHN.

2.8 EXEMPLOS DO IMPACTO DE CICLONES NAS CIDADES, NA COSTA, NA NAVEGAÇÃO, NA INDÚSTRIA MARÍTIMA E NA ECONOMIA

Os ciclones, com seus fortes ventos e a precipitação que normalmente os acompanha, podem provocar severos danos a navios, portos e costas, causando mortes e gerando, até mesmo, fortes impactos econômicos na região afetada. Alguns exemplos a seguir ilustram estes efeitos.

Em 14 de novembro de 1854, na Guerra da Criméia, 30 navios embarcaram devido a tempestades, o que deu início a uma investigação e a estudos de previsão meteorológica na Europa. Em 1962, no Oregon, EUA, registrou-se a pressão de 965,5 hPa (a menor já registrada), com ventos intensos, o que causou 23 mortes e um prejuízo material de 170 milhões de dólares (TAYLOR & HATTON, 1999).

Em 10 de abril de 1968, o Ciclone Extratropical Giselle, na Nova Zelândia, fez com que a balsa TEV Wahine colidisse com um recife e afundasse na entrada do Porto de Wellington, ocasionando 53 mortes (MAKARIOS, 2010). Uma tempestade extratropical, em 10 de novembro de 1975, causou o naufrágio do SS Edmund Fitzgerald entre o Canadá e os EUA.¹

Em 28 de março de 2004, o Ciclone Catarina deixou mais de 27,5 mil desabrigados, danificou 36 mil casas, arrancou 115 árvores pela raiz e deixou, em seu rastro, 518 feridos e 11 mortos. Somou prejuízos aproximados de R\$ 1 bilhão, provocando a decretação de estado de calamidade pública em 14 municípios.²

No dia 4 de dezembro de 2016, com ventos de até 118 km/h, o Ciclone Subtropical Eçaí, acompanhado de forte precipitação como esperado, ocasionou destruição, deslizamentos e quedas de árvores na cidade de Florianópolis e no Sul do Estado de Santa Catarina. Segundo dados da Defesa Civil, 125 casas foram danificadas por deslizamentos e, pelo menos 30, destelhadas; 759 pessoas foram diretamente afetadas, sendo 102 desalojadas. Houve 260 mil residências afetadas por falta de energia elétrica.³

O Ciclone Tropical Harvey, que se formou em 17 de agosto de 2017 e se dissipou em 2 de setembro no Golfo do México, atingiu o Estado do Texas, grande produtor de energia e sua infraestrutura de transporte, além dos portos de Houston, Corpus Christi e

¹ <<https://www.shipwreckmuseum.com/edmund-fitzgerald/>>. Acesso em: nov. 2017.

² Site G1 - O Portal de Notícias da Globo. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2014/03/dez-anos-apos-o-furacao-catarina-moradores-relembra-tragedia.html>>. Acesso em: out. 2017.

³ Diário Catarinense, disponível em: <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2016/12/ciclone-de-ate-118-km-h-cao-destruicao-em-santa-catarina-8607371.html>>. Acesso em: out. 2017.

Port Arthur, que também sofreram inúmeros danos. O impacto do Ciclone Harvey foi sentido por todo o mercado global de energia e acarretou a elevação do preço do propano e da nafta.

Os danos causados pelo Ciclone Tropical Harvey geraram impactos no comércio de petróleo bruto, e refinarias dependentes das ofertas dos EUA acabaram procurando petróleo bruto em outros mercados. Navios petroleiros que normalmente se dirigiam a Houston foram encaminhados para outros portos na América Latina. Ao todo, os danos causados pela passagem do Harvey sobre as águas do Golfo do México geraram prejuízos avaliados entre 70 e 190 bilhões de dólares.⁴

⁴ Site “O Petróleo”. Disponível em: <<http://www.opetroleo.com.br/impacto-do-furacao-harvey-no-petroleo-e-pior-que-previsto/>>. Acesso em: out. 2017.

3 METODOLOGIA

3.1 - RESULTADOS DO SRDAS

O produto SRDAS (*Satellite-enhanced Regional Downscaling for Applied Studies*) tem como componente atmosférica o Modelo Regional Espectral (em inglês, *Regional Spectral Model*–RSM). RSM é um modelo atmosférico, originalmente desenvolvido pelo NCEP [JUANG *et al.*, 1997], e acoplado ao modelo de superfície, Noah Land-Surface (Noah LSM), de quatro camadas (0-10 cm, 10-40 cm, 40-100 cm e 100-200cm). O SRDAS utiliza os campos de temperatura da superfície do mar (TSM) obtidos do conjunto de dados diários da NOAA em uma grade de 0,25° (NUNES, 2016).

O SRDAS é resultado de uma integração numérica de longo período, e está disponível ao longo 093,6°W – 025,8°W e 20,4°N – 42,6°S (domínio América do Sul), com a condição inicial em 1° de janeiro de 1998 em 0000 UTC, e resolução horizontal de cerca de 25 km, com saídas horárias disponíveis a partir 1000 hPa a níveis de 10 hPa (Figura 21); com resolução vertical de 28 camadas em Sigma.

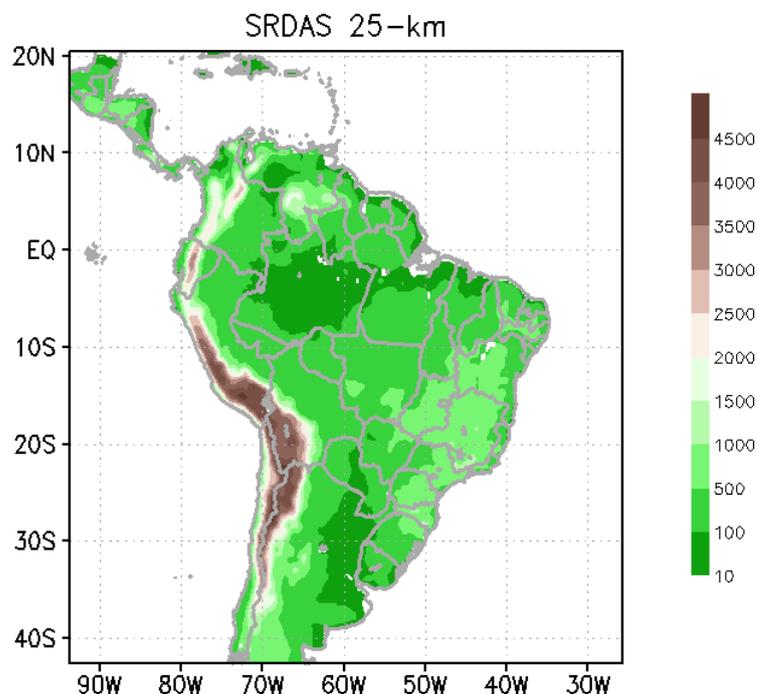


Figura 21: Domínio da integração numérica do SRDAS. Fonte: Próprio

A reanálise NCEP R2 forneceu as condições atmosféricas iniciais e de superfície, e de contorno lateral para o produto SRDAS. Ao longo desta dissertação será feita uma análise dos resultados obtidos com o produto SRDAS.

Através dos campos de vento, vortacidade, pressão, geopotencial, TSM (retirada de análise globais), cálculo do VT (entre 900-600 hPa e 600-300 hPa), de acordo com o Diagrama de Fase.

Produtos baseados em satélites ambientais complementam a rede convencional de observações, portanto são úteis em regiões com carência de observações, que é um fator limitante na avaliação de eventos extremos nos trópicos e áreas oceânicas.

As estimativas de precipitação utilizadas no esquema de assimilação do SRDAS são geradas a partir da técnica *morphing* para produzir o NOAA CPC MORPHING CMORPH (Joyce *et al.*, 2004).

A versão do CMORPH utilizada é disponível de janeiro de 1998 até o presente, a cada 3 horas, em uma grade regular de 0,25°. A assimilação de precipitação pelo SRDAS é realizada de forma contínua.

Várias variáveis do SRDAS foram usadas na análise das condições sinóticas para os 3 (três) eventos tais como: PNMM, Temperatura, Calor sensível e Calor Latente, Vento (força e direção), TSM, Vento Térmico, Alturas Geopotencial, Precipitação, Vortacidade entre outros.

3.2 - CLASSIFICAÇÕES DE CICLONES COM O DIAGRAMA DE FASE

A classificação dos ciclones é feita a partir de uma análise de suas estruturas termodinâmicas e dinâmicas. Essa classificação foi desenvolvida por Hart (2003) e baseia-se nos chamados diagramas de fase.

Essa metodologia visa diferenciar os sistemas tropicais, extratropicais, híbridos e subtropicais, utilizando como variáveis principais os seguintes parâmetros:

- a) O vento térmico na baixa troposfera (900hPa - 600 hPa), que indica a estrutura térmica do núcleo, indicado pela sigla V_T^L ;
- b) A diferença de espessura na camada 900hPa - 300 hPa, que mostra se o sistema é frontal ou não frontal, indicado pela letra B (termo de simetria);
- c) O vento térmico na alta troposfera (600hPa - 300 hPa), que juntamente com o vento térmico na baixa troposfera indica o grau de baroclinia, indicado pela sigla V_T^U .

A partir desses parâmetros, classificam-se os ciclones de acordo com a Figura 22.

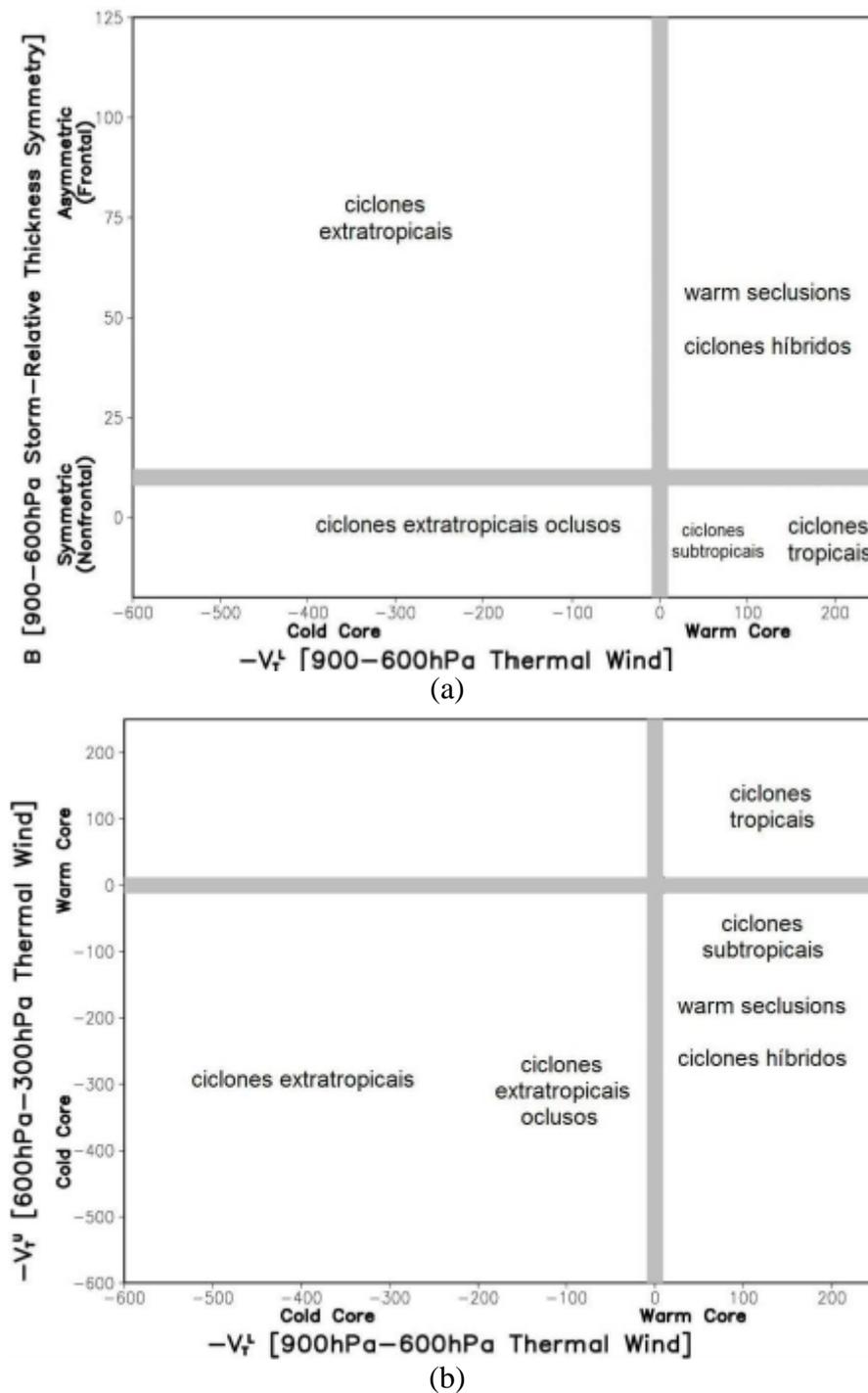


Figura 22: Diagramas de fase com os parâmetros (a) B e $-V_T^L$ (b) $-V_T^L$ e $-V_T^U$ com as principais categorias de ciclones. Fonte: Adaptado de Hart (2003).

Assim sendo, neste diagrama, é feita apenas a análise da estrutura térmica do ciclone no perfil vertical de toda a troposfera (900 hPa a 300 hPa). Cada ponto nos diagramas diz respeito a um tempo de análise e os valores plotados dizem respeito às ocorrências (geralmente de 6 em 6 horas).

Vale ressaltar que, por definição, os pontos A significam início do ciclone (ciclogênese), C indicam situação atual do ciclone e Z a dissipação do ciclone. Para ciclones já dissipados, não existe a letra C (Figura 23 e 24).

Ainda através das figuras 23 e 24, nota-se o ciclo de vida dos ciclones, bem diferentes, evidenciando que eles podem nascer em um determinado padrão/classificação e modificar as suas estruturas com o decorrer do tempo.

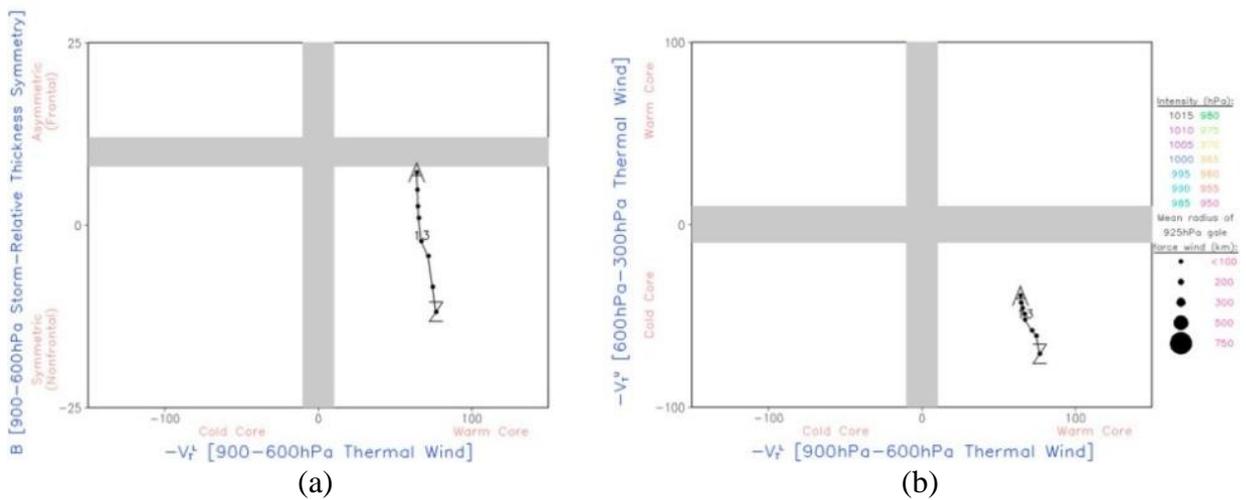


Figura 23: Diagrama de fases de um ciclone raso híbrido de 00Z de 12 de janeiro e de 18Z de 13 de janeiro de 2008: (a) B vs $-V_T^L$ e (b) $-V_T^U$ vs $-V_T^L$. Fonte: GOZZO, 2014.

Nota-se que não existem fronteiras sólidas entre cada tipo de ciclone, e para diferenciá-los se faz necessária uma análise detalhada de seus parâmetros. Nota-se também, a possibilidade da transformação de um tipo de ciclone em outro tipo, devido a mudanças sofridas em suas características, ao longo de sua existência, como aconteceu com o Catarina (Figura 24) e os diversos ciclones do Atlântico Sul.

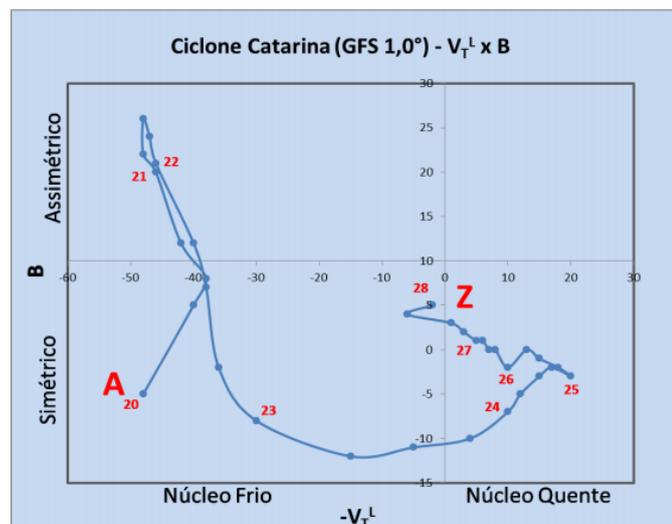


Figura 24: Diagrama de fase do Ciclone Catarina, que ocorreu em 2004. Fonte: MATHIAS, 2012.

Partindo dessa metodologia, os campos foram adequados para permitir a análise dos ventos térmicos entre os níveis de 900 hPa - 600 hPa e 600 hPa - 300 hPa; bem como, o parâmetro B. Este último será identificado pela simetria frontal / não frontal, de acordo com o campo de geopotencial.

Os ciclones foram classificados a partir de uma análise de suas estrutura, conforme classificação desenvolvida por Hart (2003). Essa metodologia tem em vista distinguir os ciclones tropicais, extratropicais e subtropicais, utilizando como variáveis o vento térmico, na baixa troposfera (900hPa - 600 hPa), o vento térmico na alta troposfera (600hPa - 300 hPa), e a diferença de espessura na camada 900hPa - 300 hPa, que indica se o sistema é ou não frontal.

Equações do vento térmico:

- V_T define-se como a diferença entre o vento geostrófico em 2 níveis.

$$\vec{V}_T \equiv \vec{V}_g(p_1) - \vec{V}_g(p_0) = -\frac{R}{f} \int_{p_0}^{p_1} (\hat{k} \times \nabla_r T) d \ln p, \quad \text{onde } p_1 < p_0$$

- V_T expressa uma analogia entre o cisalhamento do vento e os gradientes horizontais de temperatura.

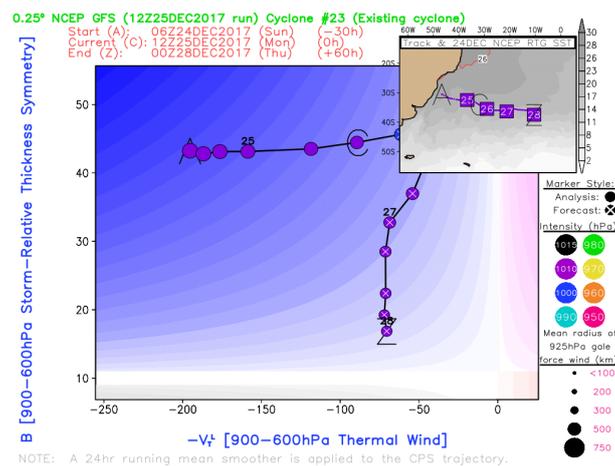
$$\text{No sistema } z: \vec{V}_T = \frac{\partial \vec{V}_g}{\partial z} = \frac{g}{f \bar{T}_v} \hat{k} \times \nabla \bar{T}_v$$

$$\text{No sistema } p: \vec{V}_T = \frac{\partial \vec{V}_g}{\partial p} = -\frac{R}{f p} \hat{k} \times \nabla T$$

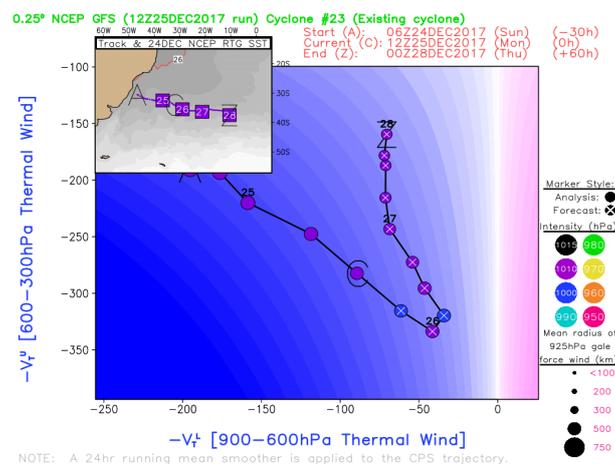
Hart (2003) desenvolveu um diagrama de fase que descreve a estrutura dos ciclones e permite classificá-los em um de possibilidades de estruturas e ciclo de vida. Este diagrama permite identificar a fase híbrida dos ciclones que passam por processos de transição, como casos de ciclones tropicais que fazem transição para extratropicais ou ciclones frontais que fazem transição para tropicais. Além disso, o diagrama proposto possibilita identificar casos de ciclones híbridos que se formam *in situ*, ou seja, que não se desenvolvem de outros ciclones pré-existentis.

Guishard *et al.* 2007, mostrou que os ciclones subtropicais, apresentam combinações dos ciclos de vida convencionais, com núcleos frios em altos níveis e quentes em baixos níveis, e possuem dinâmica de desenvolvimento distinta da dos ciclones tropicais e extratropicais. Sua formação no HN é baroclínica na presença de vorticidade ciclônica sobre TSM quente.

Os três parâmetros de fase formam um espaço de fase tridimensional, onde cada parâmetro ocupa um dos lados. Como mencionado anteriormente, um cubo tridimensional é incômodo para se fazer alguma análise direta e o espaço de fase é dividido em duas seções transversais que representam a evolução do ciclone projetada em cada lado do cubo. Um diagrama é a análise dos parâmetros B e $-V_T^L$ (Figura 25a), ou seja, a avaliação da natureza frontal e da estrutura térmica do núcleo, ambas em baixos níveis (900 hPa a 600 hPa), e o outro é a análise dos parâmetros $-V_T^L$ e $-V_T^U$ (Figura 25b). Portanto, neste último diagrama, é feita apenas a avaliação da estrutura térmica do ciclone ao longo de toda a troposfera (900 hPa a 300 hPa). Cada ponto nos diagramas corresponde a um tempo de prognóstico e os valores plotados correspondem aos dias. Como nestes exemplos o modelo utilizado gera análises a cada 6 horas, existem no diagrama quatro pontos (análises) para cada dia.



(a)



(b)

Figura 25: Diagramas de fase de um ciclone sobre o Atlântico Sul obtidos a partir do modelo *GFS*, com resolução de $0,5^\circ$ com os parâmetros (a) B e $-V_T^L$ e (b) $-V_T^L$ e $-V_T^U$. Fonte: *FSU*.

As cores e o tamanho dos pontos correspondem, respectivamente, ao valor de pressão do centro do ciclone e ao tamanho da área com ventos fortes em 925 hPa. As escalas se encontram no lado direito dos diagramas.

Hart (2003) analisou mais de 17.000 ciclones entre 1980 e 1999 através dos dados de reanálise do NCEP/NCAR com $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ de resolução espacial e sumarizou as principais categorias de ciclones ocorridos nos seus diagramas de fase.

Através da previsão do ponto de partida, evolução e dissipação de um ciclone nos diagramas de fase, é possível obter informações importantes sobre a sua estrutura e intensidade. No entanto, o diagnóstico de fase do ciclone será tão preciso quanto às análises e previsões dos modelos numéricos das quais o espaço de fase é derivado. Os diagramas de fase devem ser comparados com observações de superfície e altitude, imagens de satélite e perfis atmosféricos para melhor compreensão dos ciclones estudados.

3.3 - ESTUDO DE CASO

Para avaliar o produto foram escolhidos três casos, não apenas pela ocorrência dentro dos limites dos dados do SRDAS até o momento (2006 -2010), mas pela sua relevância; o primeiro caso não nomeado entre 22 e 24 de fevereiro de 2006, outro caso também não nomeado entre 11 a 13 de janeiro de 2008, e o outro nomeado como Anita, 8 a 12 de março de 2010. Todos os três são classificados como subtropicais e tiveram a região delimitada entre 21°S e $30,5^\circ \text{S}$ e entre $035,5^\circ \text{W}$ a $049,5^\circ \text{W}$ para os três casos.

3.3.1- CASO 2006

O caso de fevereiro de 2006 foi escolhido por ser caracterizado por episódios de ZCAS no início do mês e ciclogêneses na segunda quinzena (Figura 26). Segundo informação do CPTEC, houve a formação de 5 ciclones no mês de fevereiro. Dentre eles, apenas um se formou na primeira quinzena do mês. O ciclone do dia 18 estava associado a um vórtice ciclônico frio em médios e altos níveis que ajudou a causar chuvas fortes na Região Sul e também em alguns pontos da Região Sudeste.



Figura 26: Ciclogêneses em fevereiro de 2006. Fonte: CPTEC/INPE

3.3.2 - CASO 2008

Este ciclone durou mais de 36 horas, a partir de 12 de janeiro de 2008. O mesmo foi também analisado por Gozzo *et al.* (2014), embora utilizando uma metodologia diferente desta usada neste trabalho (Figura 27).

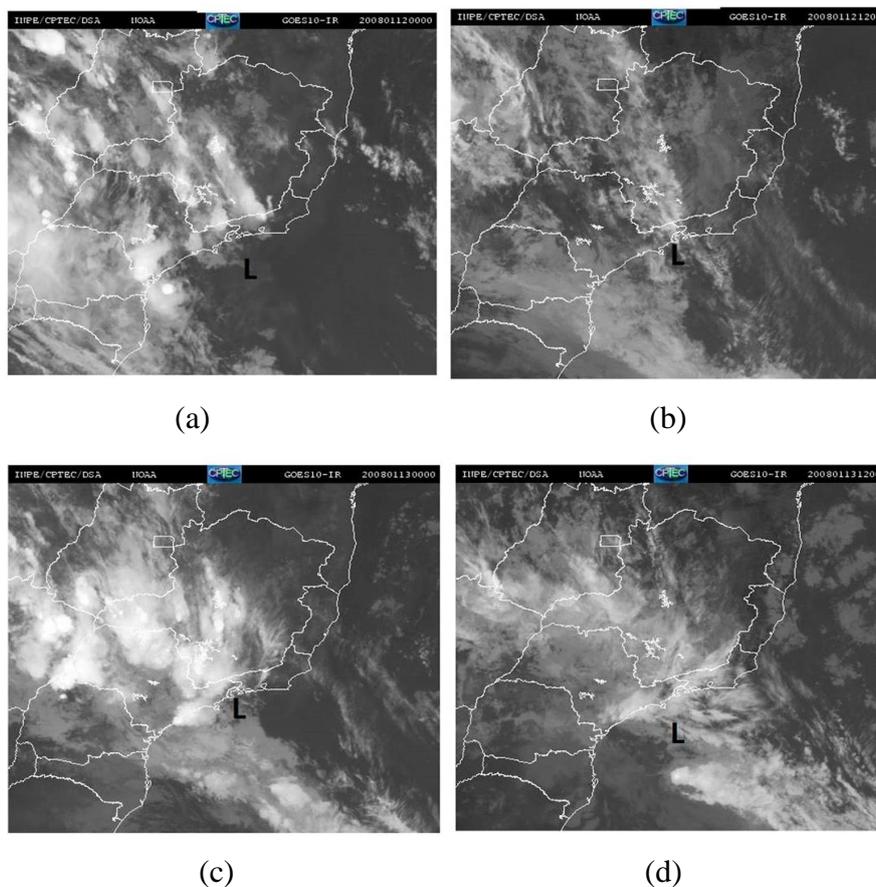


Figura 27: Imagem Satélite GOES-10 IR válida para: (a) 0000 UTC 12 Jan, (b) 1200 UTC 12 Jan, (c) 0000 UTC 13 Jan, (d) 1200 UTC 13 Jan 2008. A letra "L" indica o centro de baixa pressão. Fonte: CPTEC/INPE.

3.3.3 - CASO 2010

Em particular, o ciclone Anita foi selecionado por ter se desenvolvido e permanecido semi-estacionário perto da costa Sul/Sudeste brasileira, sem associação direta com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZACS) [Figuras 28 e 29].

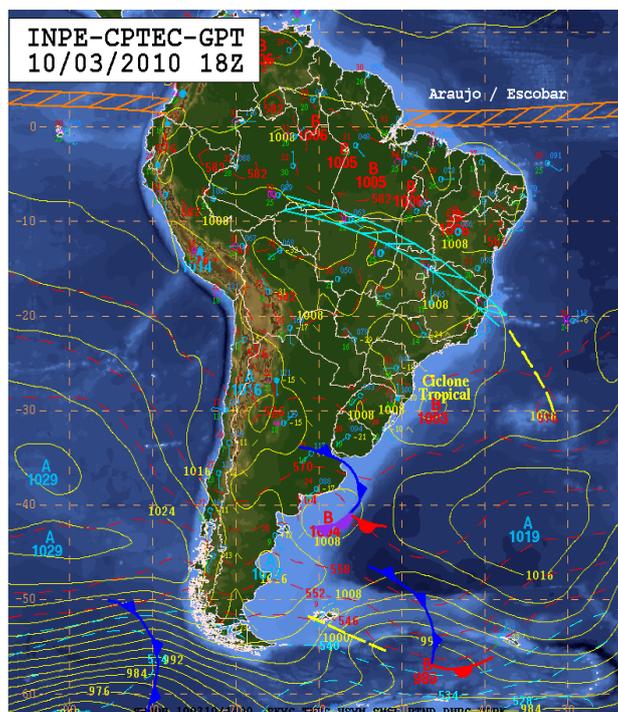


Figura 28: Carta sinótica do dia 10 de março de 2010 às 180000 UTC. Fonte: CPTEC/INPE.

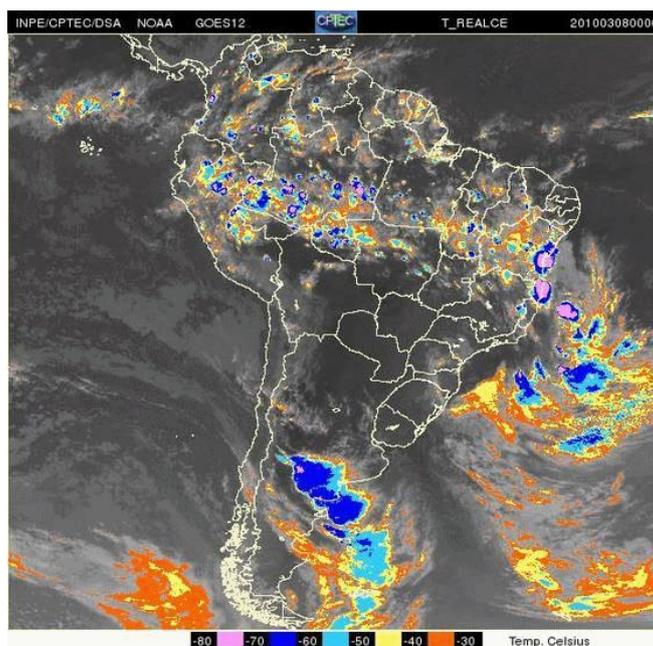


Figura 29: Imagem Satélite GOES-12 do dia 08 de março de 2010 às 000000 UTC. Fonte: CPTEC/INPE.

4. RESULTADOS

Os três ciclones identificados no Capítulo 3, através de imagens de satélite e cartas sinóticas, são analisados nas próximas seções, a partir de variáveis atmosféricas e de superfície disponíveis diretamente do produto SRDAS, assim como variáveis derivadas. As análises com base no SRDAS são realizadas cada 3-6 horas, para as seguintes variáveis: vorticidade absoluta, PNM, vento à 10 m, fluxos de calor latente e sensível, precipitação acumulada, vento em 200 hPa, TSM, vento térmico nas camadas 300-600 hPa e 600-900 hPa, e geopotencial em 500 hPa.

4.1- CASO 2006

Através das figuras 30 a 44 para o período de 22 a 24 de fevereiro de 2006, notou-se uma ciclogênese a partir das 0900Z de 22 de fevereiro, através de uma isóbara fechada em baixos níveis (1002 hPa) em 31°S e 44°W, que posteriormente deslocou-se para sudoeste. O campo de advecção de vorticidade em 500 hPa proporcionou suporte dinâmico ao desenvolvimento desse sistema, favorecendo o movimento vertical, ou seja, a região a leste do cavado estava adequada à formação do ciclone (Figuras 30a a 44a). O sistema aprofundou, com Fluxo de Calor Sensível negativo ($H < 0$) no lado direito, vide figuras 30e a 44e.

Embora um jato de altos níveis (ventos superiores a 30 m/s no nível de 200 hPa) esteja presente bem ao sul da região de ciclogênese, o que sugere a presença de uma frente fria, fraco cisalhamento do vento é observado na região do ciclone, permitindo o desenvolvimento de uma estrutura mais vertical associada ao ciclone, o que é também uma característica de ciclone subtropical, conforme observado nas figuras 30d a 44d.

Ventos máximos entre 55-65 km/h (15-18 m/s) (foram observados, que representam o limite entre uma depressão e uma tempestade tropical). Através das figuras de calor latente e o vento em superfície (Figuras 30b a 44b), pode-se observar a disponibilidade da umidade para beneficiar o ciclone, bem como magnitude do vento em baixos níveis (convergência).

A umidade favorece a intensificação dos ciclones, pois junto com o movimento vertical, que resfria a parcela de ar, favorece a condensação, desprendendo calor latente. Verificou-se picos dos ventos entre 30 e 40 km/h. Notou-se ventos fortes (25-30 kt) no pré-frontal e lado leste e sul do ciclone enquanto no centro ele mostrou -se mais fraco (10-20 kt).

De acordo com as figuras 30g a 44g, pode-se observar que o vento térmico na camada superior (600 a 300 hPa) não apresentou variação significativa. Em baixos níveis (900 e 600 hPa) o vento térmico apresentou-se quase nulo, uma propriedade barotrópica, sendo um padrão é típico de um ciclone subtropical.

Verificou-se com a precipitação acumulada a cada 3 horas, a existência de precipitação moderada, como esperado em um ciclone subtropical, mas não em todo o domínio, o que pode ser verificado também com os meteorogramas que apresentaram diferença significativa para cada estação (Figuras 30c a 44c).

Para o calor latente (Figuras 30b a 44b), bem como a fraca intensidade do vento em baixos níveis (convergência), observamos a disponibilidade da umidade que favorece formação de ciclone. A umidade beneficia a intensificação dos ciclones, pois junto com o movimento vertical, que resfria a parcela de ar, diminuindo sua capacidade de conter vapor d'água, favorecendo a condensação e conseqüentemente desprendendo calor latente.

Pelas imagens de Calor Sensível e o vento em superfície (Figuras 30e a 44e), verificou-se que o ciclone possui núcleo quente nas bordas oeste e um pouco mais frio no núcleo no início, passando a quente no centro a partir de 12Z de 23 de março de 2006, caracterizando-se como um ciclone subtropical, de acordo com os parâmetros anteriores.

O geopotencial em 500 hPa veio novamente confirmar que o ciclone apresentou uma estrutura mais simétrica (não frontal). Onde o parâmetro B de Hart (2003) indica valores até 10 metros para simetria não frontal. Notou-se também uma forte vorticidade negativa na região central do mínimo geopotencial em 500 hPa (Figuras 30i a 44i).

Nas figuras 30f a 44f, a temperatura na superfície do mar (TSM) acima de 26°C favoreceu a alimentação de calor e umidade para a formação do ciclone subtropical. A TSM se conservou sempre maior que 25°C ou mais elevadas.

Pode-se observar que às 18Z de 22 de março de 2006, o ciclone estava em 32°S 043°W. Daí por diante tem a vanguarda do seu deslocamento, valores cada vez mais positivos (Figura 32).

Às 00Z do dia 23 de março de 2006, a posição do ciclone estava em 33°S e 42°W, com o lado direito com Fluxo de Calor Sensível negativo ($H < 0$) e esquerdo positivo ($H > 0$). Ocorreu um ligeiro aprofundamento da baixa pressão (999hPa), e um pequeno deslocamento leste (E) (Figura 36).

Às 03Z do dia 23 de março de 2006, ao ciclone não deslocou-se, e ficou em 33°S e 042°W, intensificando e alcançando 997 hPa (Figura 37), deslocou-se pouco até às 12Z do dia 23 de março de 2006, mas alcançou 996 hPa (figura 41).

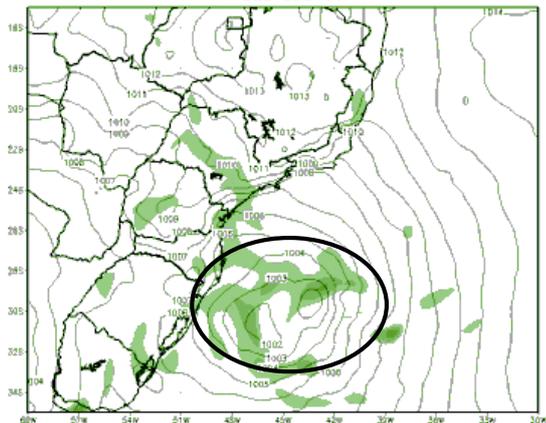
Às 18Z do dia 23 de março de 2006. O ciclone estava em 30°S 041°W, desintensificando, mas com o padrão $H < 0$ à direita e $H > 0$ à esquerda (figura 41e) até desaparecer em 00Z do dia 24 de março de 2006.

As figuras 32i a 46i de geopotencial em 500 hPa, veio novamente confirmar que o ciclone apresentou uma estrutura mais simétrica (não frontal). Onde o parâmetro B de Hart (2003) indicou valores até 10 metros para simetria não frontal. Ainda, apresentou uma forte vorticidade negativa na região central do mínimo geopotencial em 500hpa.

A TSM em torno de 26°, favoreceu a alimentação de calor e umidade para a formação do ciclone subtropical. Sempre maior que 24° C / 25° C no início do dia 22 e seguindo com TSMs mais elevadas (Figuras 30f a 44f).

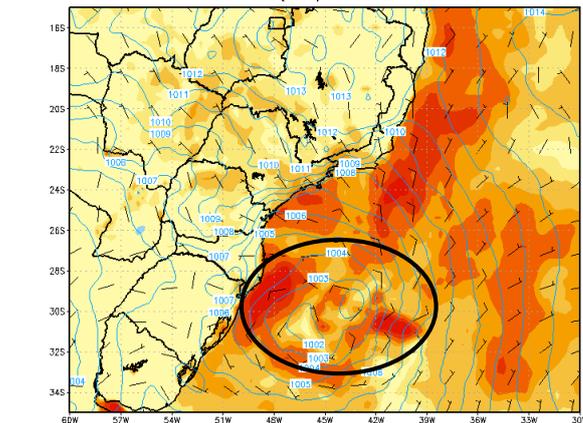
A figura 45, mostra o diagrama de fase para o caso de 2006, nele podemos observar que o ciclone possuía núcleo quente em baixos níveis e frio em altos níveis. Ainda assim, sua estrutura ficou simétrica em todo o período, de acordo como as características de um ciclone subtropical.

Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
09Z22FEB2006



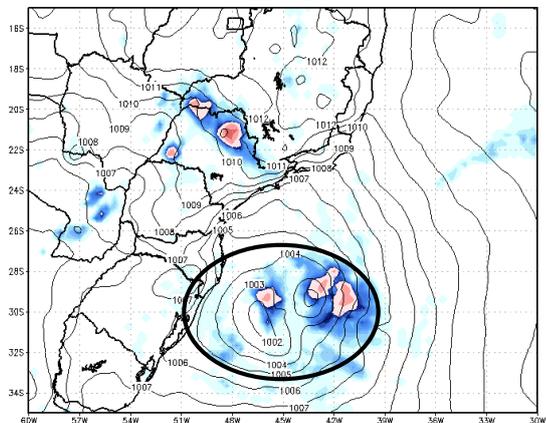
(a)

Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 09Z22FEB2006



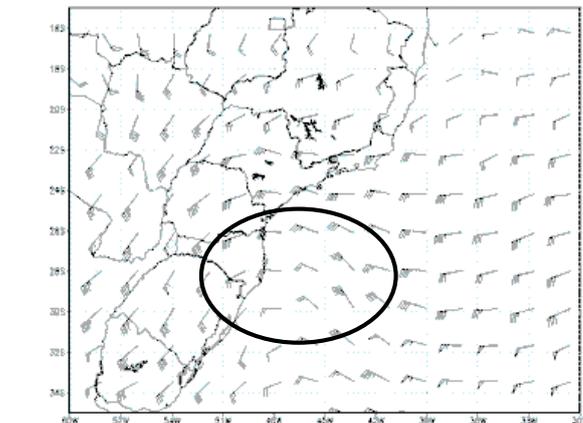
(b)

Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
08Z22FEB2006



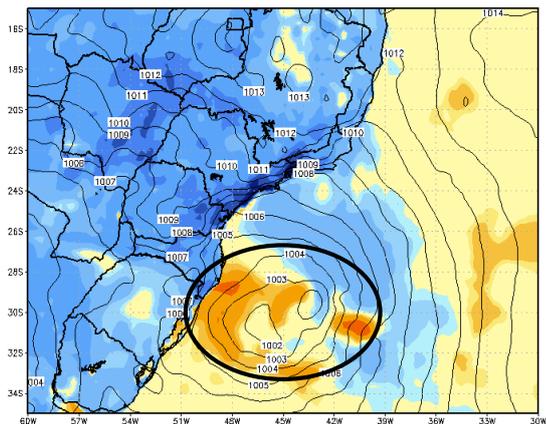
(c)

Vento 200hPa Kt 09Z22FEB2006



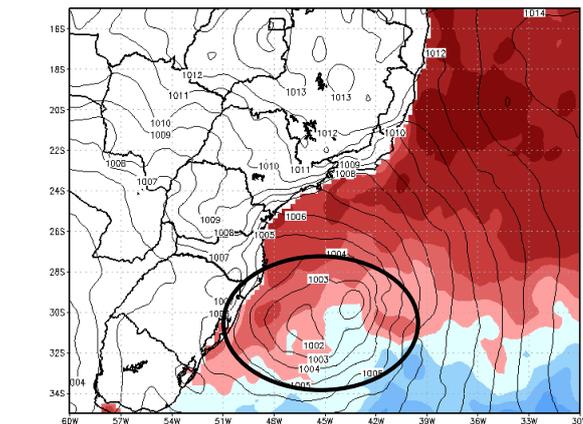
(d)

Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
09Z22FEB2006



(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
09Z22FEB2006



(f)

GMD: COLA/IGES

GMD: COLA/IGES

GMD: COLA/IGES

GMD: COLA/IGES

GMD: COLA/IGES

GMD: COLA/IGES

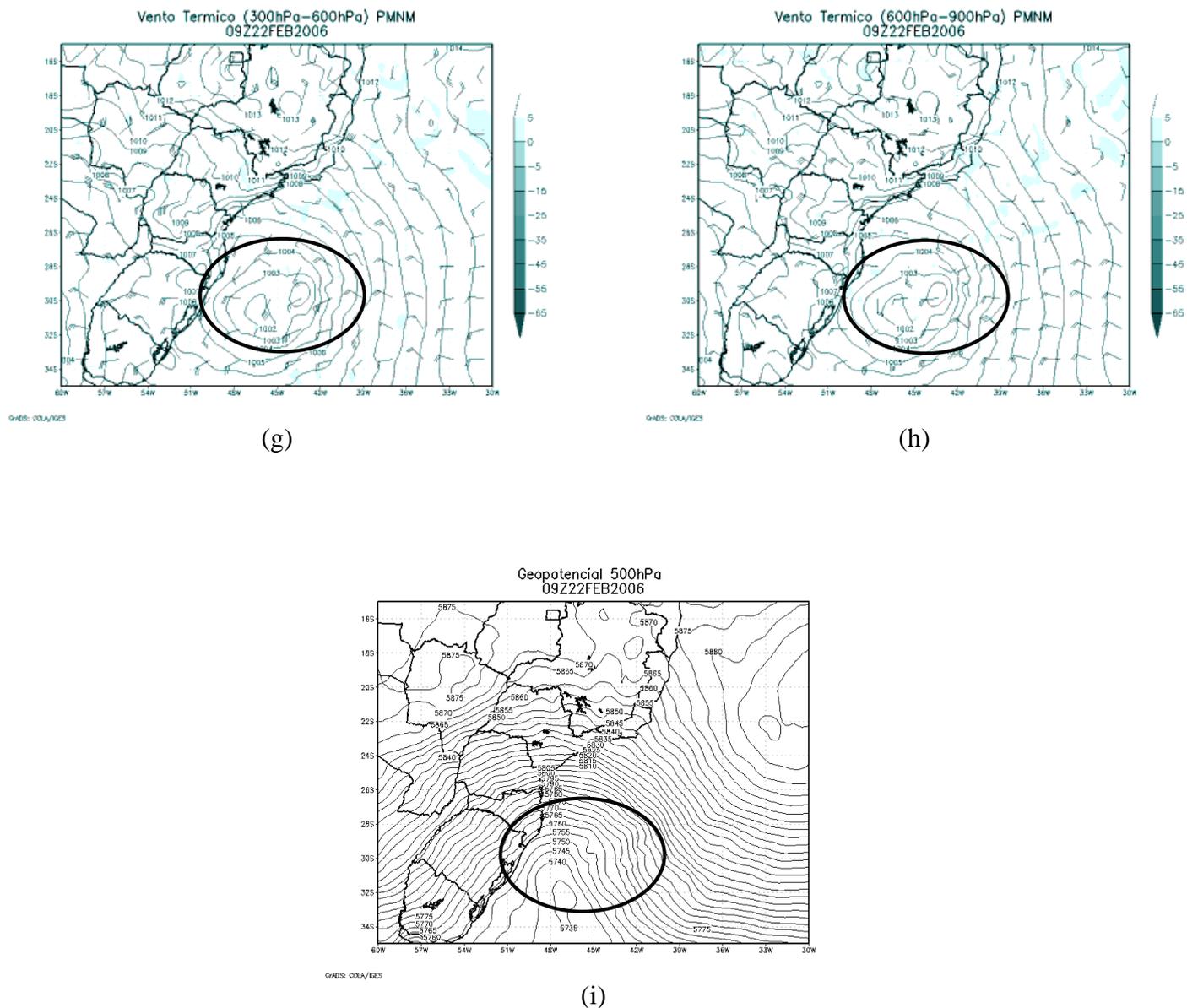
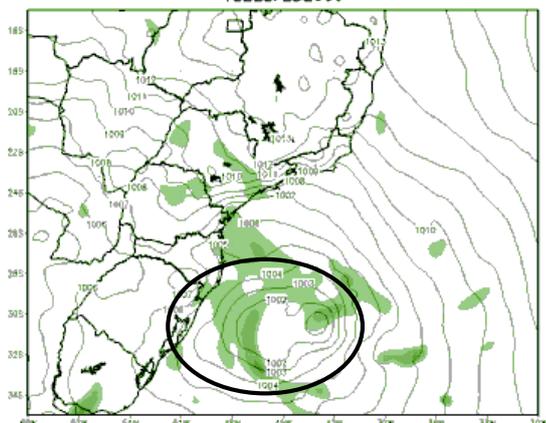


Figura 30: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 22/02/2006 às 09Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

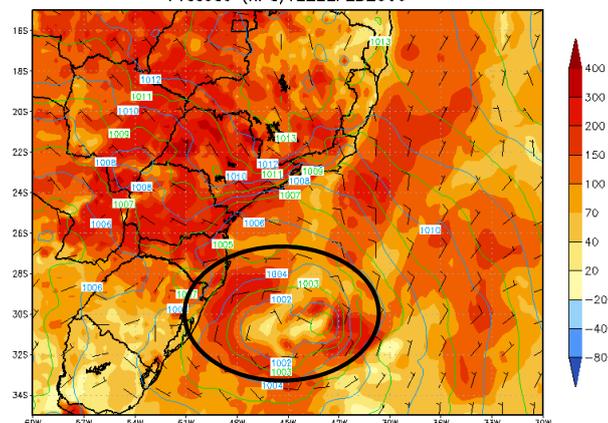
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
12Z22FEB2006



GIBS: COLA/IGES

(a)

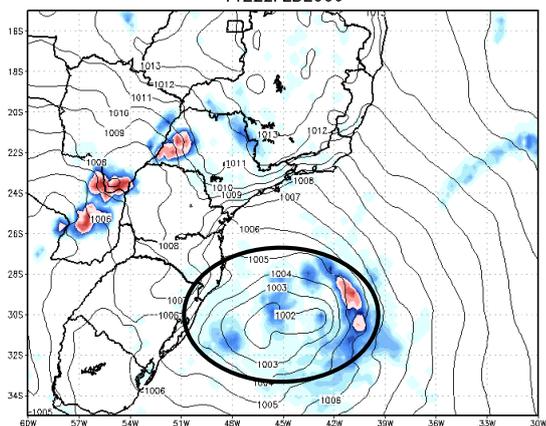
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 12Z22FEB2006



GIBS: COLA/IGES

(b)

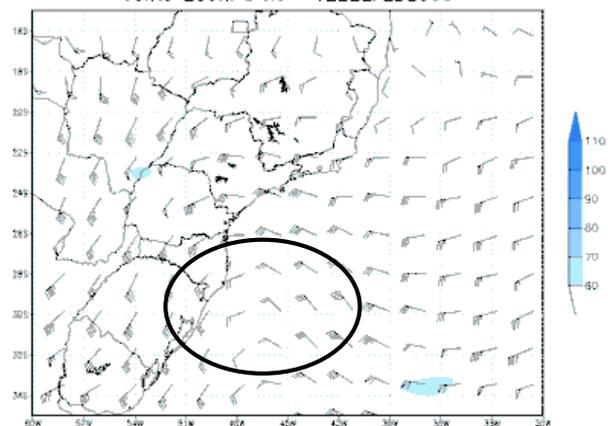
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
11Z22FEB2006



GIBS: COLA/IGES

(c)

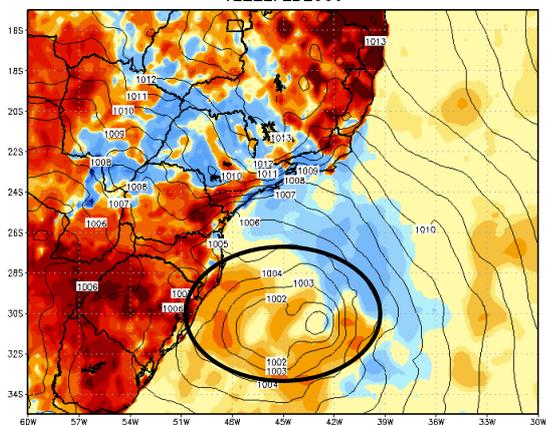
Vento 200hPa Kt 12Z22FEB2006



GIBS: COLA/IGES

(d)

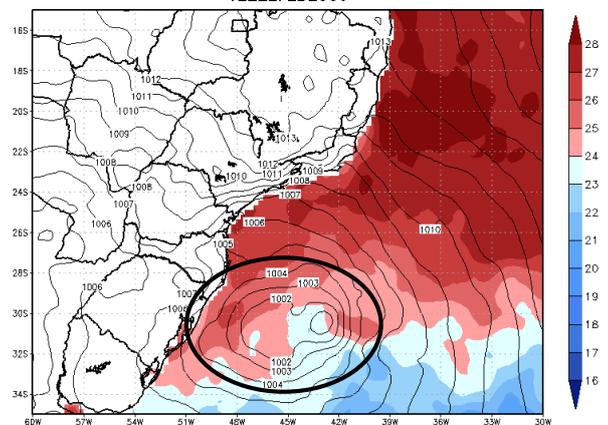
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
12Z22FEB2006



GIBS: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
12Z22FEB2006



GIBS: COLA/IGES

(f)

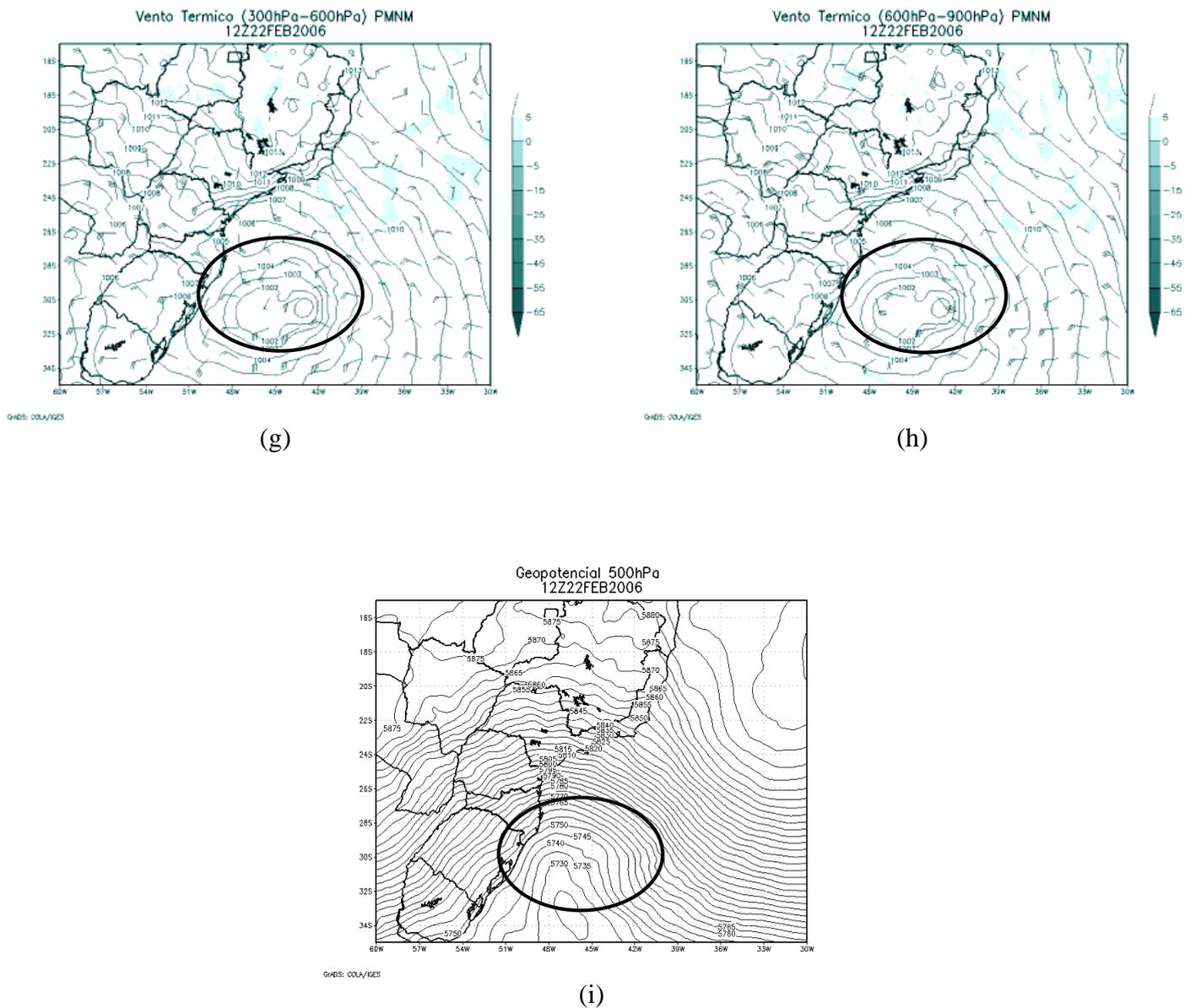
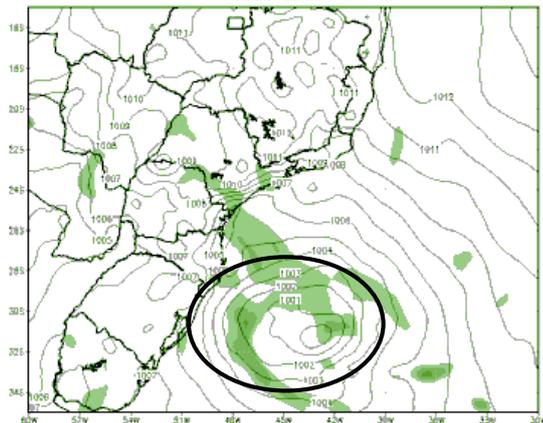


Figura 31: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 22/02/2006 às 12Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

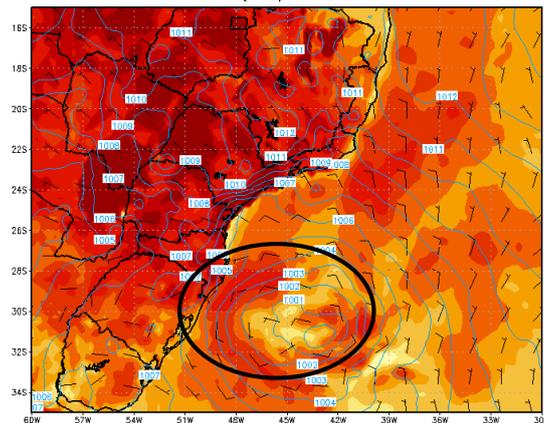
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNMM (hPa)
15Z22FEB2006



G/ADS: COLA/IGES

(a)

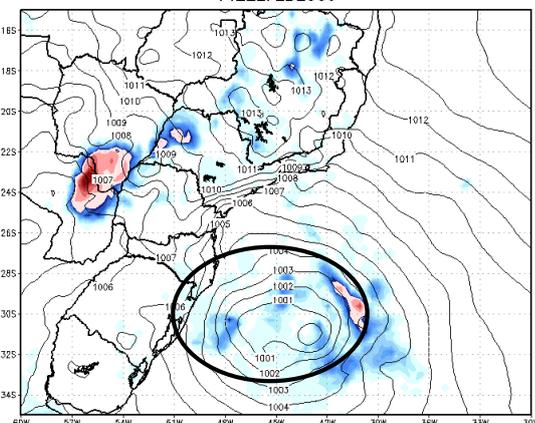
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 15Z22FEB2006



G/ADS: COLA/IGES

(b)

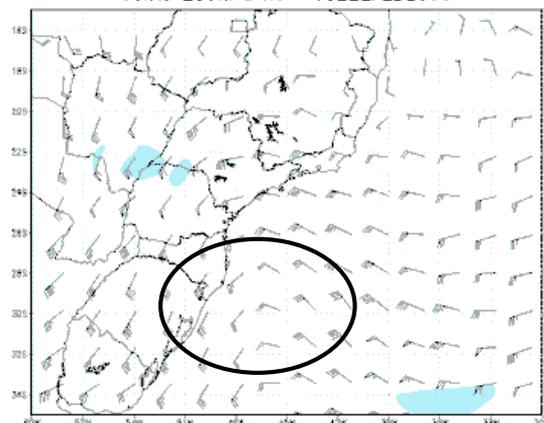
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
14Z22FEB2006



G/ADS: COLA/IGES

(c)

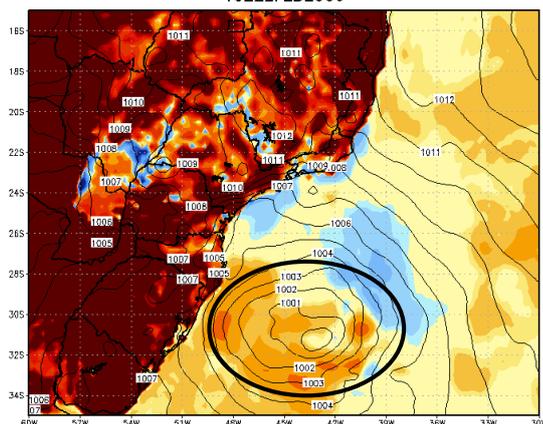
Vento 200hPa Kt 15Z22FEB2006



G/ADS: COLA/IGES

(d)

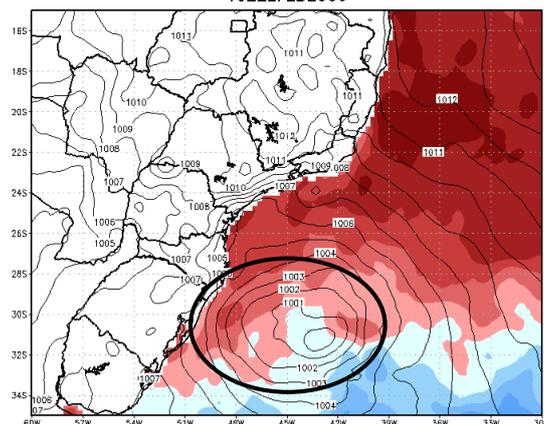
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
15Z22FEB2006



G/ADS: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
15Z22FEB2006



G/ADS: COLA/IGES

(f)

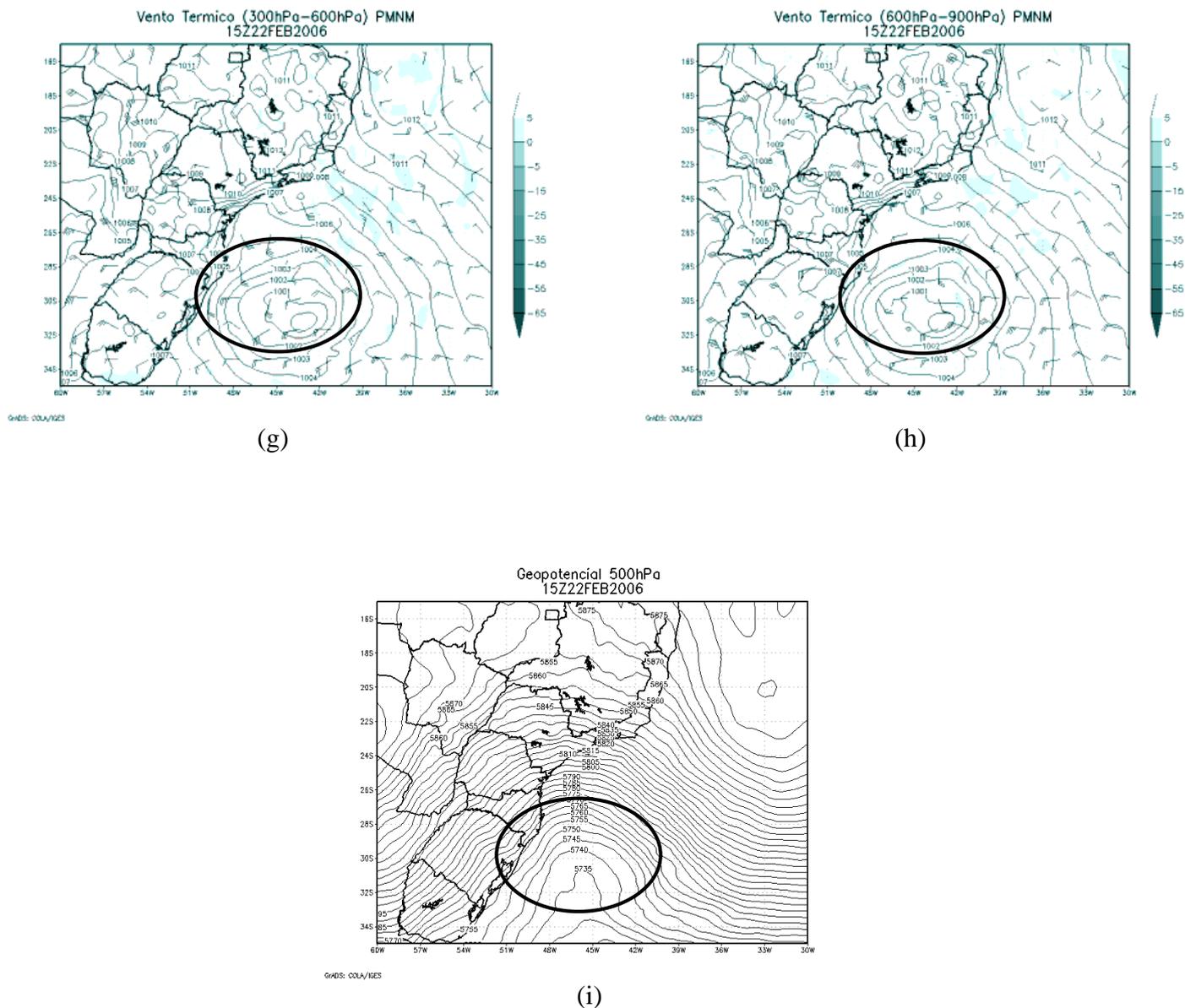
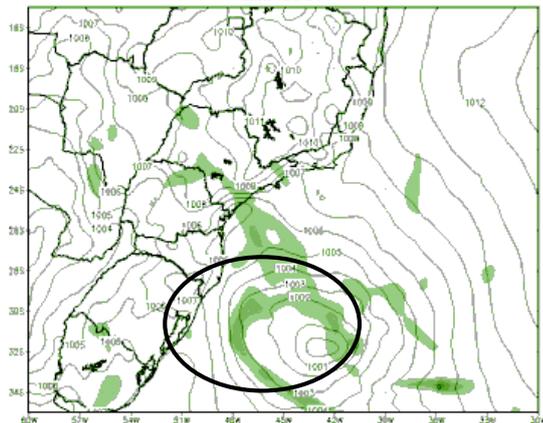


Figura 32: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 22/02/2006 às 15Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

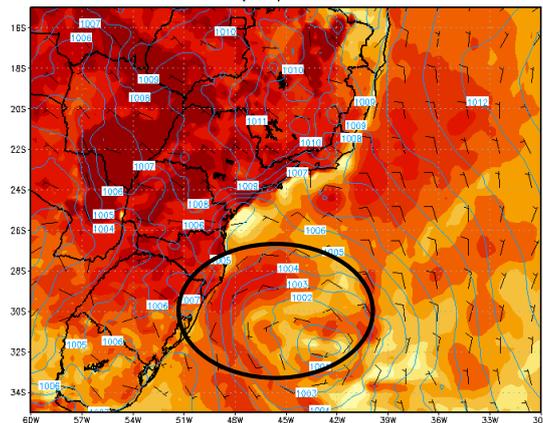
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNMM (hPa)
18Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(a)

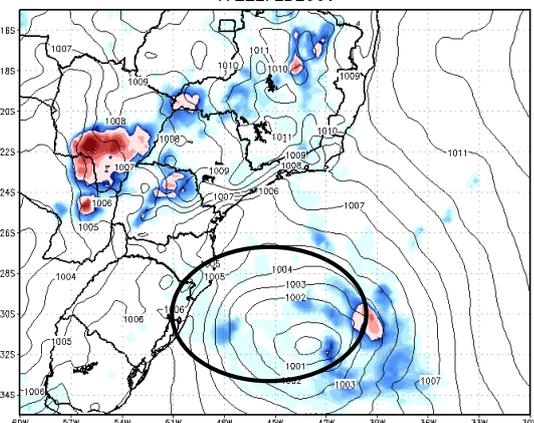
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 18Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(b)

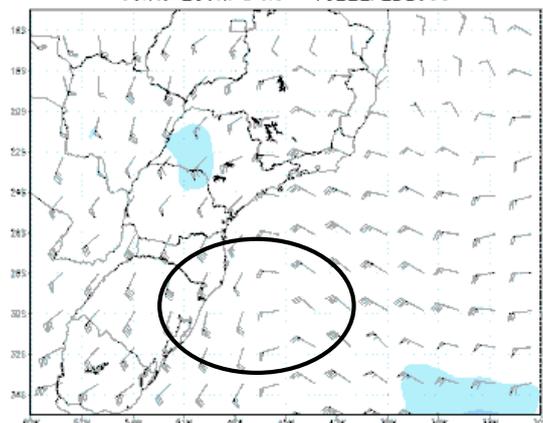
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
17Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(c)

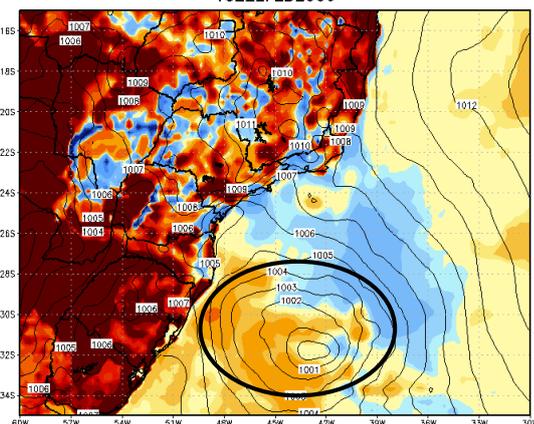
Vento 200hPa Kt 18Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(d)

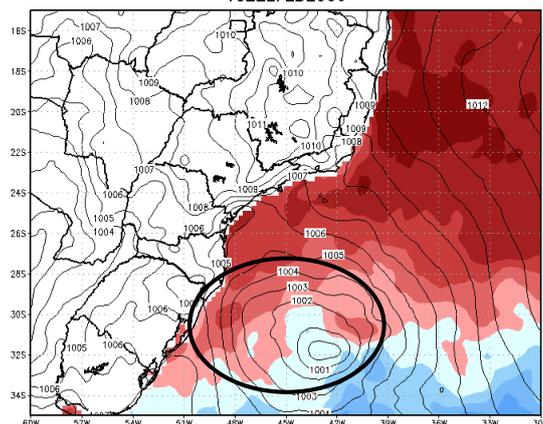
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
18Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
18Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(f)

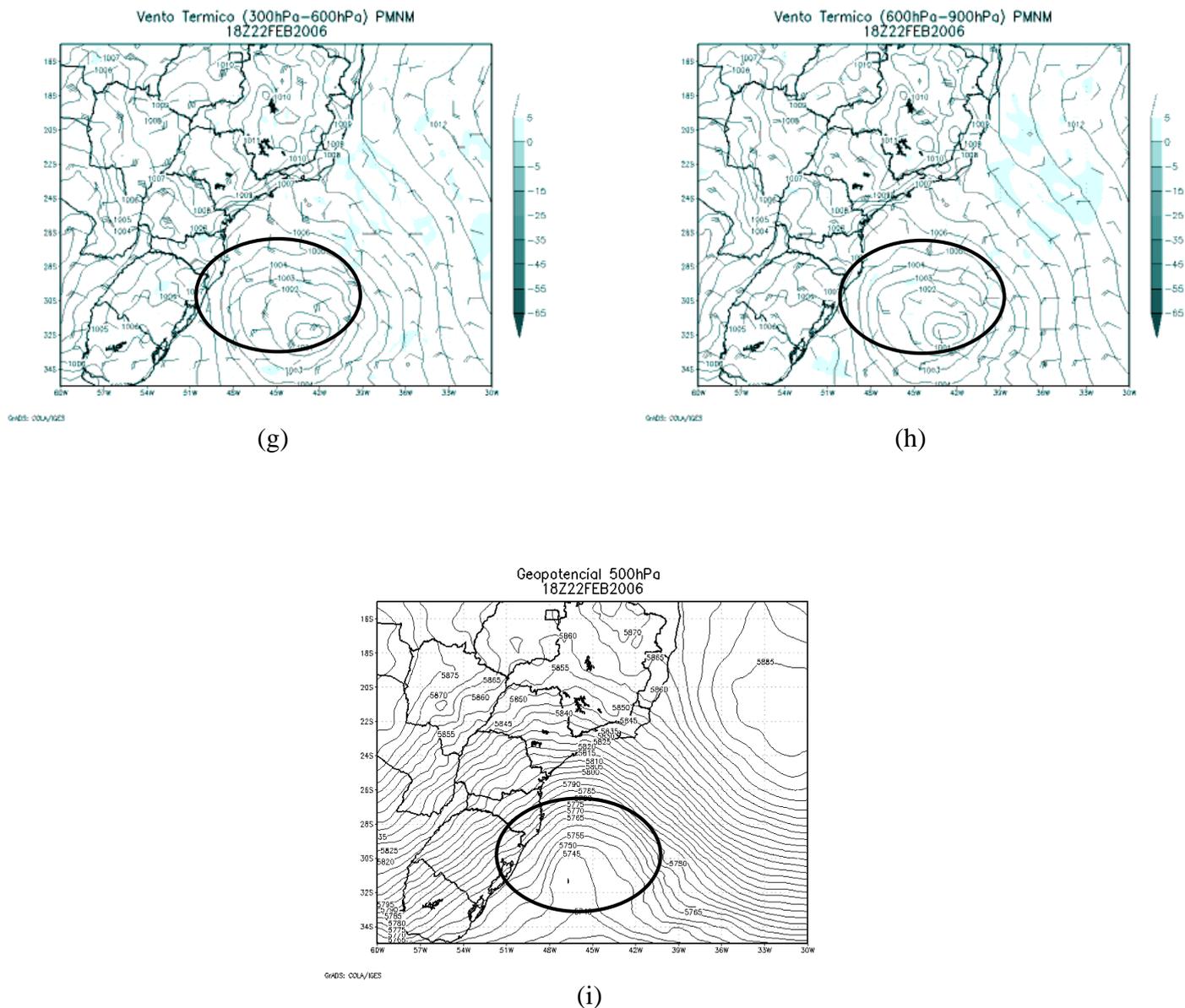
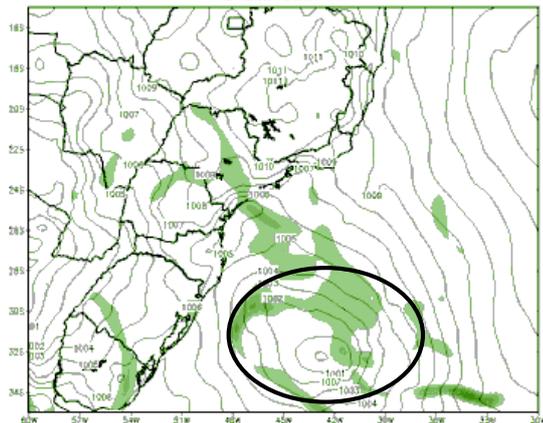


Figura 33: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 22/02/2006 às 18Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

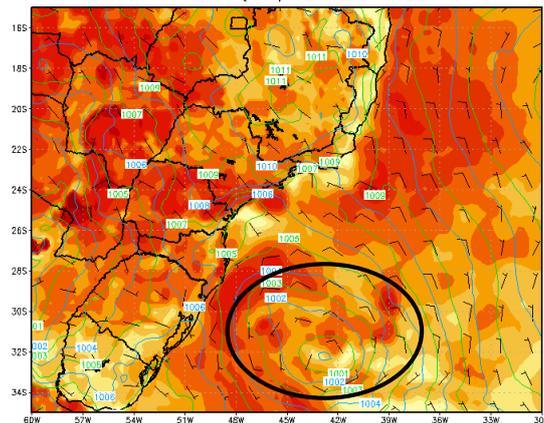
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNMM (hPa)
21Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(a)

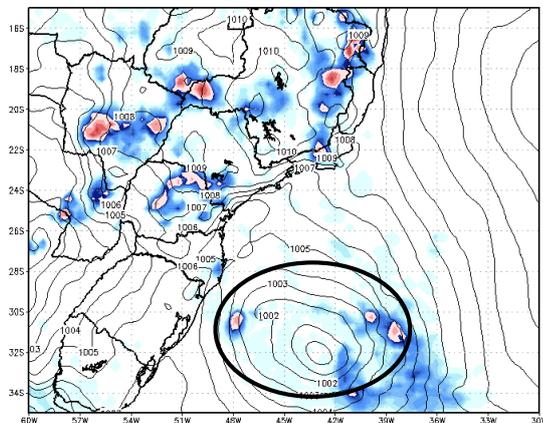
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 21Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(b)

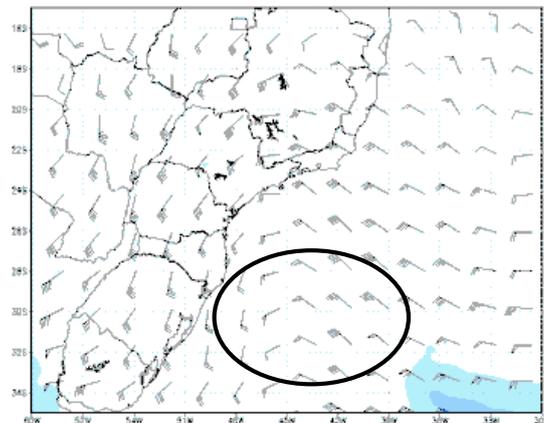
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
20Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(c)

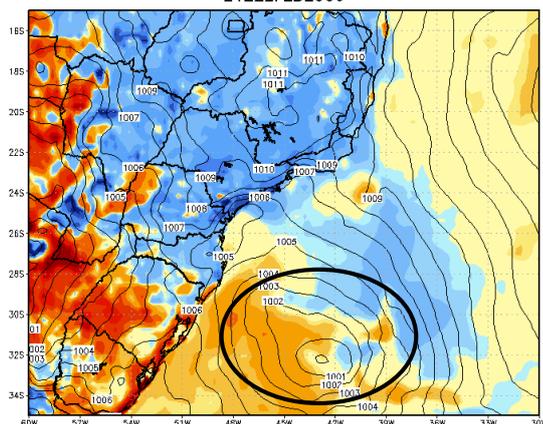
Vento 200hPa Kt 21Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(d)

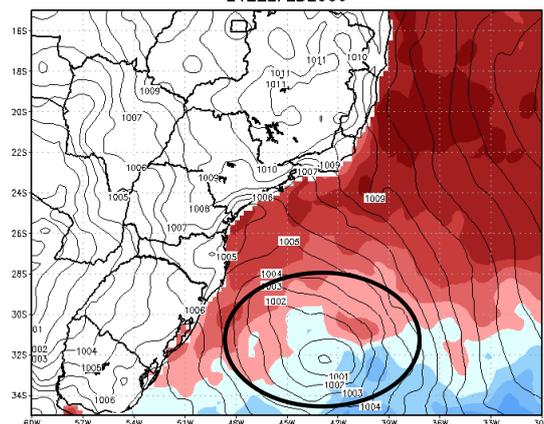
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
21Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
21Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(f)

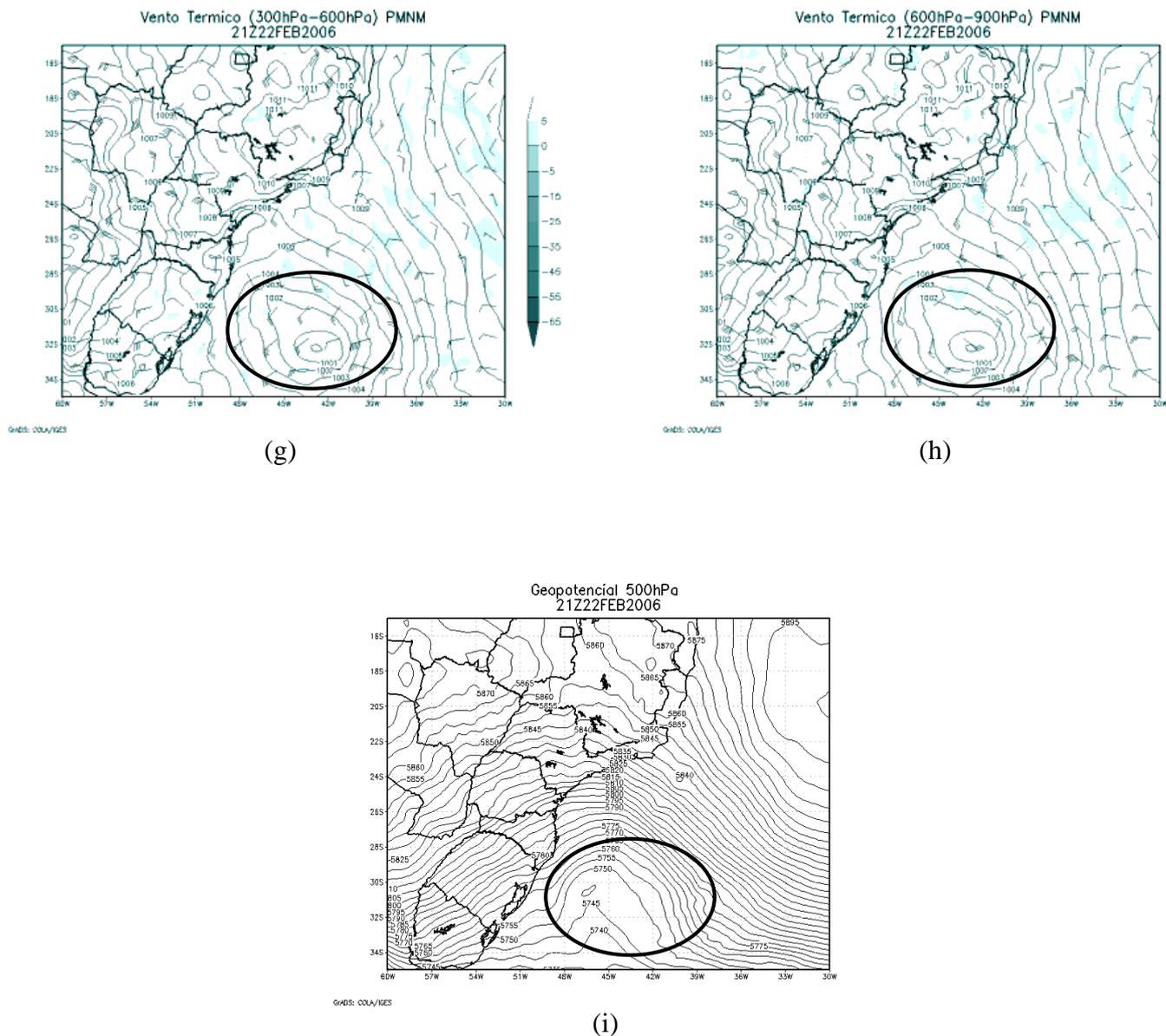
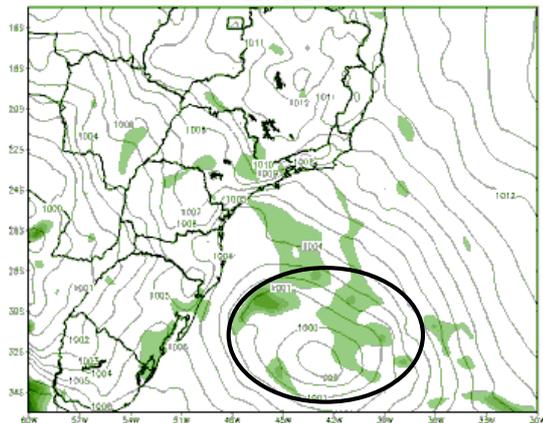


Figura 34: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 22/02/2006 às 21Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

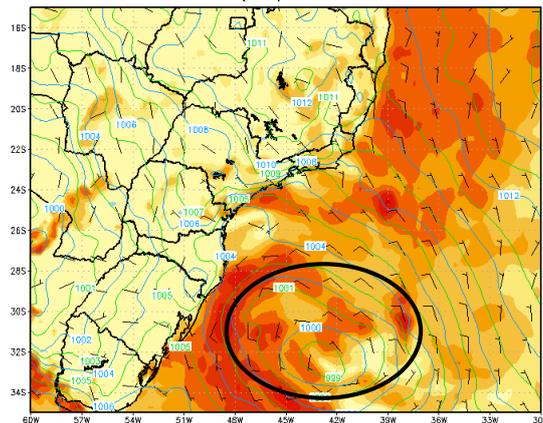
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNMM (hPa)
00Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(a)

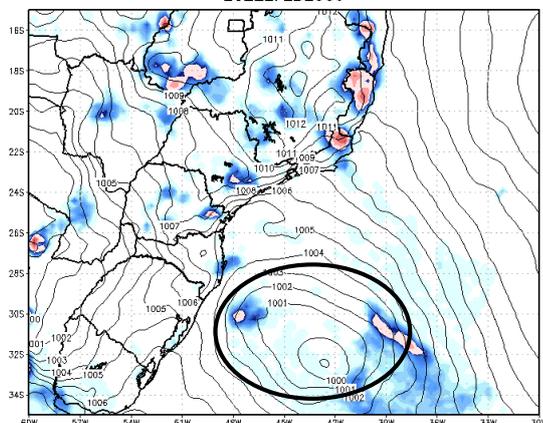
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 00Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(b)

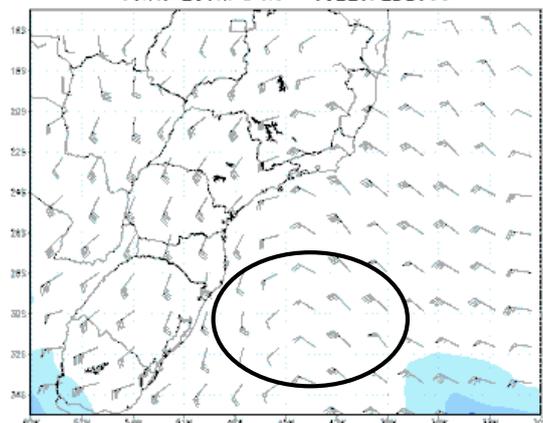
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
23Z22FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(c)

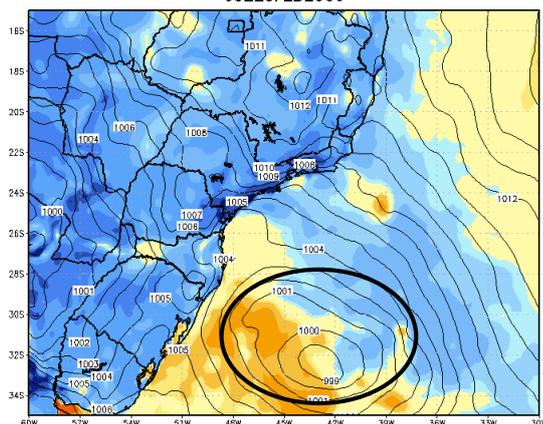
Vento 200hPa Kt 00Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(d)

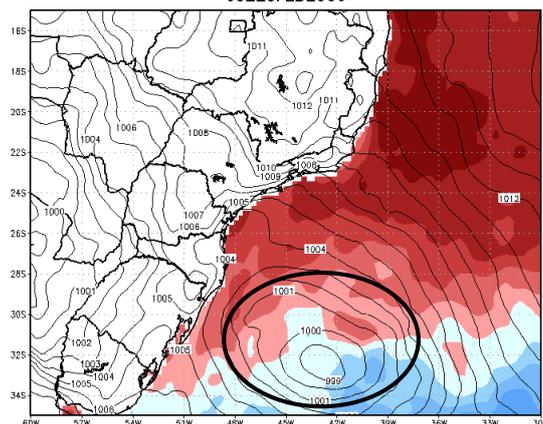
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
00Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
00Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(f)

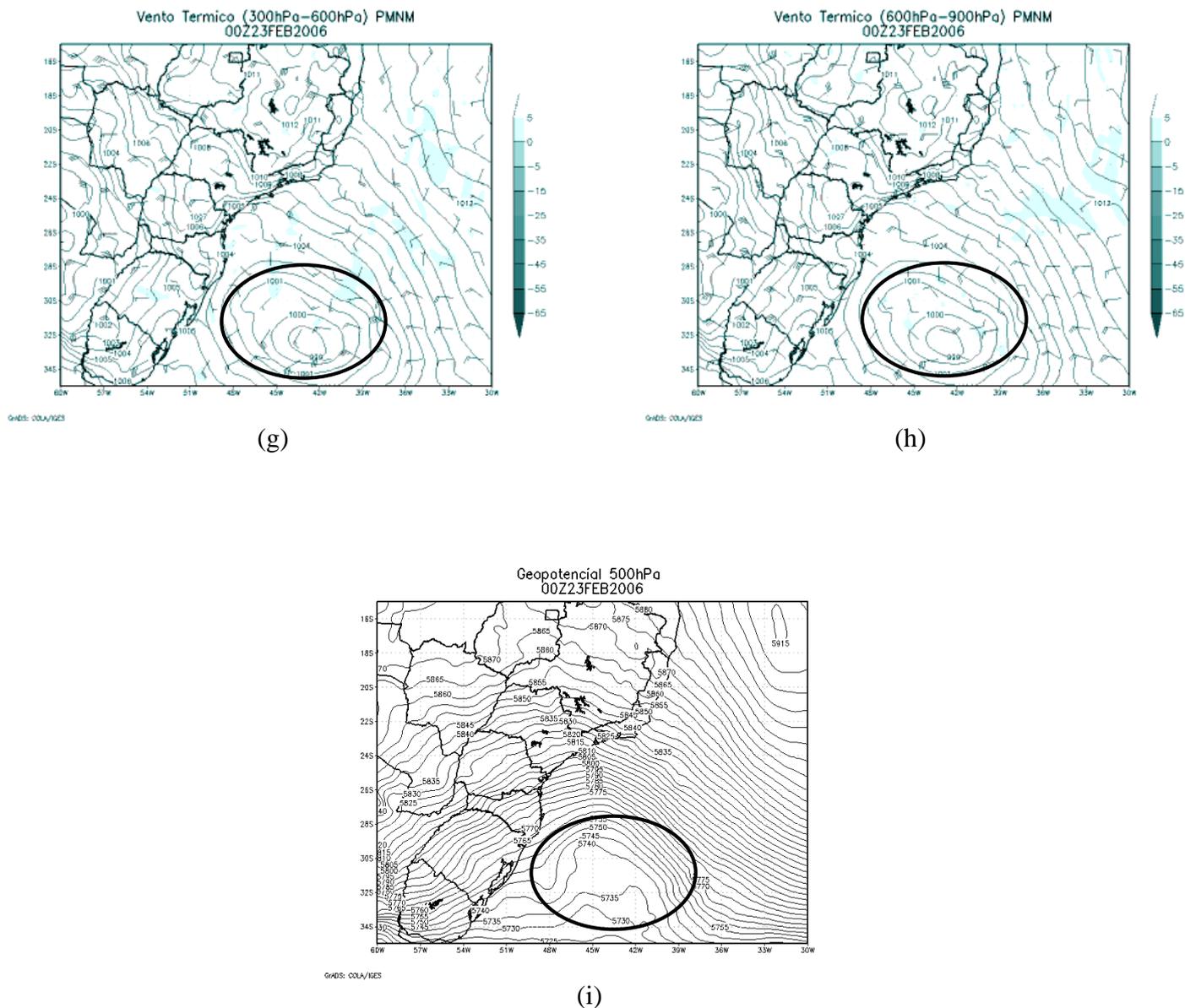
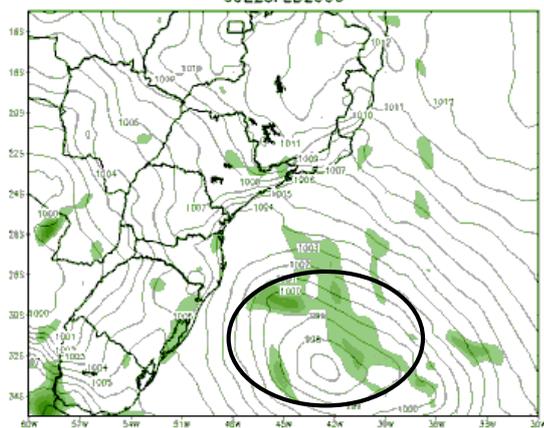


Figura 35: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 23/02/2006 às 00Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

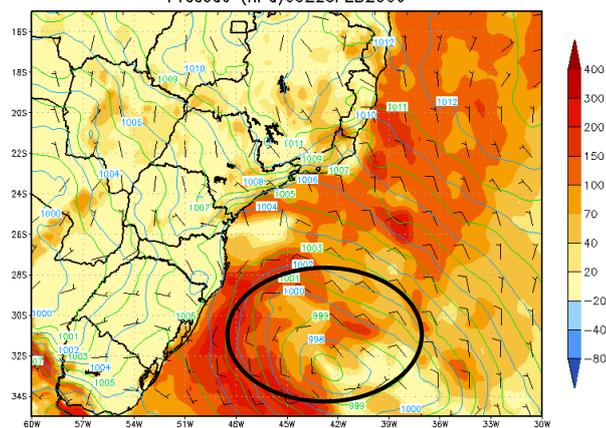
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNMM (hPa)
03Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(a)

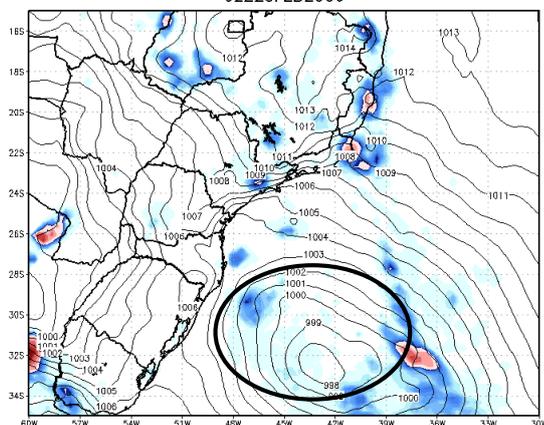
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 03Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(b)

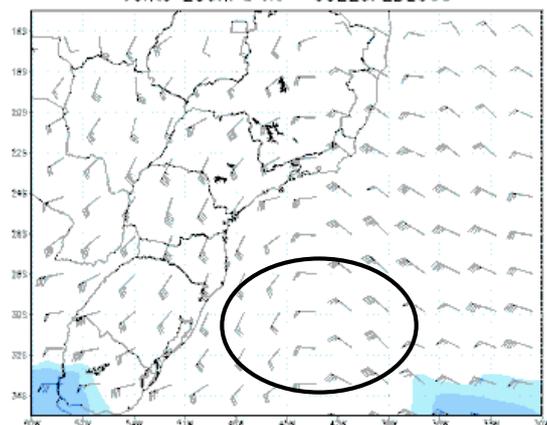
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
02Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(c)

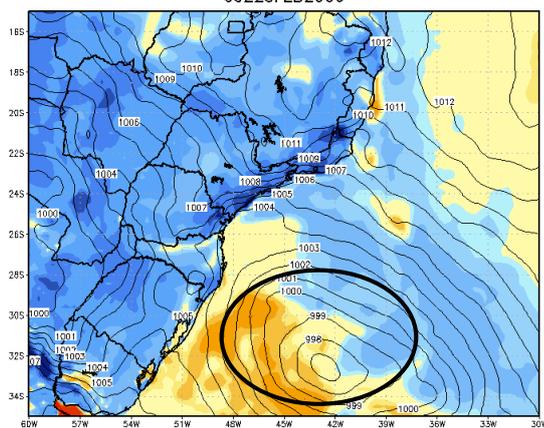
Vento 200hPa Kt 03Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(d)

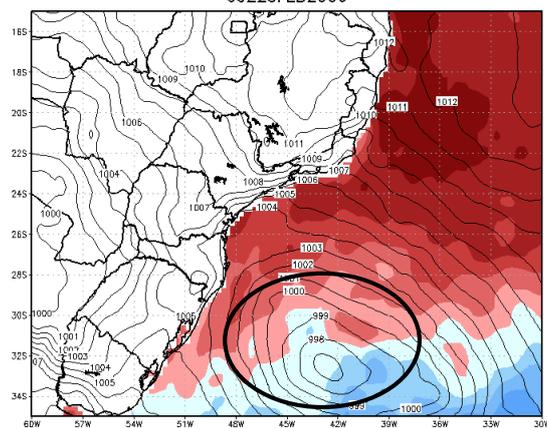
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
03Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
03Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(f)

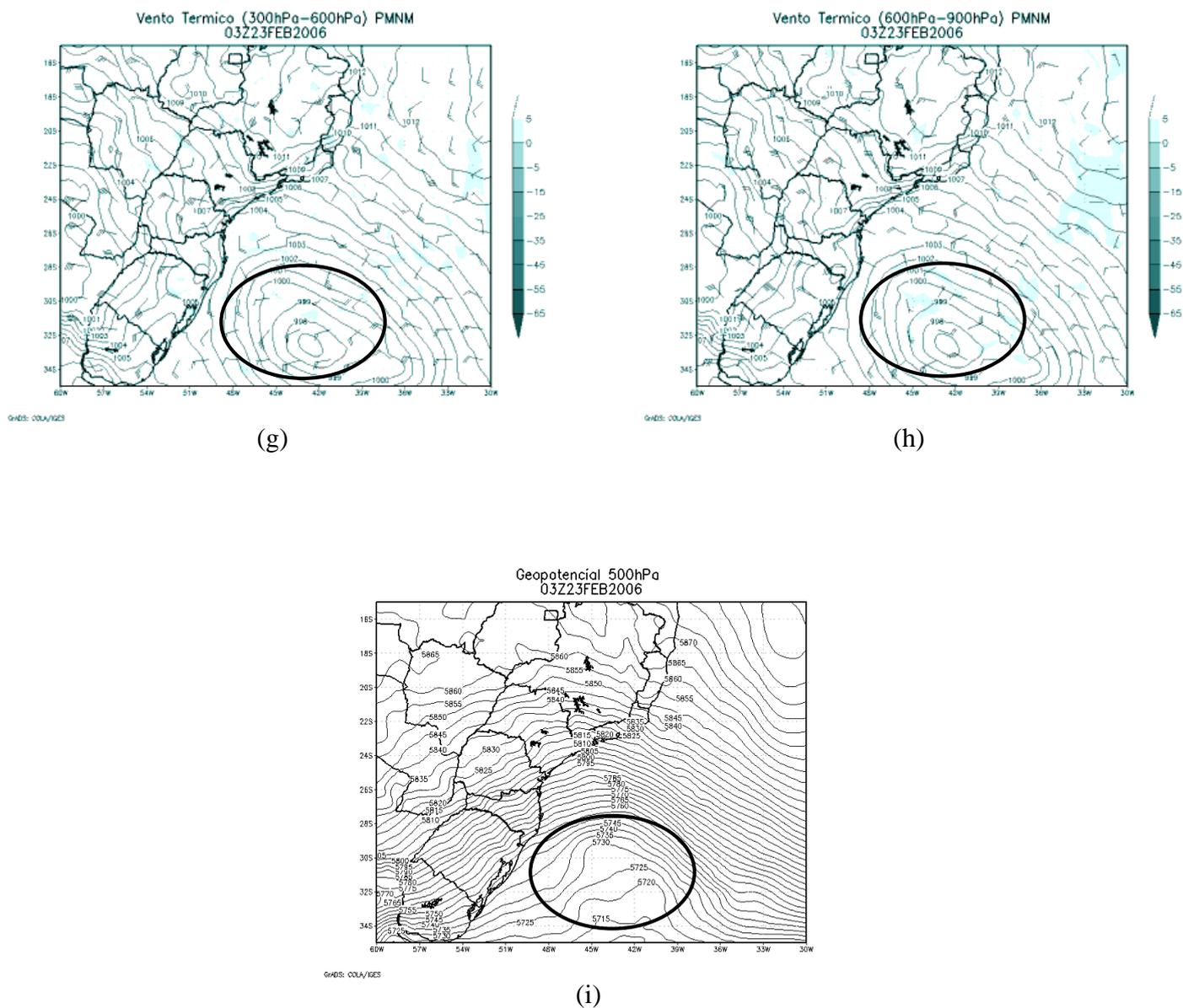
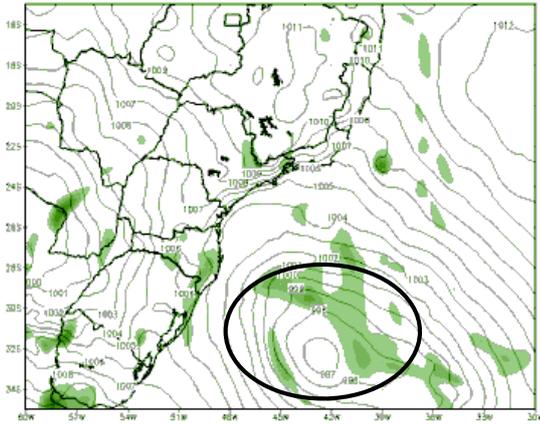


Figura 36: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 23/02/2006 às 03Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

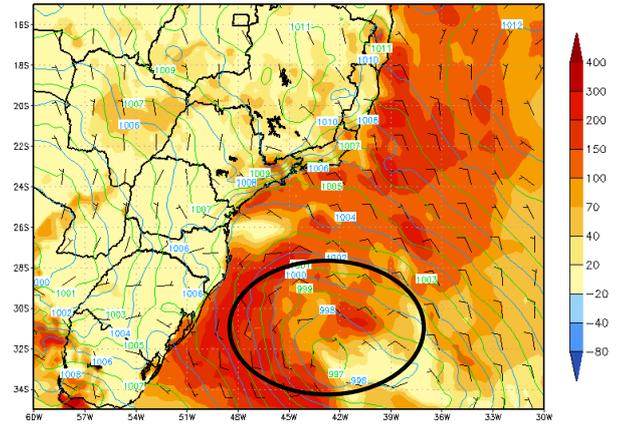
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNMM (hPa)
06Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(a)

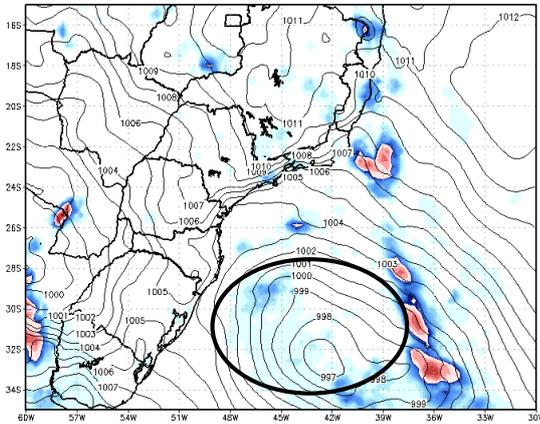
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 06Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(b)

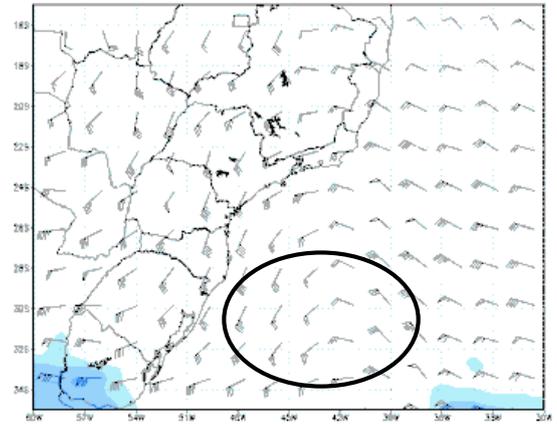
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
05Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(c)

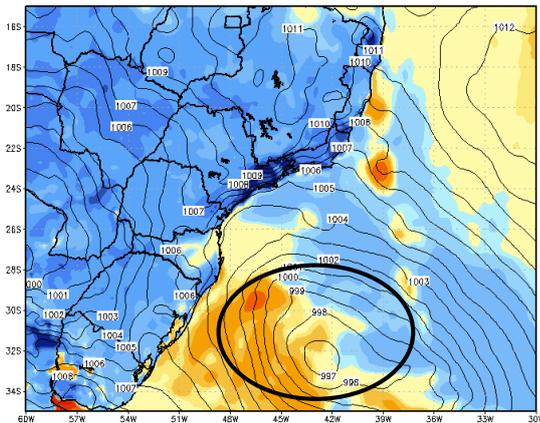
Vento 200hPa Kt 06Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(d)

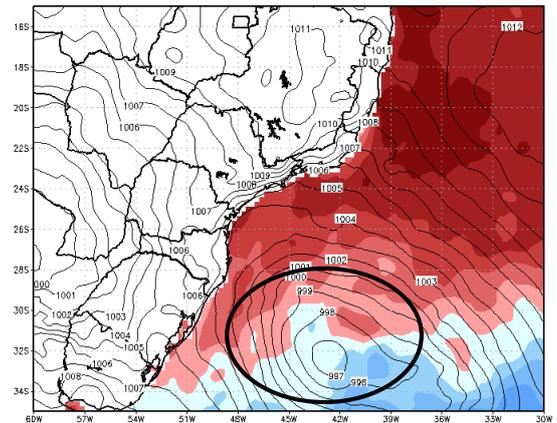
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
06Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
06Z23FEB2006



GWD: COLA/IGES

(f)

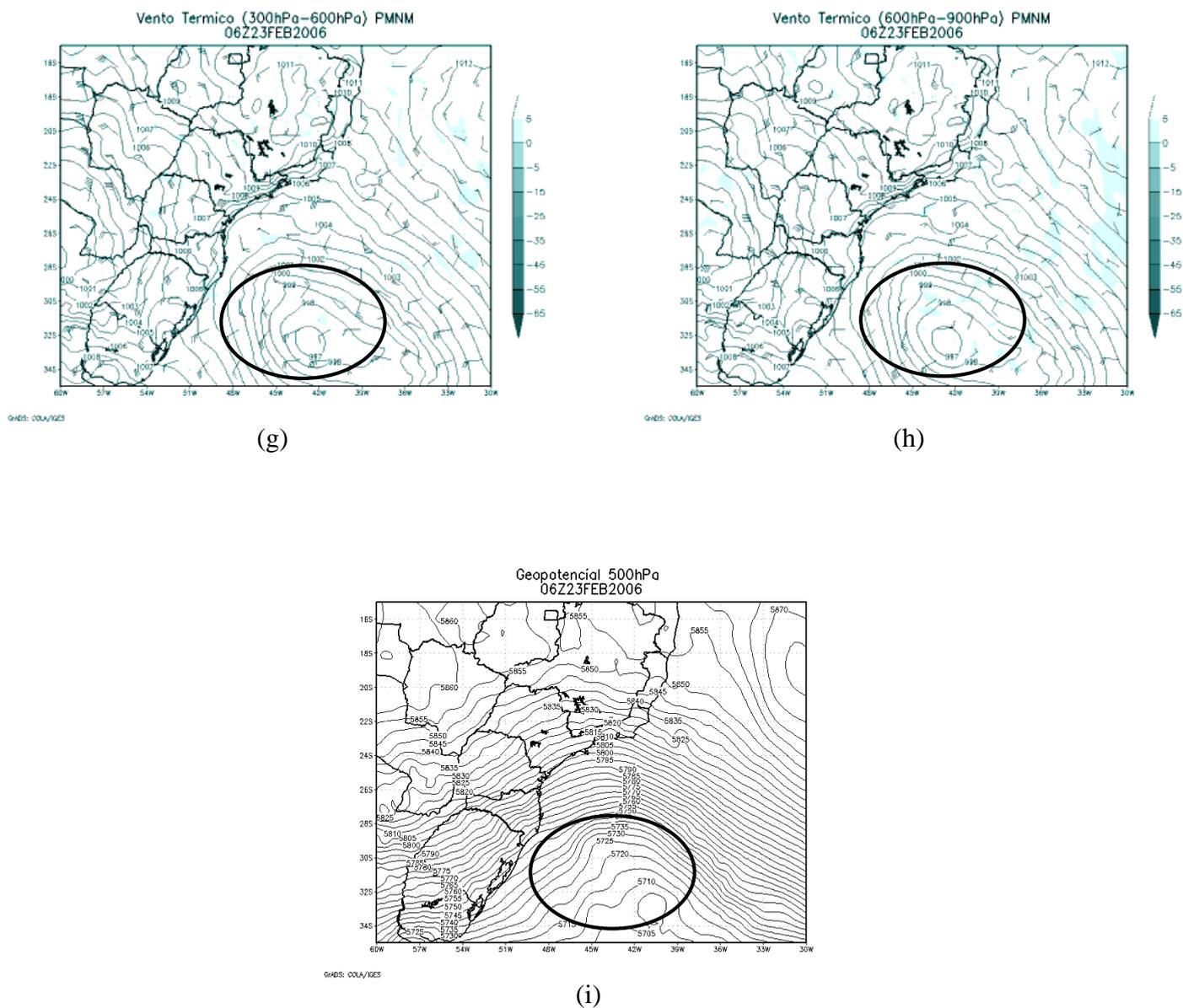
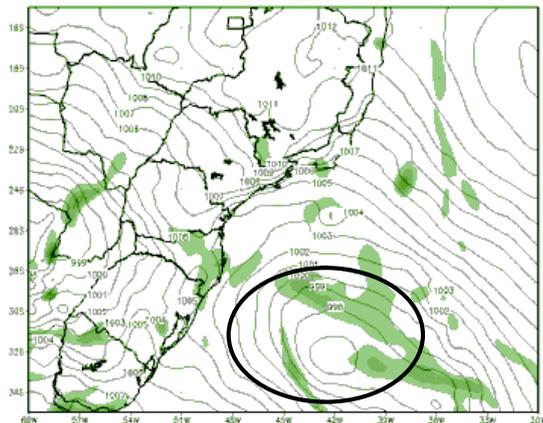


Figura 37: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 23/02/2006 às 06Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

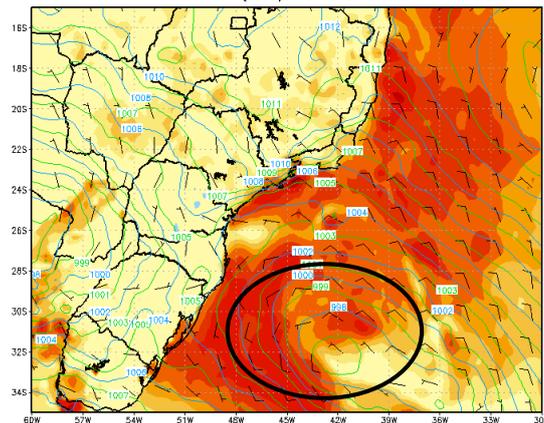
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
09Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(a)

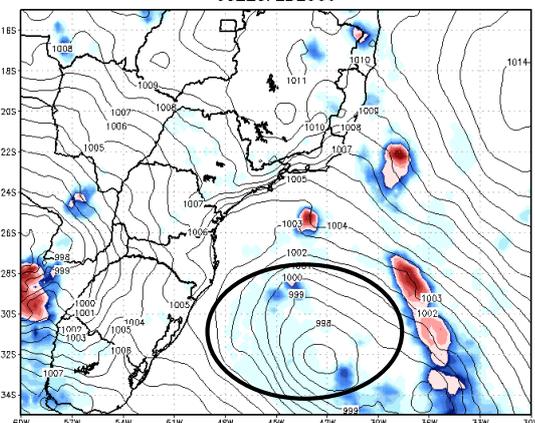
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 09Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(b)

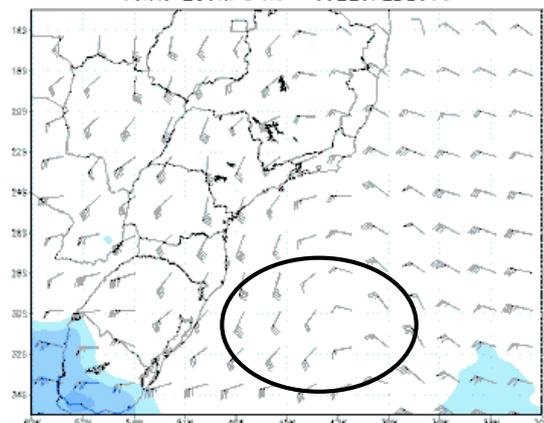
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
08Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(c)

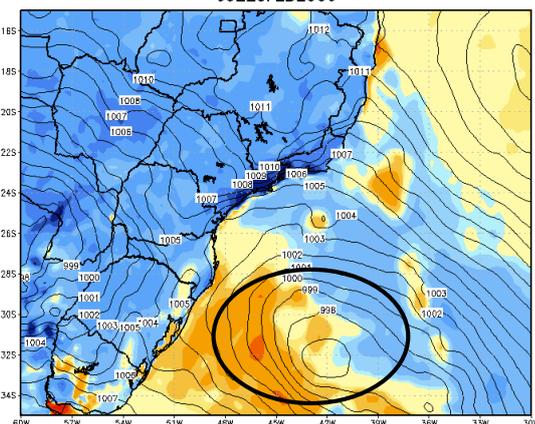
Vento 200hPa Kt 09Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(d)

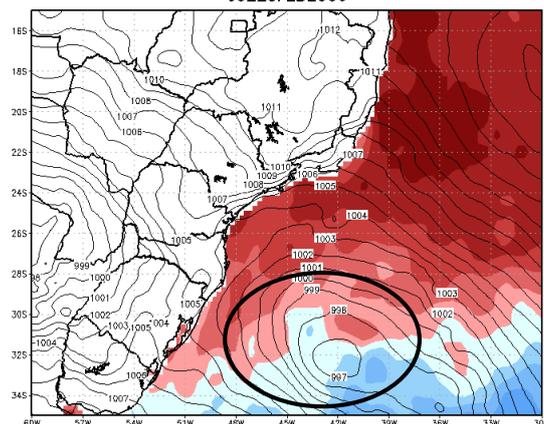
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
09Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
09Z23FEB2006



GFDL: COLA/IGES

(f)

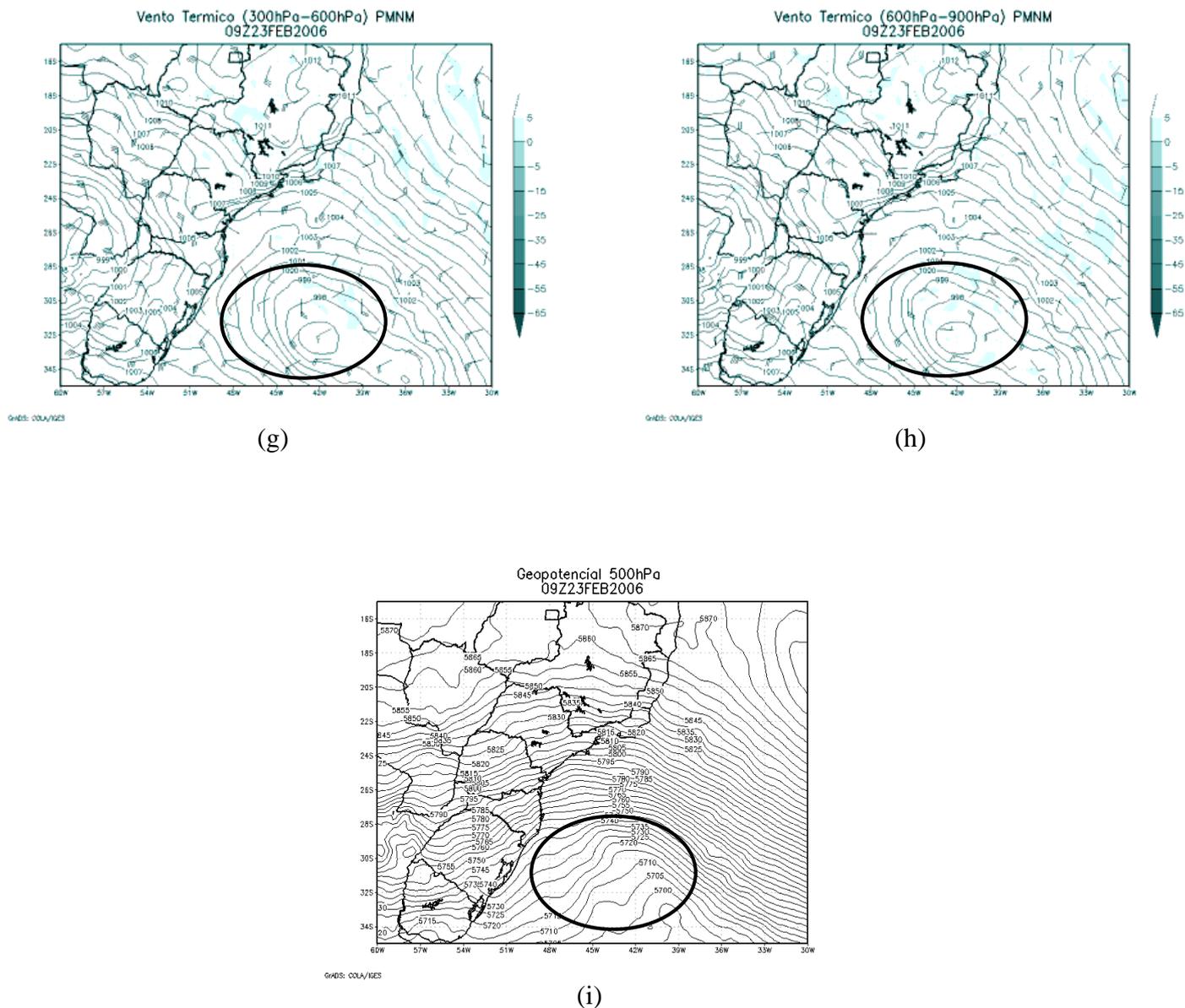
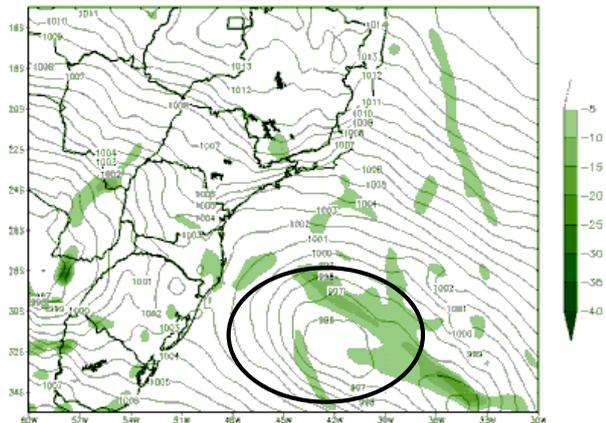


Figura 38: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 23/02/2006 às 09Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

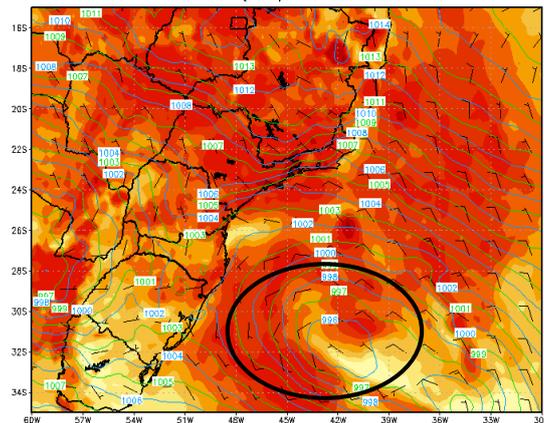
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
12Z23FEB2006



G/MS: COLA/IGES

(a)

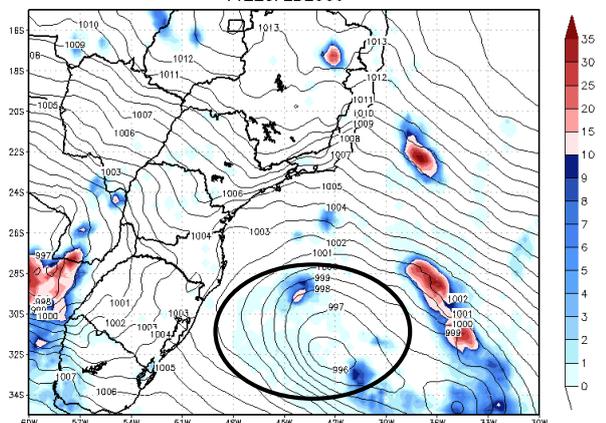
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 12Z23FEB2006



G/MS: COLA/IGES

(b)

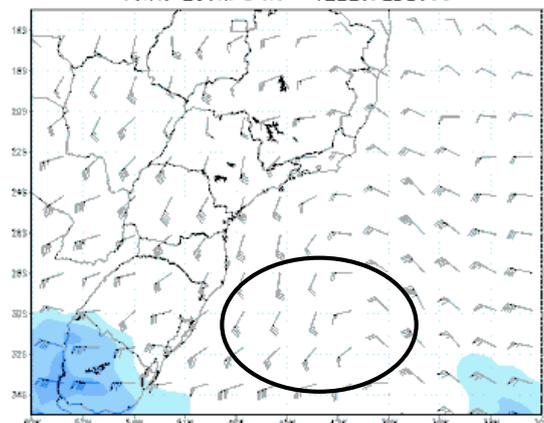
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
11Z23FEB2006



G/MS: COLA/IGES

(c)

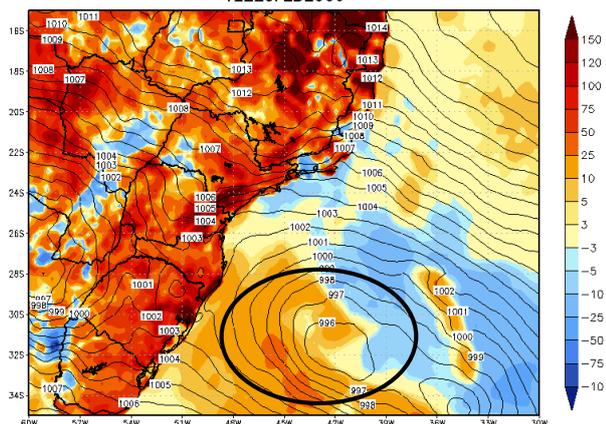
Vento 200hPa Kt 12Z23FEB2006



G/MS: COLA/IGES

(d)

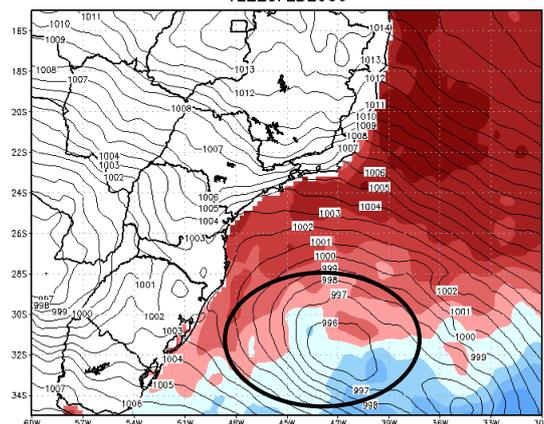
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
12Z23FEB2006



G/MS: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
12Z23FEB2006



G/MS: COLA/IGES

(f)

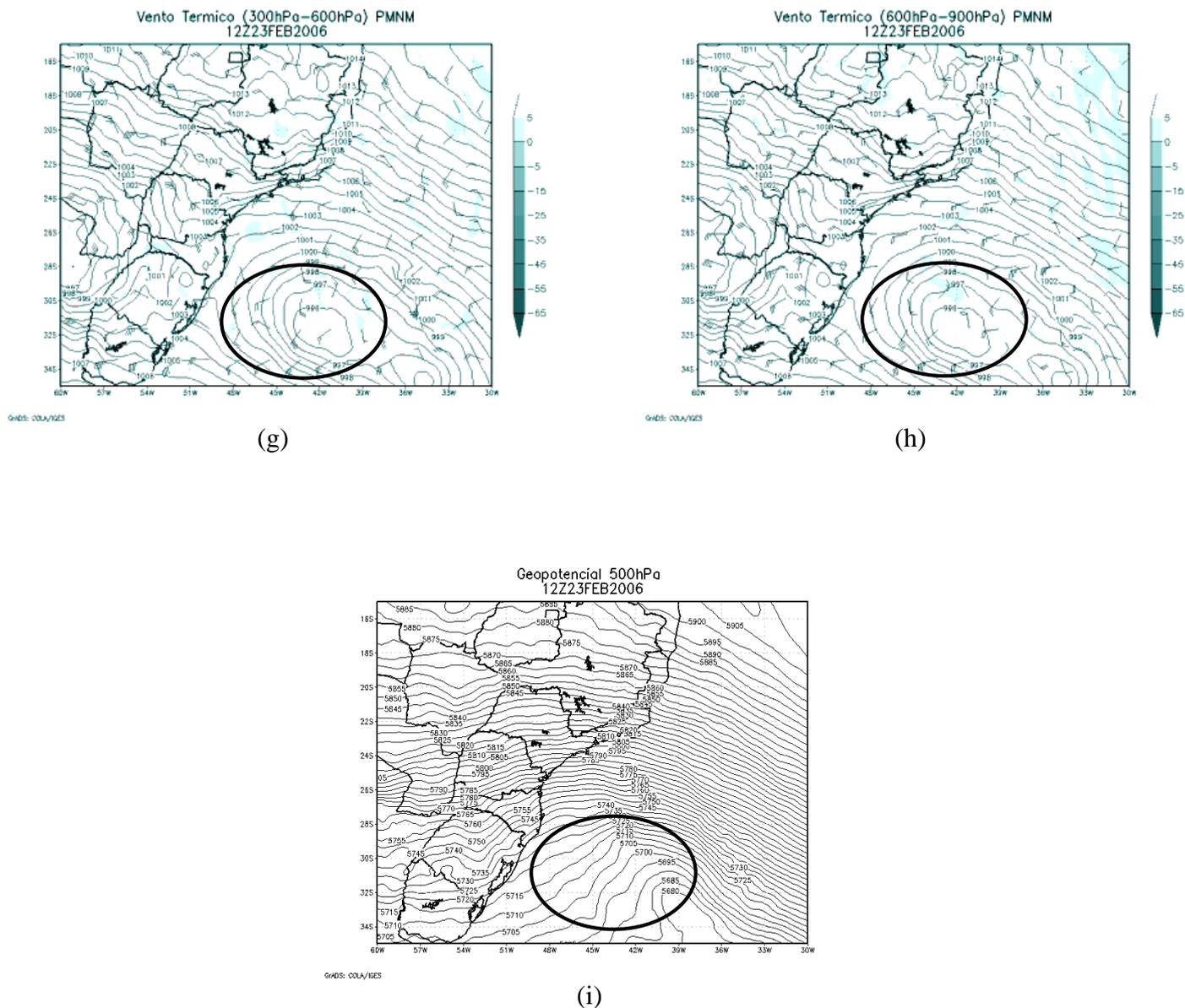
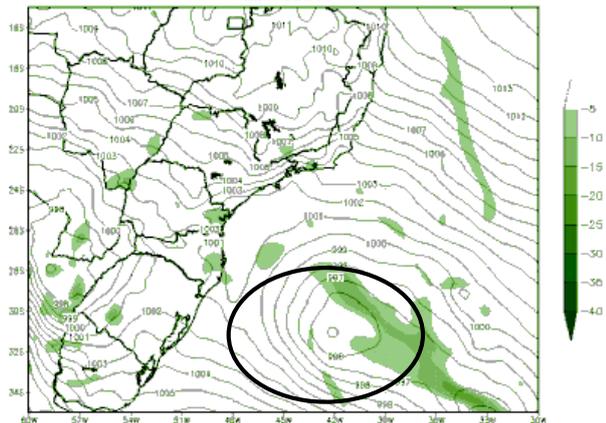


Figura 39: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 23/02/2006 às 12Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

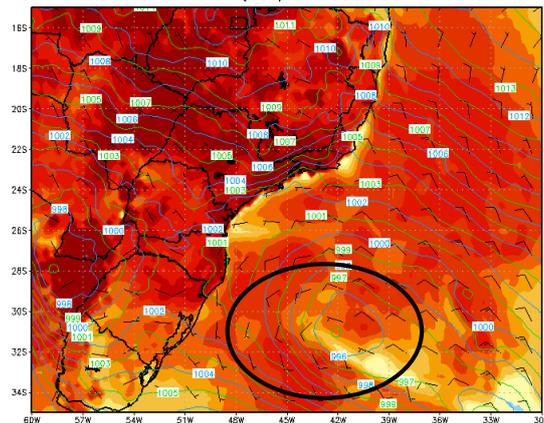
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNMM (hPa)
15Z23FEB2006



GADS: COLA/IGES

(a)

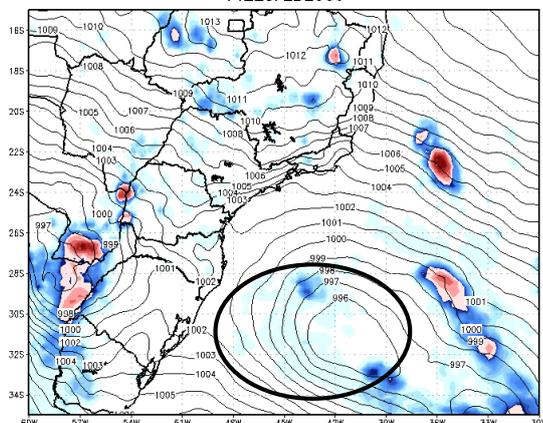
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 15Z23FEB2006



GADS: COLA/IGES

(b)

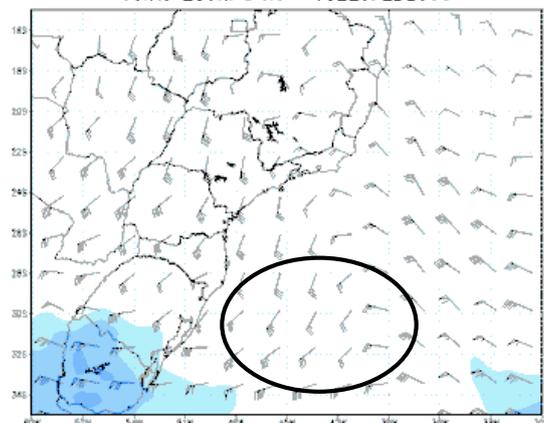
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
14Z23FEB2006



GADS: COLA/IGES

(c)

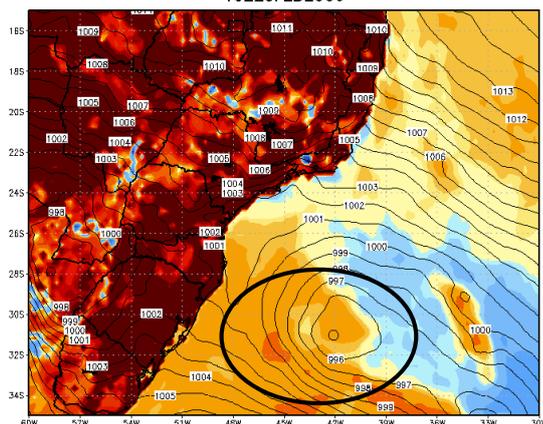
Vento 200hPa Kt 15Z23FEB2006



GADS: COLA/IGES

(d)

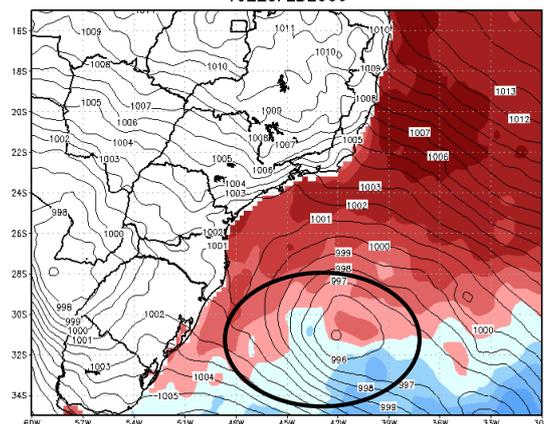
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
15Z23FEB2006



GADS: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
15Z23FEB2006



GADS: COLA/IGES

(f)

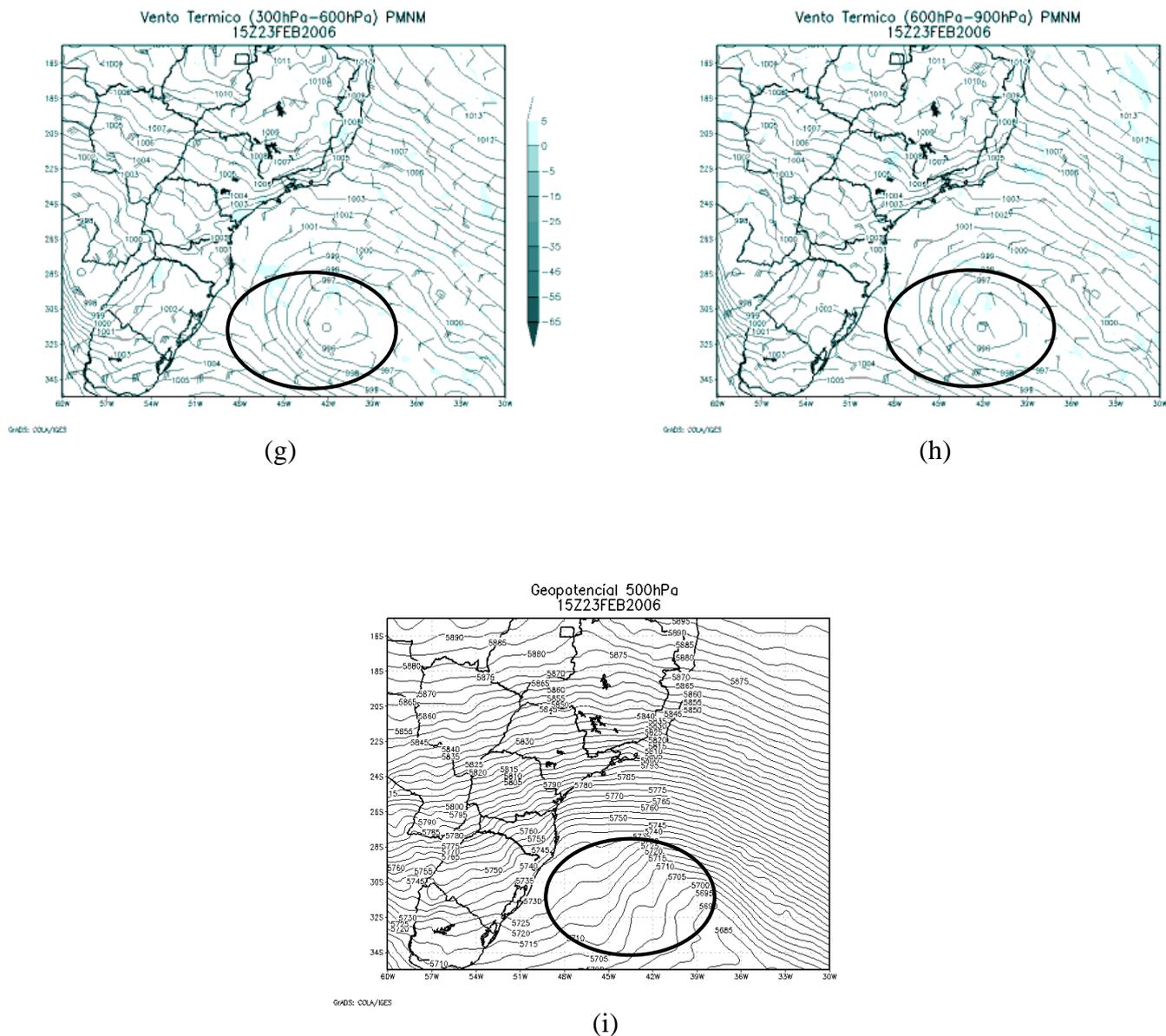
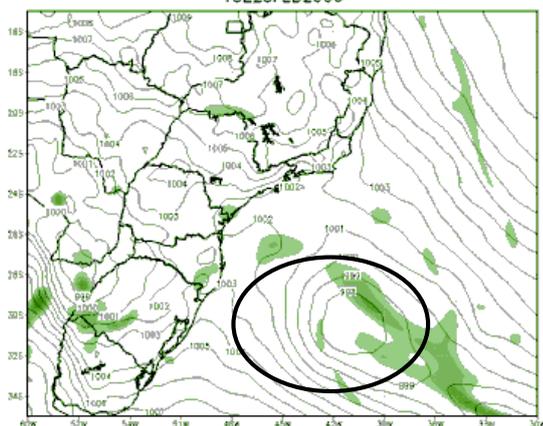


Figura 40: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 23/02/2006 às 15Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

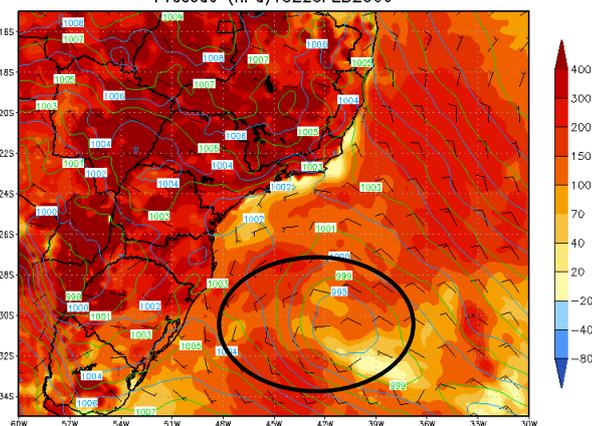
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNMM (hPa)
18Z23FEB2006



GMD: COLA/IGES

(a)

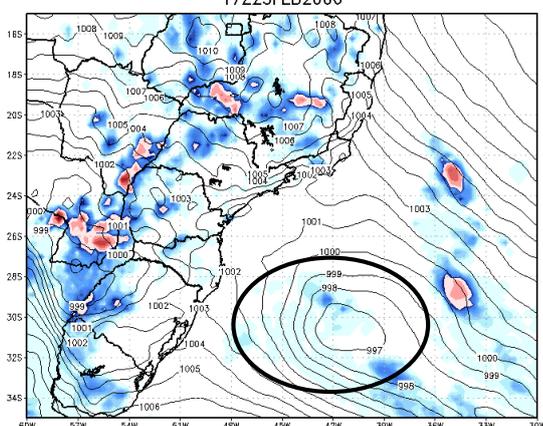
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 18Z23FEB2006



GMD: COLA/IGES

(b)

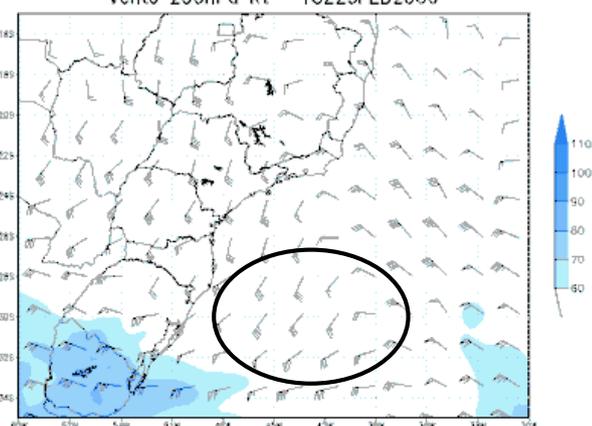
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
17Z23FEB2006



GMD: COLA/IGES

(c)

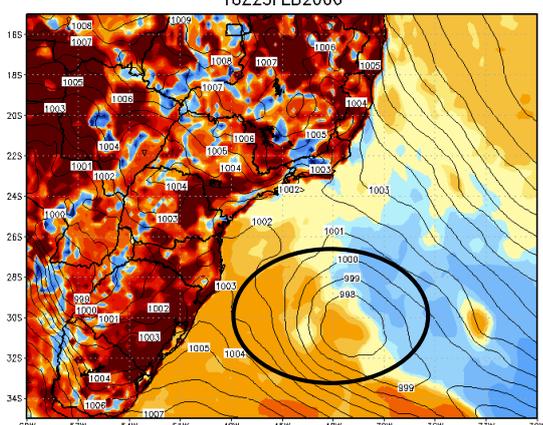
Vento 200hPa Kt 18Z23FEB2006



GMD: COLA/IGES

(d)

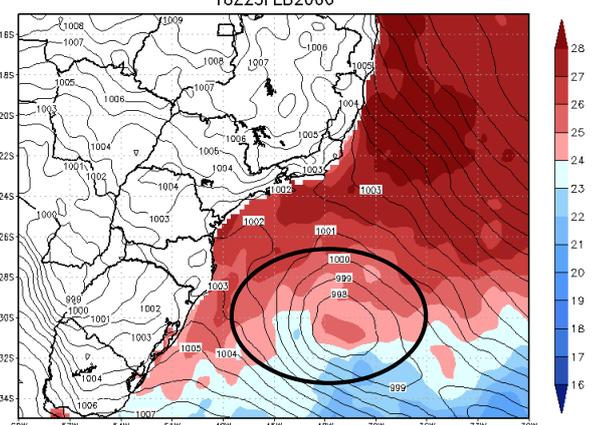
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
18Z23FEB2006



GMD: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
18Z23FEB2006



GMD: COLA/IGES

(f)

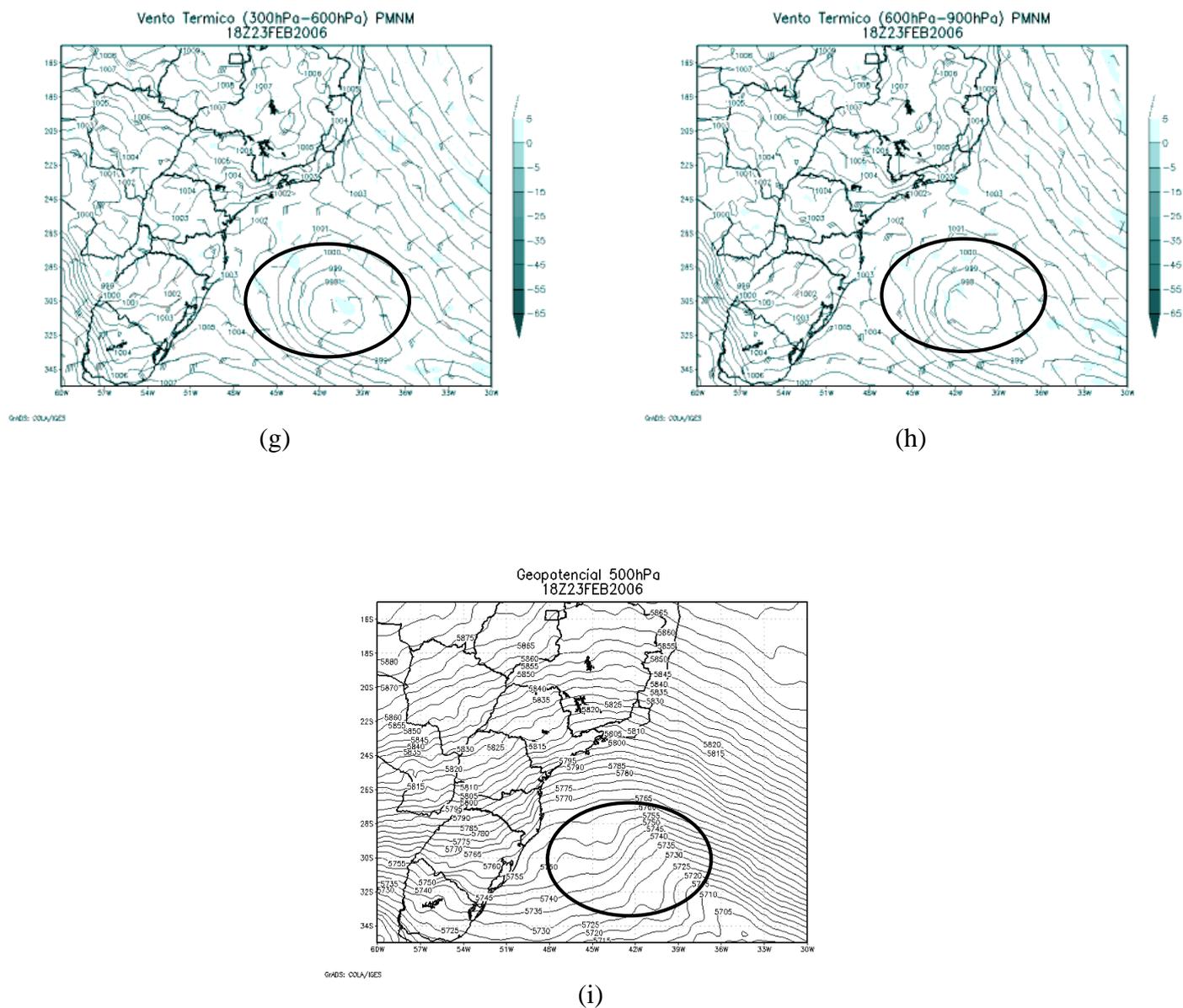
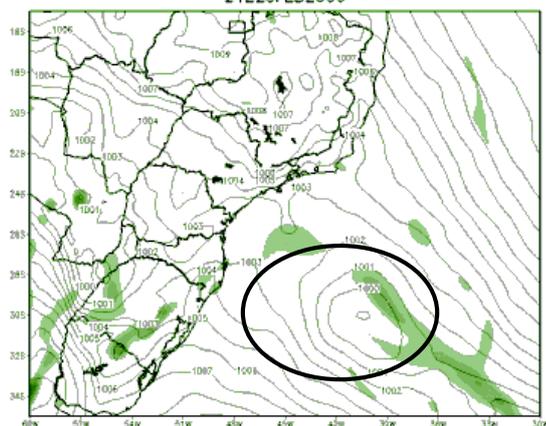


Figura 41: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 23/02/2006 às 18Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

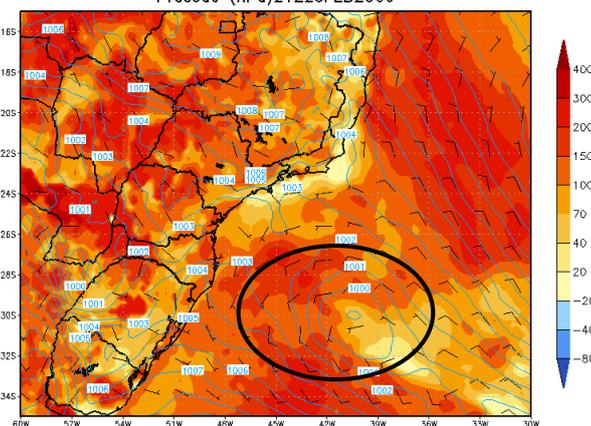
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
21Z23FEB2006



GABR: COLA/IGES

(a)

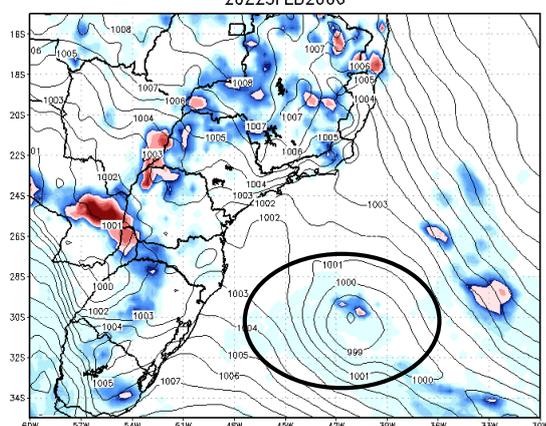
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 21Z23FEB2006



GABR: COLA/IGES

(b)

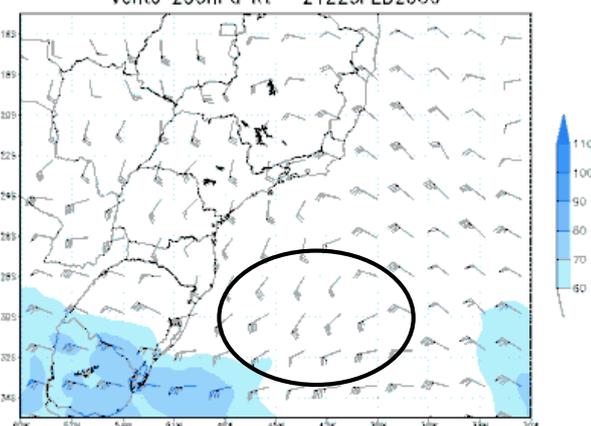
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
20Z23FEB2006



GABR: COLA/IGES

(c)

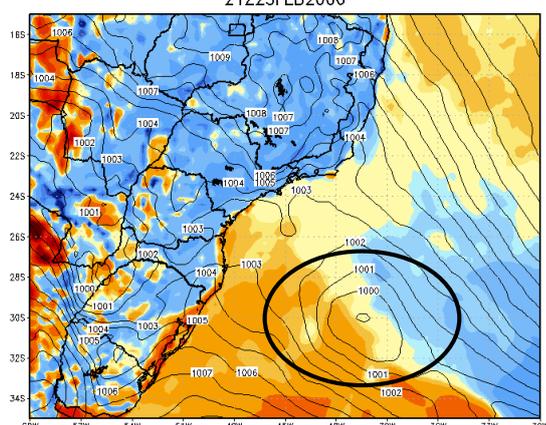
Vento 200hPa Kt 21Z23FEB2006



GABR: COLA/IGES

(d)

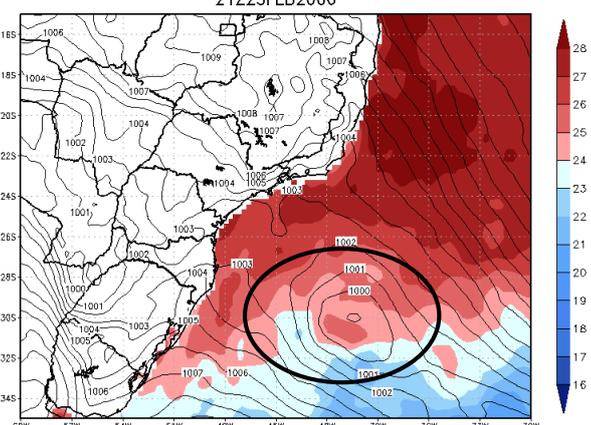
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
21Z23FEB2006



GABR: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
21Z23FEB2006



GABR: COLA/IGES

(f)

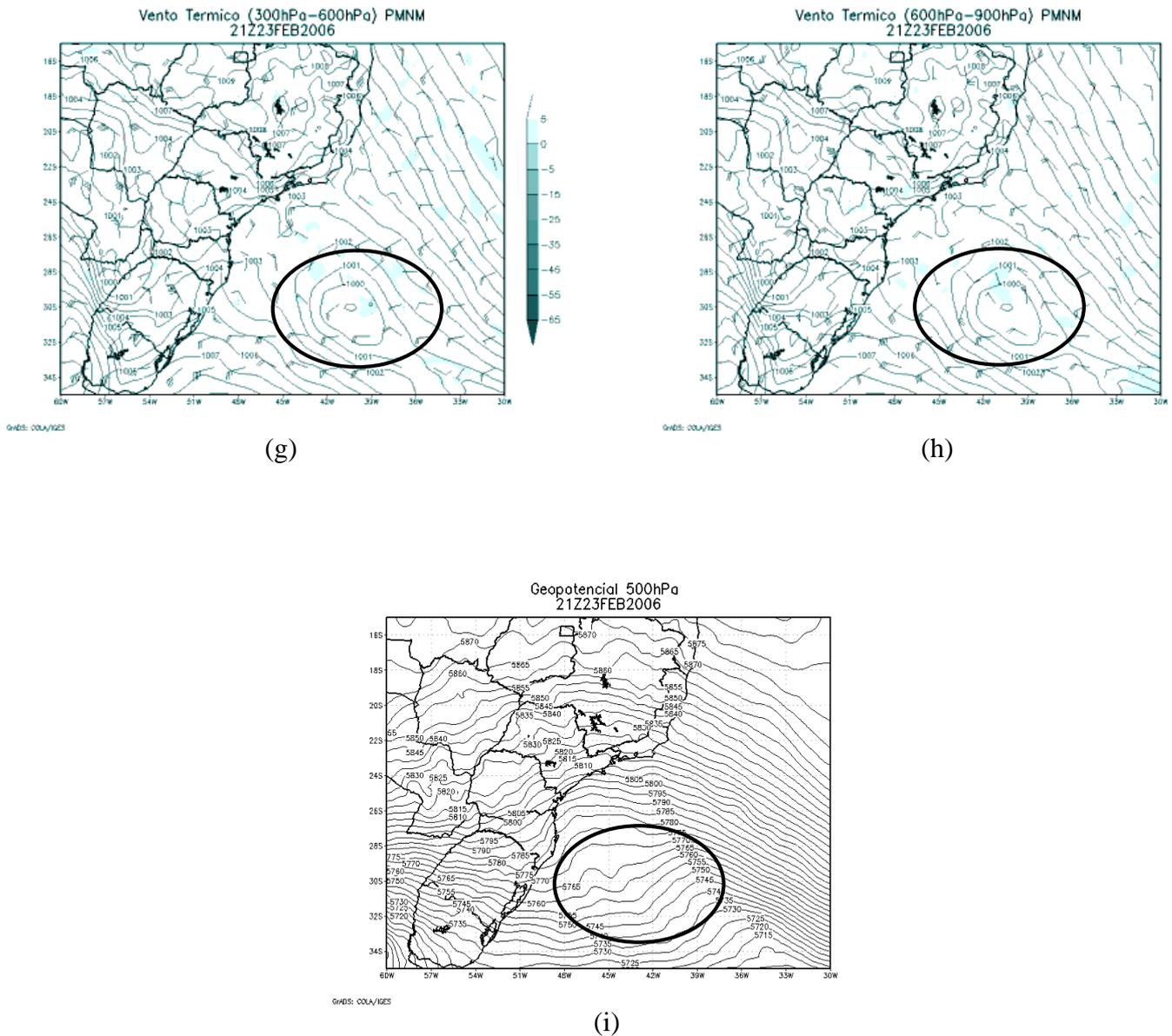
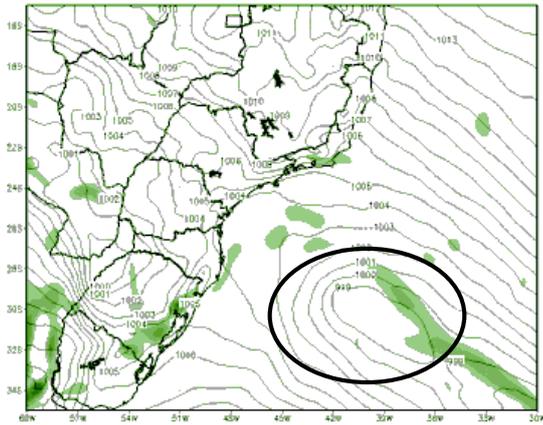


Figura 42: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 23/02/2006 às 21Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

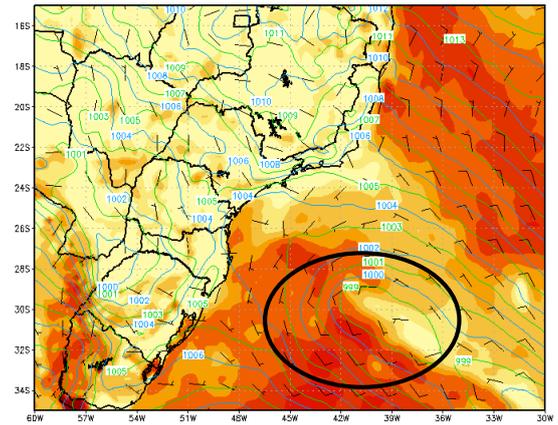
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
00Z24FEB2006



GMD: COLA/IGES

(a)

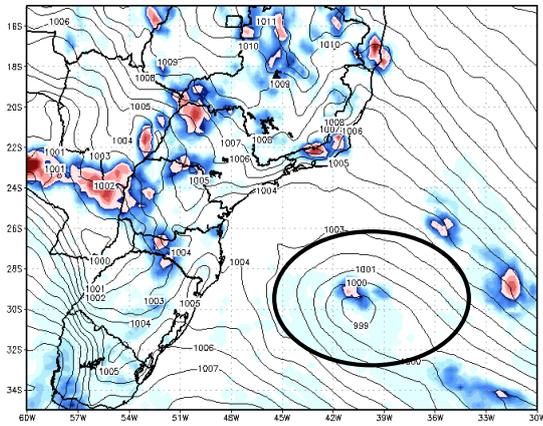
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 00Z24FEB2006



GMD: COLA/IGES

(b)

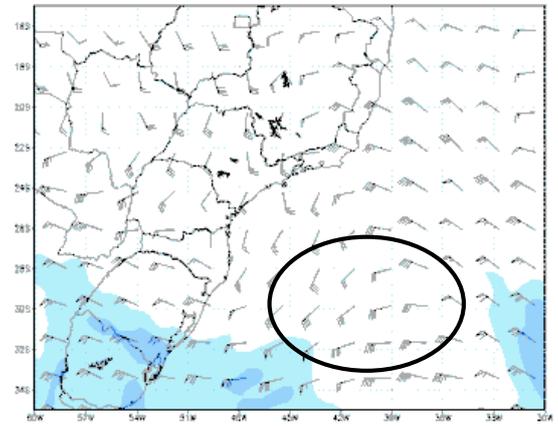
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
23Z23FEB2006



GMD: COLA/IGES

(c)

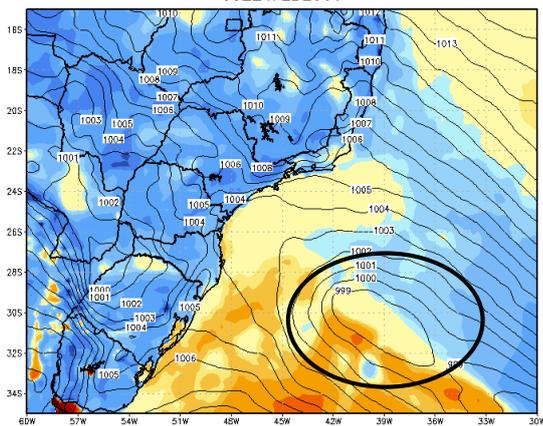
Vento 200hPa Kt 00Z24FEB2006



GMD: COLA/IGES

(d)

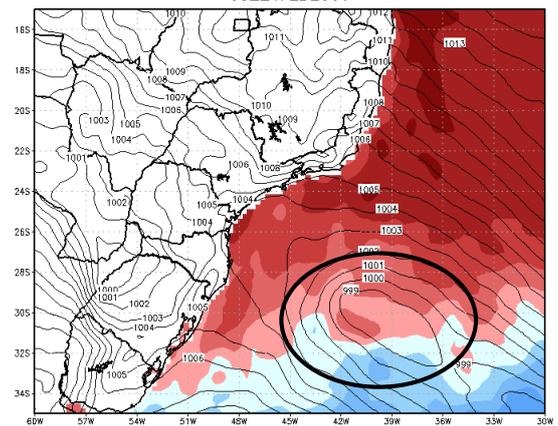
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
00Z24FEB2006



GMD: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
00Z24FEB2006



GMD: COLA/IGES

(f)

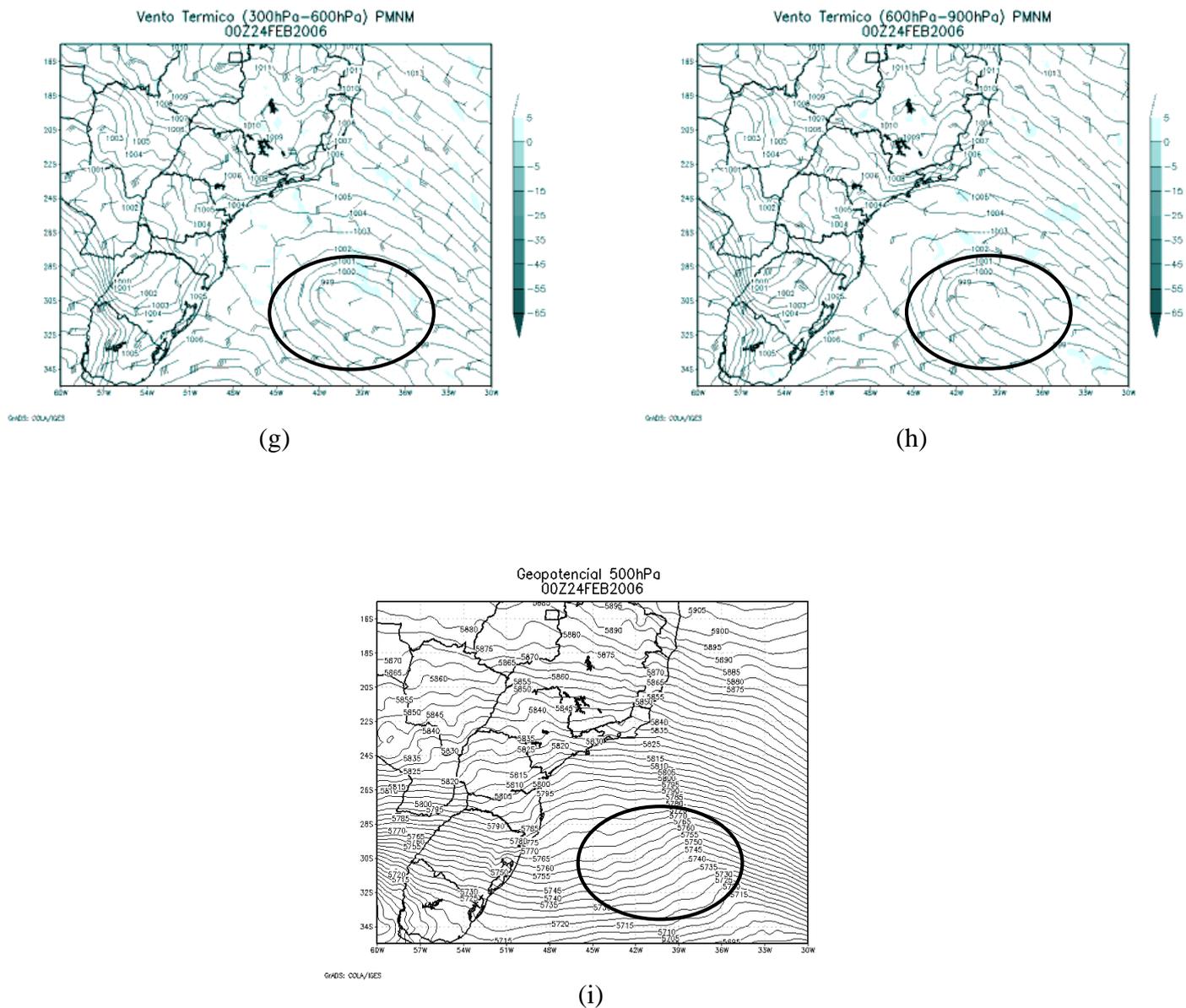
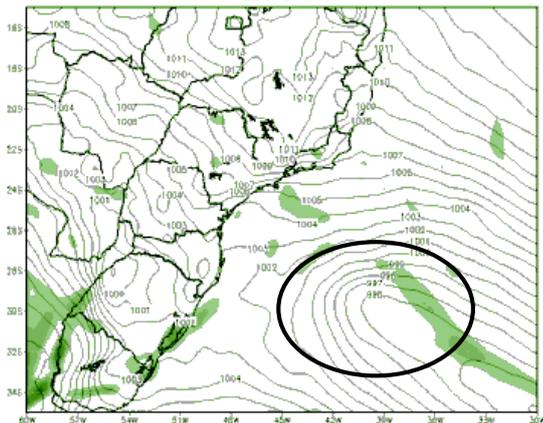


Figura 43: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 24/02/2006 às 00Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

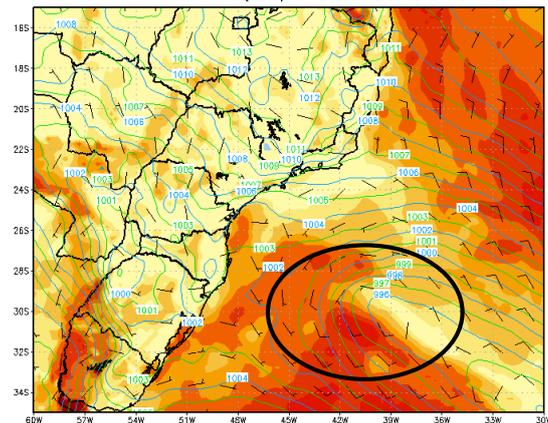
Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
03Z24FEB2006



GMD: COLA/IES

(a)

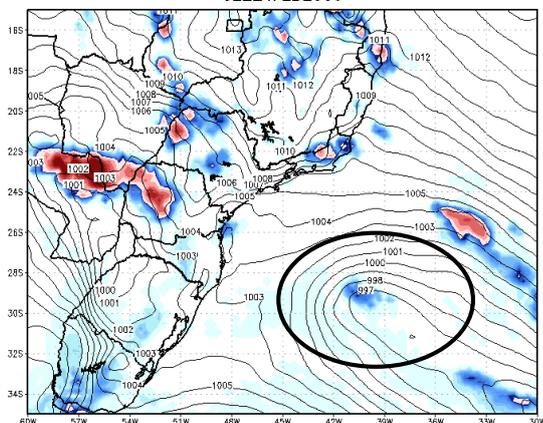
Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 03Z24FEB2006



GMD: COLA/IES

(b)

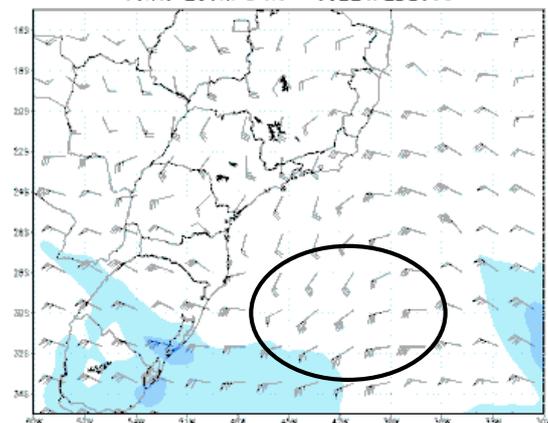
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
02Z24FEB2006



GMD: COLA/IES

(c)

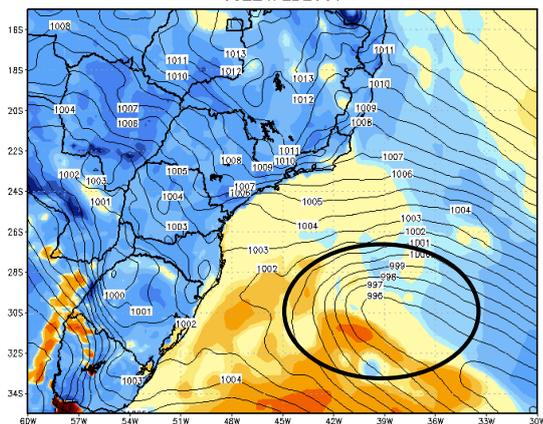
Vento 200hPa Kt 03Z24FEB2006



GMD: COLA/IES

(d)

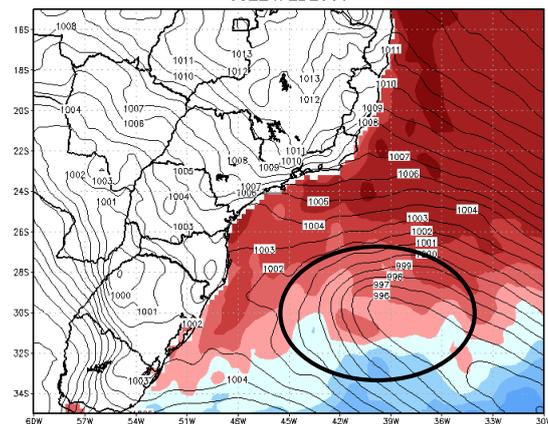
Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
03Z24FEB2006



GMD: COLA/IES

(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
03Z24FEB2006



GMD: COLA/IES

(f)

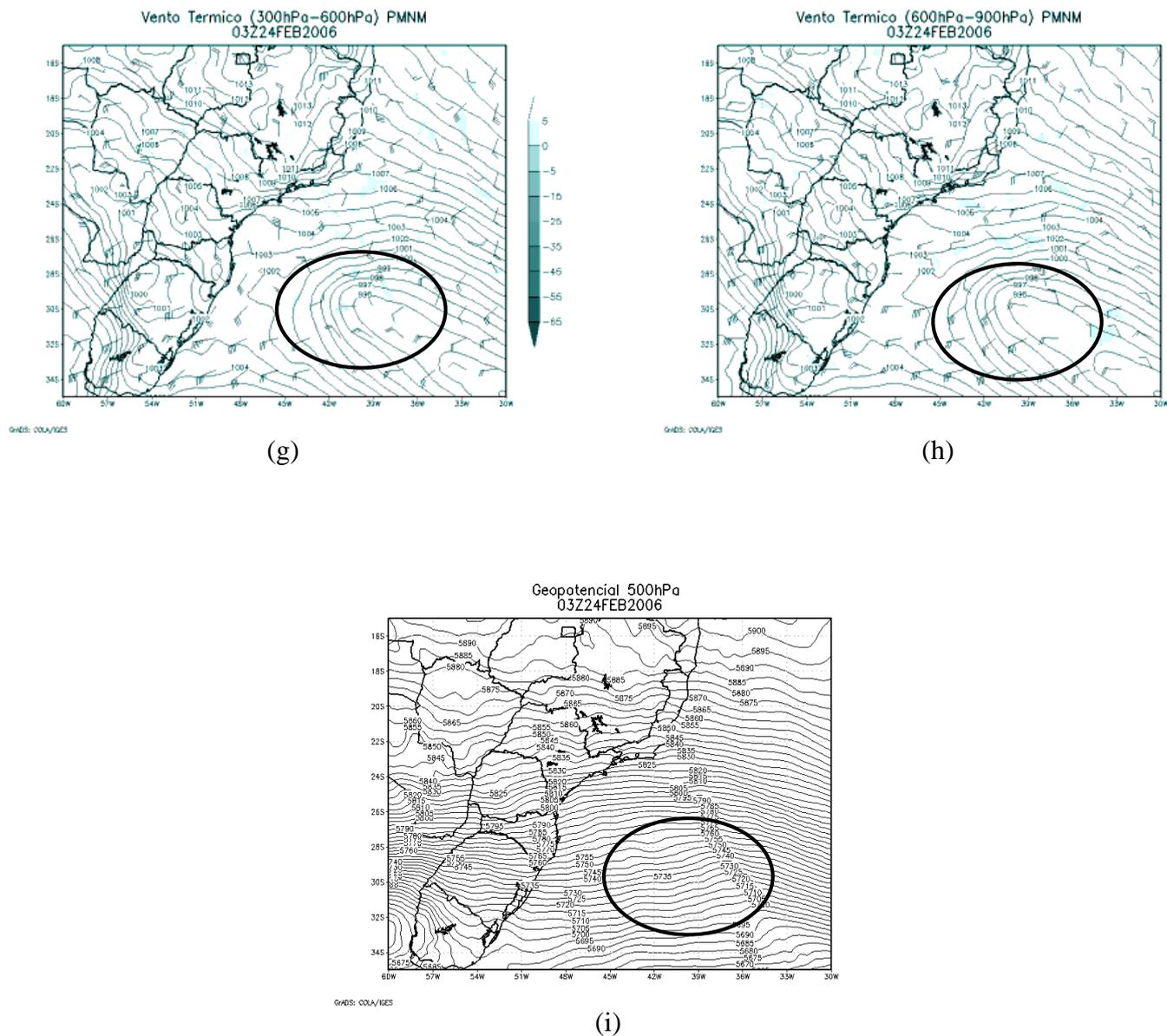


Figura 44: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 23/02/2006 às 03Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

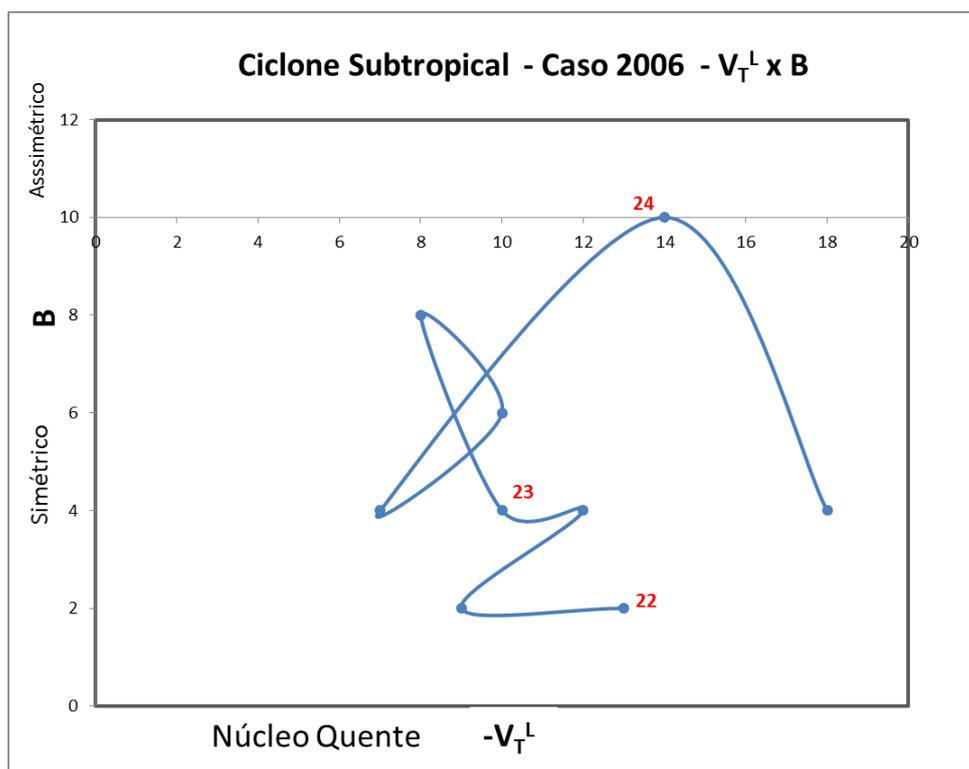
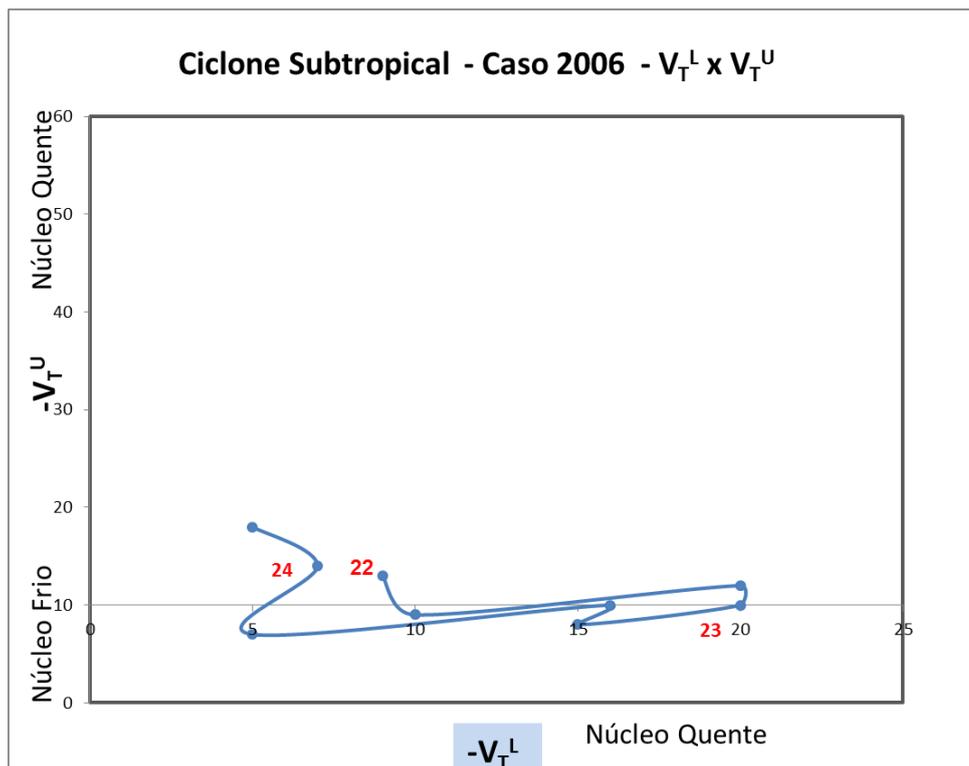


Figura 45: (a) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros $-V_T^L$ e $-V_T^U$ Caso 2006 (b) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros B e $-V_T^L$ Caso 2006. Fonte: Próprio.

4.2 - CASO 2008

Notou-se que entre 12 de janeiro de 2008 e 13 de janeiro de 2008 apareceu um ciclone em $25^{\circ}\text{S } 045^{\circ}\text{W}$, que pouco se deslocou, através de uma isóbara fechada em baixos níveis com suporte dinâmico caracterizado pelo campo de advecção de vorticidade em 500 hPa; ou seja, regiões a leste do cavado estavam adequadas a ciclogênese, beneficiando o movimento vertical como mostra as figuras 46a a 54a.

Manteve seu lado sudeste com Fluxo de Calor Sensível negativo ($H < 0$), os demais positivos ($H > 0$) (Figuras 46e a 54e).

Através das figuras 46b a 54b do calor latente, assim como o vento em superfície, observou-se a disponibilidade da umidade para favorecer a formação do ciclone, bem como a fraca intensidade do vento em baixos níveis (convergência). A umidade favoreceu a intensificação dos ciclones, pois junto com o movimento vertical, resfriou a parcela de ar, diminuiu sua capacidade de armazenar vapor d'água, com isso, favoreceu a condensação, e conseqüentemente, liberação calor latente.

Para os campos de precipitação, notou-se que se manteve moderada, como esperado em um ciclone subtropical, mas não em todo o domínio. Verificou-se também, a presença de uma frente fria nas vizinhanças do ciclone, deixando essa região com sinais baroclínicos (Figuras 46c a 54c).

As figuras 46d a 54d mostra que não foram verificados jatos de altos níveis (ventos superiores a 30 m/s no nível de 200 hPa) na região, o que nos indica fraco cisalhamento do vento, acarretando em uma estrutura mais vertical. Jatos de altos níveis fora da região foram notados, novamente indicando relação com a frente fria na proximidade.

Como observado no caso anterior, a TSM acima de $26,5^{\circ}\text{C}$ favoreceu a alimentação de calor e umidade para a formação do ciclone subtropical, observado figuras 46f a 54f.

Nas figuras 46e a 54e que mostra imagens de Calor Sensível, verificou-se que o ciclone possui núcleo quente, caracterizando-se como um ciclone subtropical, de acordo com os parâmetros anteriores.

O vento térmico na camada superior (600 a 300 hPa) apresentou variação mais significativa, demonstrando um sinal de baroclinia, provavelmente devido à proximidade da frente fria. Entretanto em baixos níveis (900 e 600 hPa) o vento térmico apresentou-se

pouca variação, uma característica barotrópica. Esse padrão é característico de um ciclone subtropical, vide figuras 46g a 54g.

De acordo com o geopotencial em 500 hPa representados nas figuras 46i a 54i, veio novamente confirmar que o ciclone apresentou uma estrutura mais simétrica (não frontal). Onde o parâmetro B de Hart (2003) indicou valores até 10 metros para simetria não frontal.

O ciclone foi detectado por Gozzo, 2014 pelo algoritmo de 0000 UTC 12 de janeiro de 2008, com duração superior a 36 h (até 1800 UTC 13 de janeiro de 2008). Pode-se verificar o fenômeno com o SRDAS a partir de 00Z de 13 de janeiro de 2008. O que não pode ser observado nas cartas sinóticas de PNMM (Figura 55), nelas, observamos uma baixa em superfície a partir de 11 de janeiro de 2008, porém ainda sobre o continente, e a aproximação de um sistema frontal em 32°S047°W. Além disso, a partir do dia 12 de janeiro, verificamos o aparecimento de um cavado em superfície e o avanço do sistema frontal mencionado acima. O sistema frontal se alinha com o cavado no dia 13 de janeiro dissipando em seguida, permanecendo somente o cavado em superfície.

Durante todo esse tempo, o ciclone apresentou pequenos valores de B, positivos e negativos, classificando este como simétrico e de núcleo quente no diagrama de fase. Formou-se perto da costa sudeste do Brasil, com nenhuma forçante significativa em altos níveis. A velocidade do jato de altos níveis é inferior a 10 ms⁻¹. A TSM foi moderadamente elevada entre 25,8°C e 26,8°C e a soma dos fluxos de calor superficial e sensível superficial atingiu um pico de 90 Wm⁻² em 13 de janeiro.

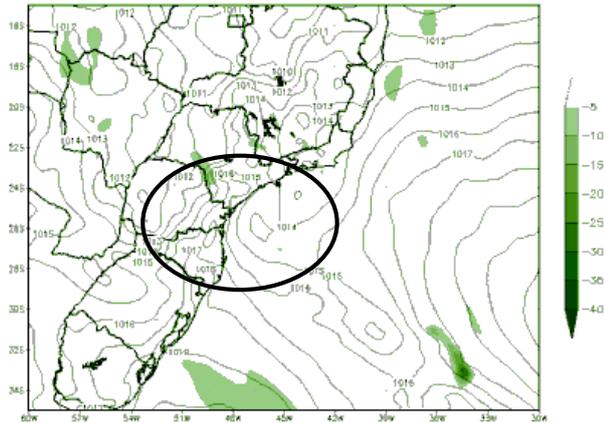
Em relação ao diagrama de fase, verificamos que o ciclone estudado possuía núcleo quente em baixos níveis, além de uma estrutura simétrica em praticamente todo o período conforme esperado para um ciclone subtropical (Figura 56). Às 18Z de 13 de janeiro o ciclone começou a perder sua intensidade, ficando mais assimétrico de acordo com o diagrama de fase (Figura 56), tendo pouco se deslocado.

O campo $V_T^U \times V_T^L$ mostrou aquecimento em toda coluna, sendo mais aquecido nos níveis superiores do que em superfície.

Ressalta-se que esse padrão difere do ciclone tropical, pois neste, o aquecimento é por igual (baixos e altos níveis), com um sinal ligeiramente mais forte em baixos níveis.

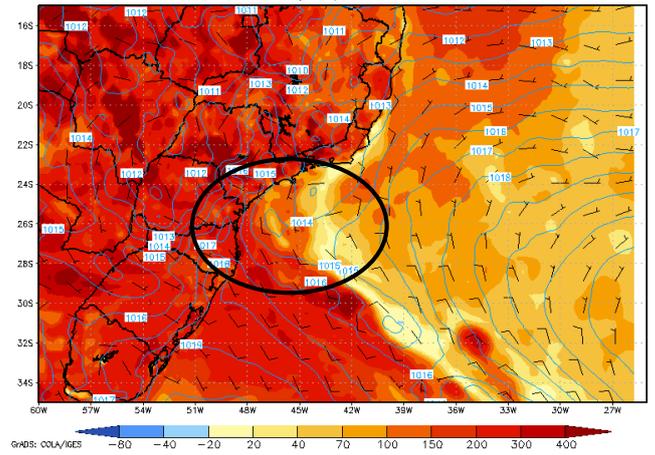
O forte aquecimento nos níveis superiores indica a grande contribuição das nuvens convectivas e sua liberação de calor latente na coluna atmosférica.

Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
18Z12JAN2008



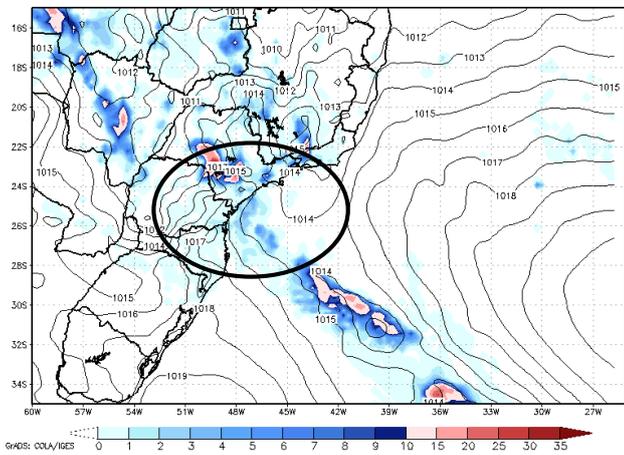
(a)

Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 18Z12JAN2008



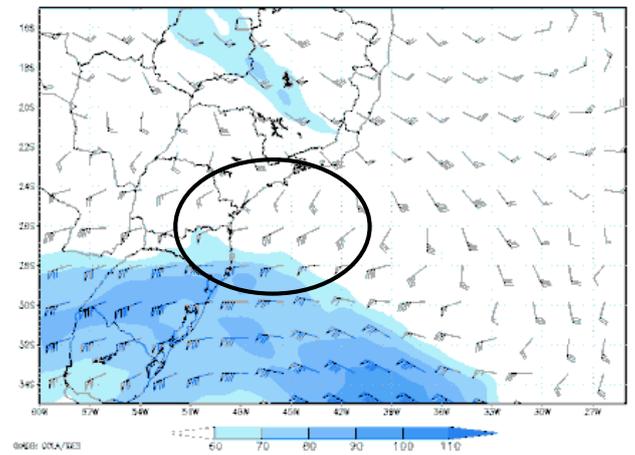
(b)

Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
17Z12JAN2008



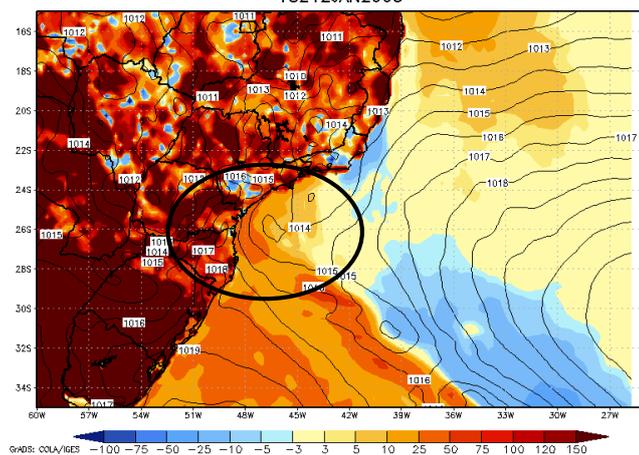
(c)

Vento 200hPa Kt 18Z12JAN2008



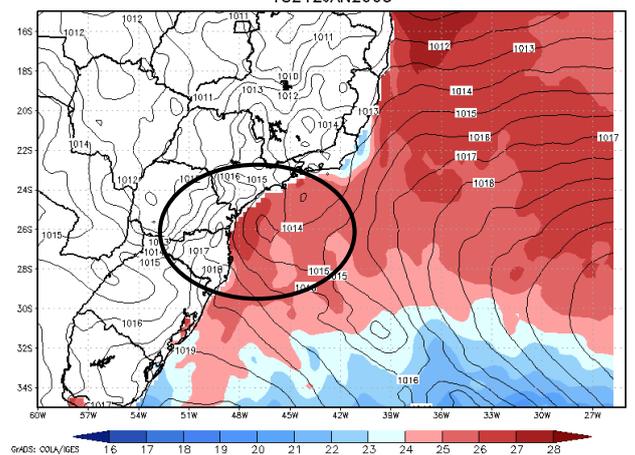
(d)

Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
18Z12JAN2008



(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
18Z12JAN2008



(f)

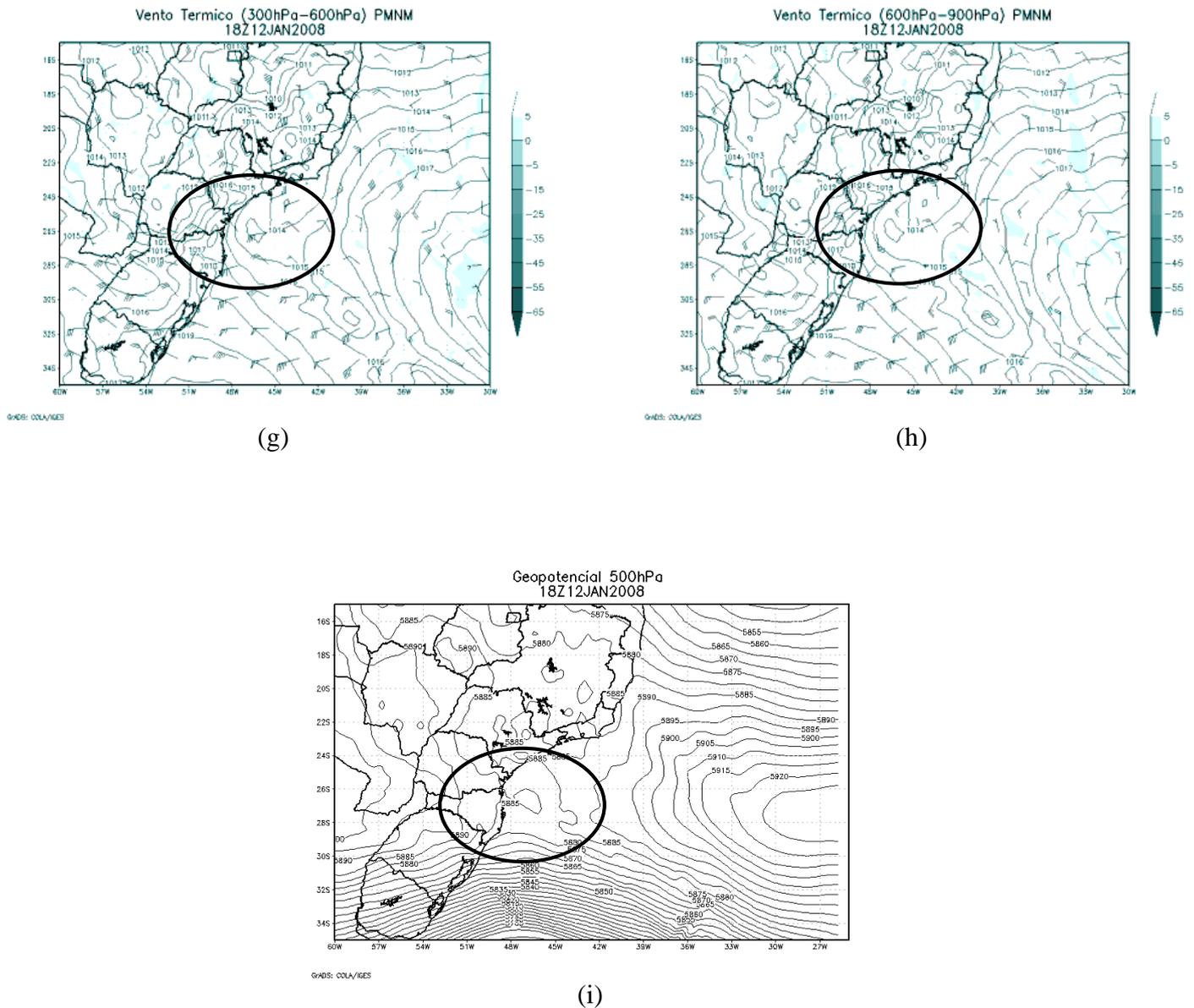
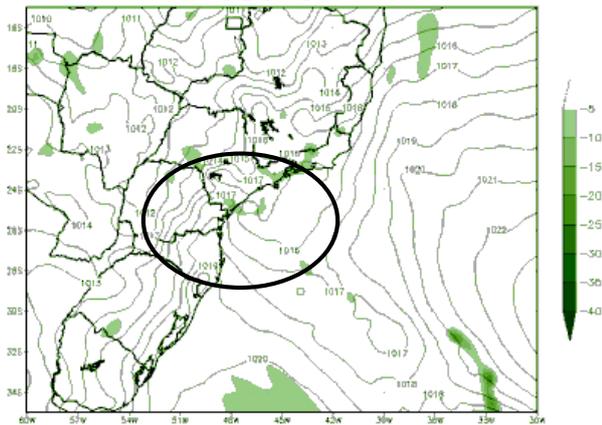


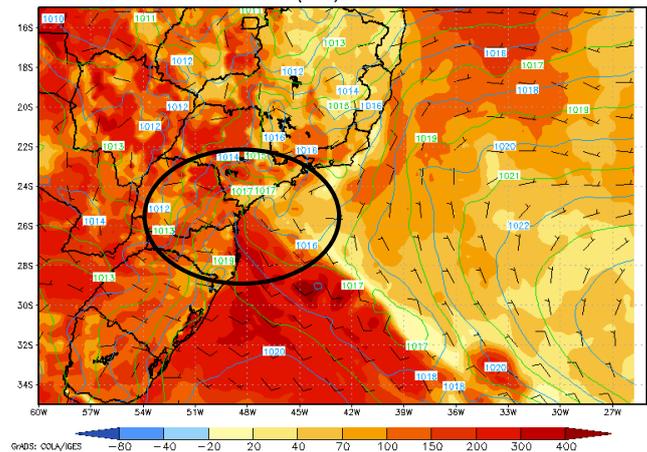
Figura 46: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 12/01/2008 às 18Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
21Z12JAN2008



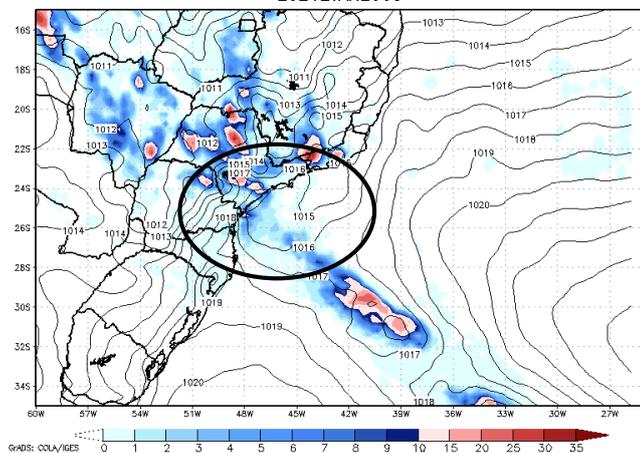
(a)

Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 21Z12JAN2008



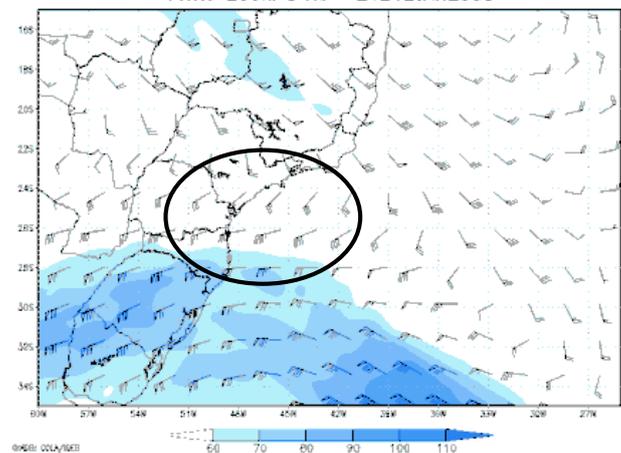
(b)

Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
20Z12JAN2008



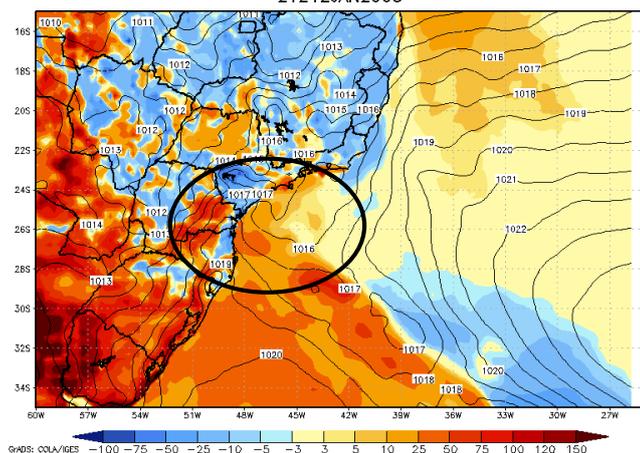
(c)

Vento 200hPa Kt 21Z12JAN2008



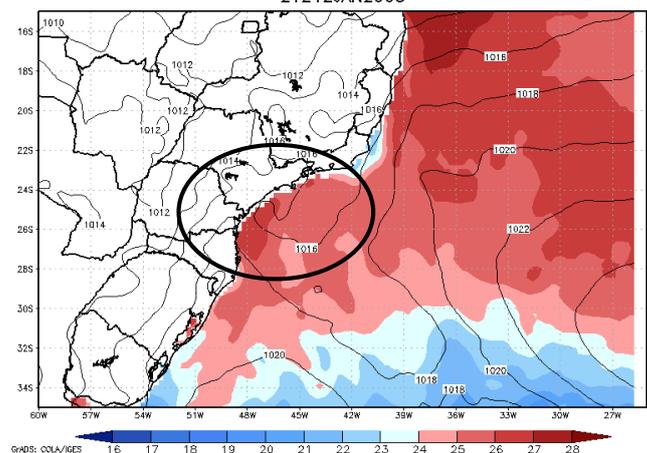
(d)

Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
21Z12JAN2008



(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
21Z12JAN2008



(f)

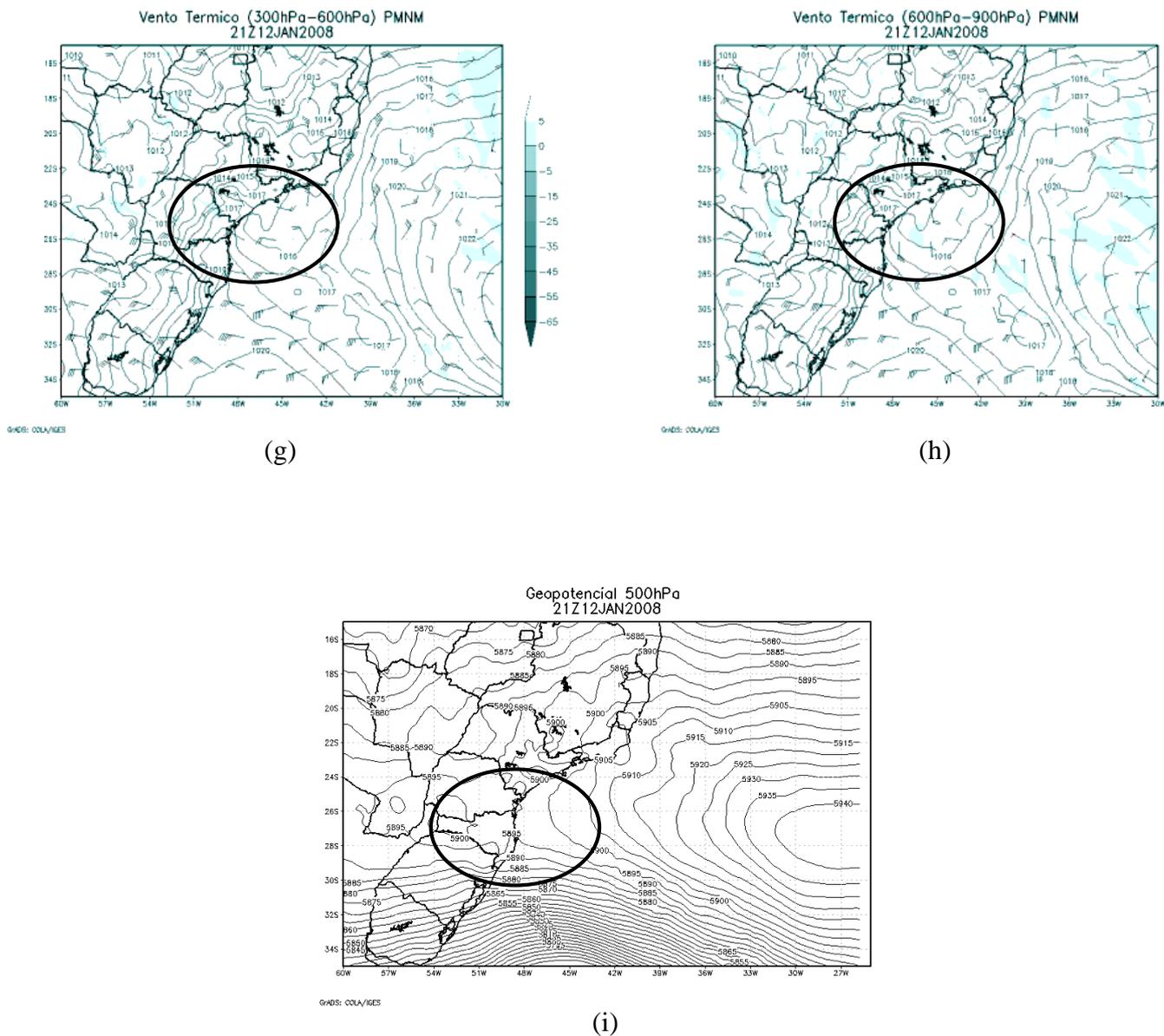
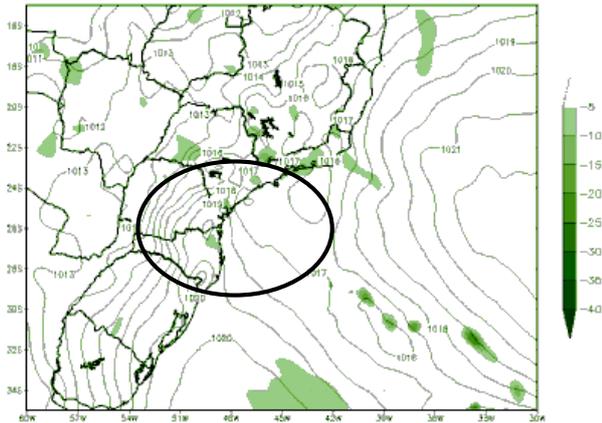


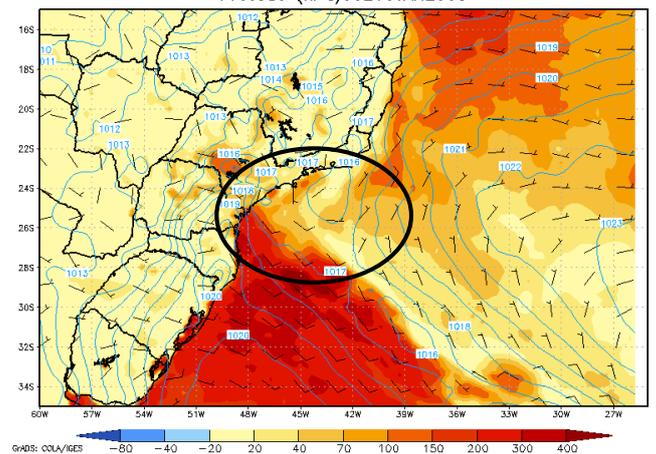
Figura 47: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 12/01/2008 às 21Z. (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
00Z13JAN2008



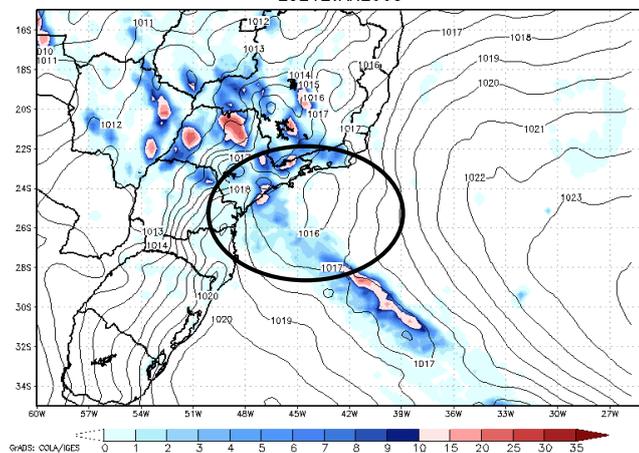
(a)

Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 00Z13JAN2008



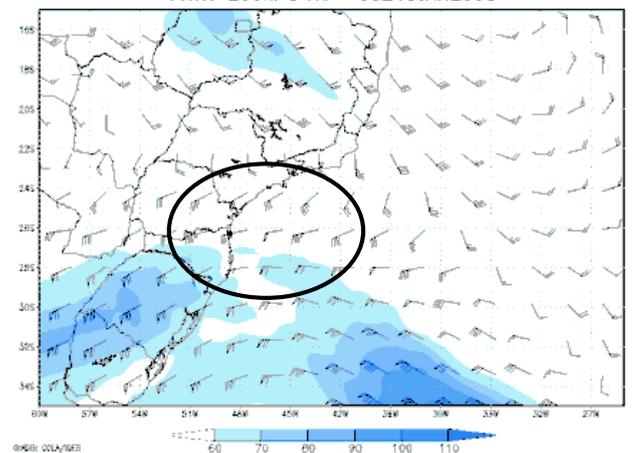
(b)

Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
23Z12JAN2008



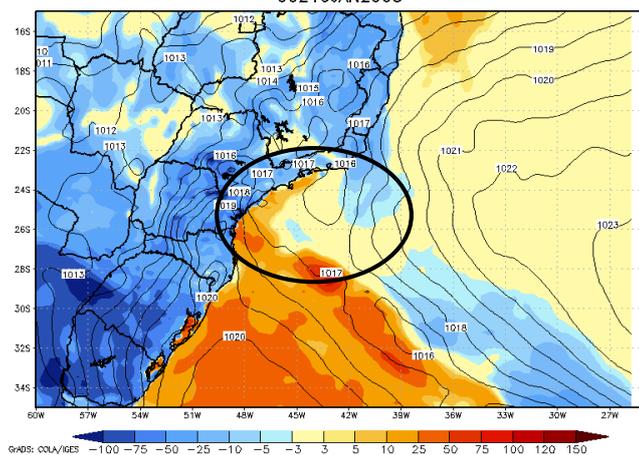
(c)

Vento 200hPa Kt 00Z13JAN2008



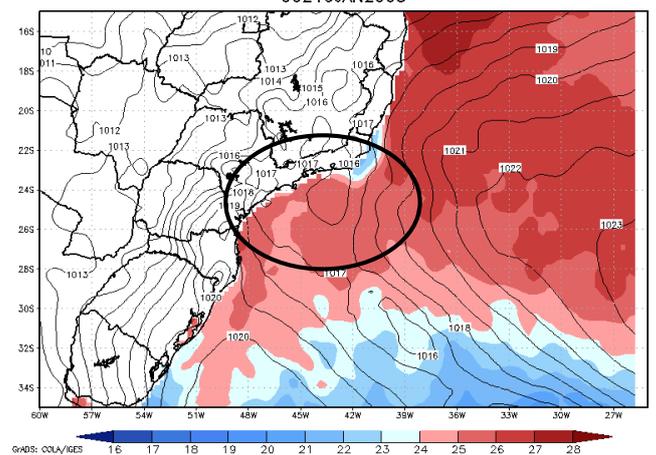
(d)

Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
00Z13JAN2008



(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
00Z13JAN2008



(f)

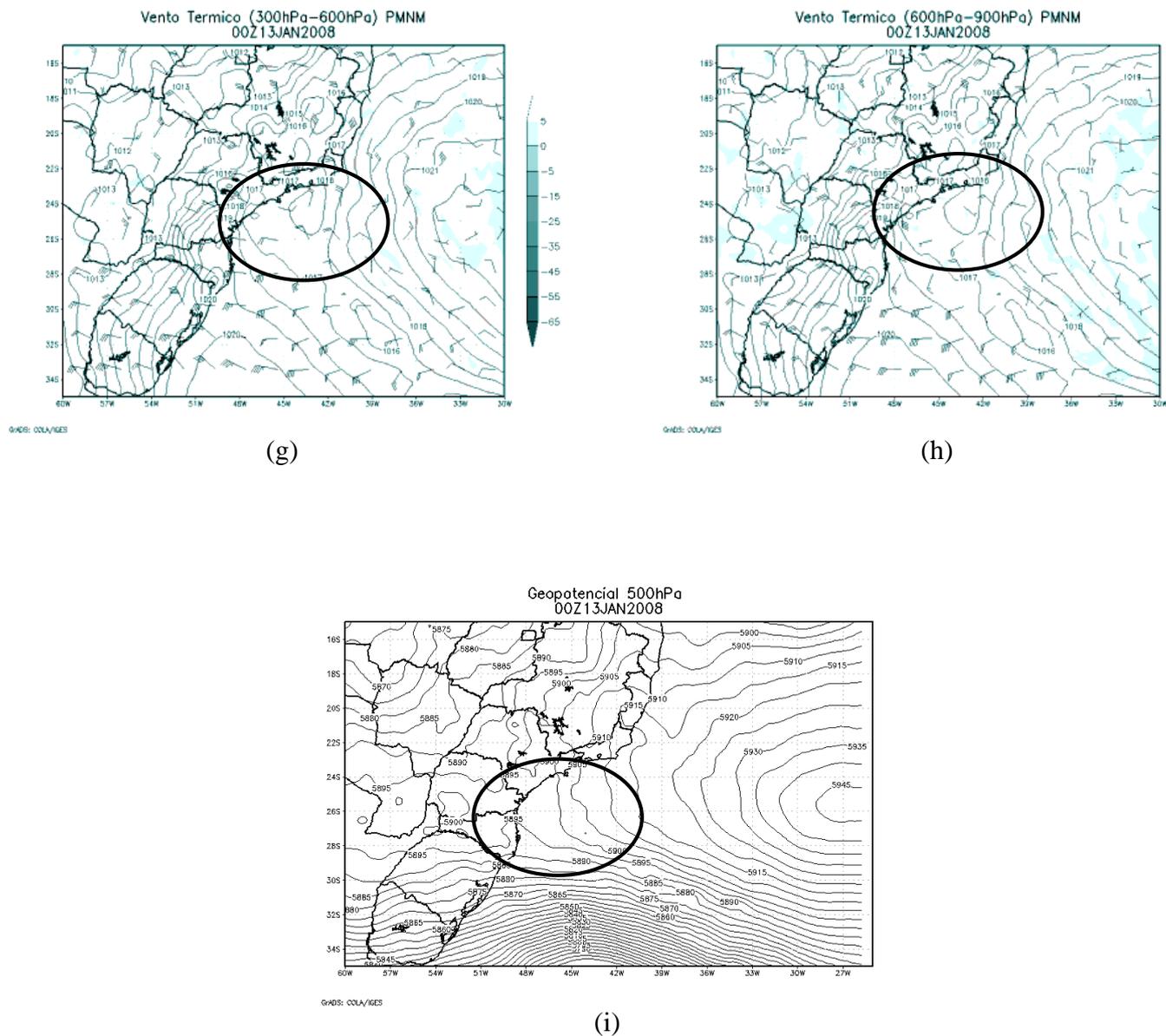
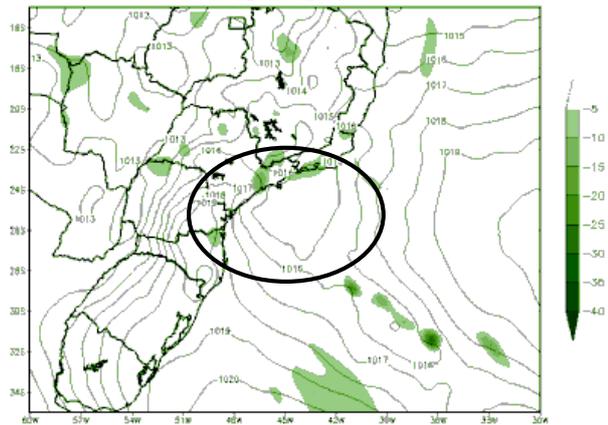


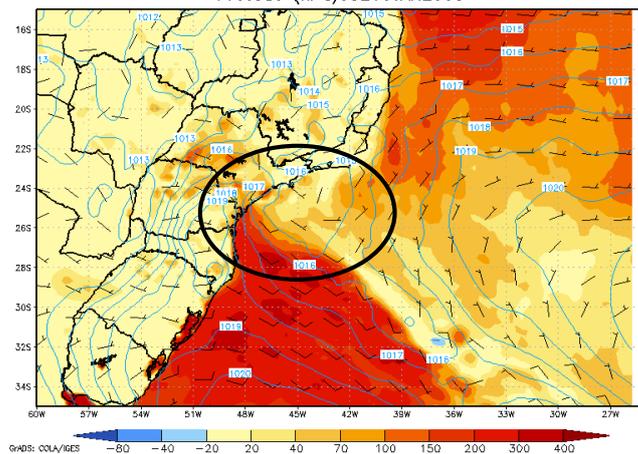
Figura 48: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 13/01/2008 às 00Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
03Z13JAN2008



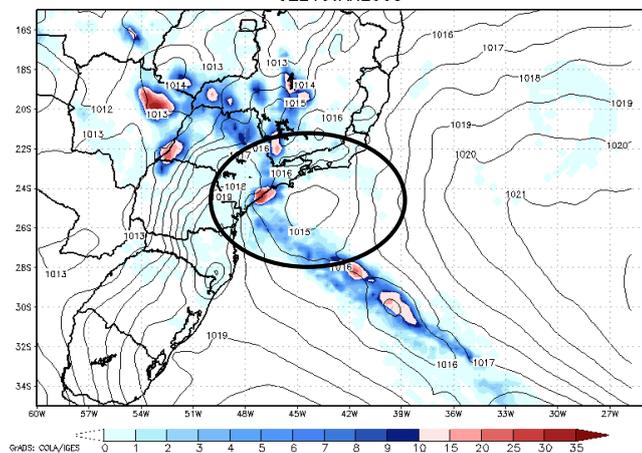
(a)

Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 03Z13JAN2008



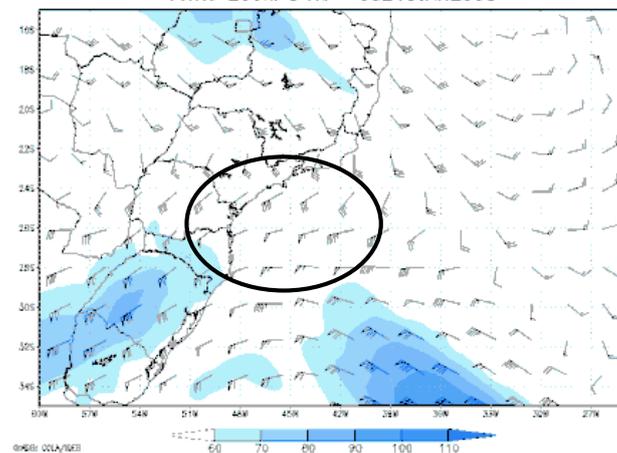
(b)

Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
02Z13JAN2008



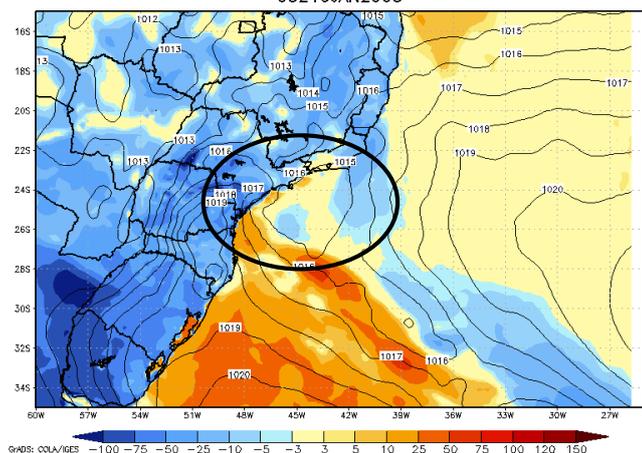
(c)

Vento 200hPa Kt 03Z13JAN2008



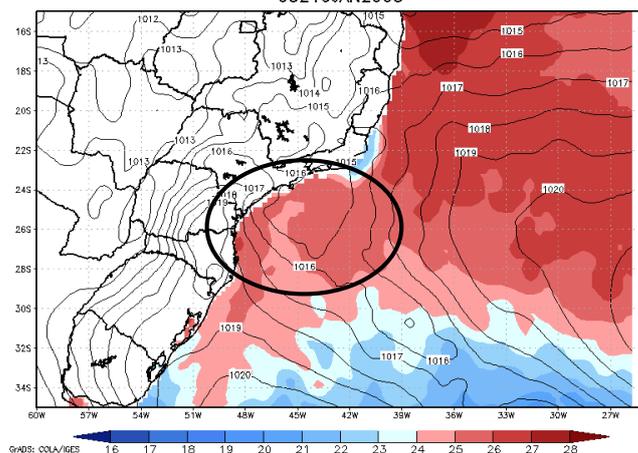
(d)

Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
03Z13JAN2008



(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
03Z13JAN2008



(f)

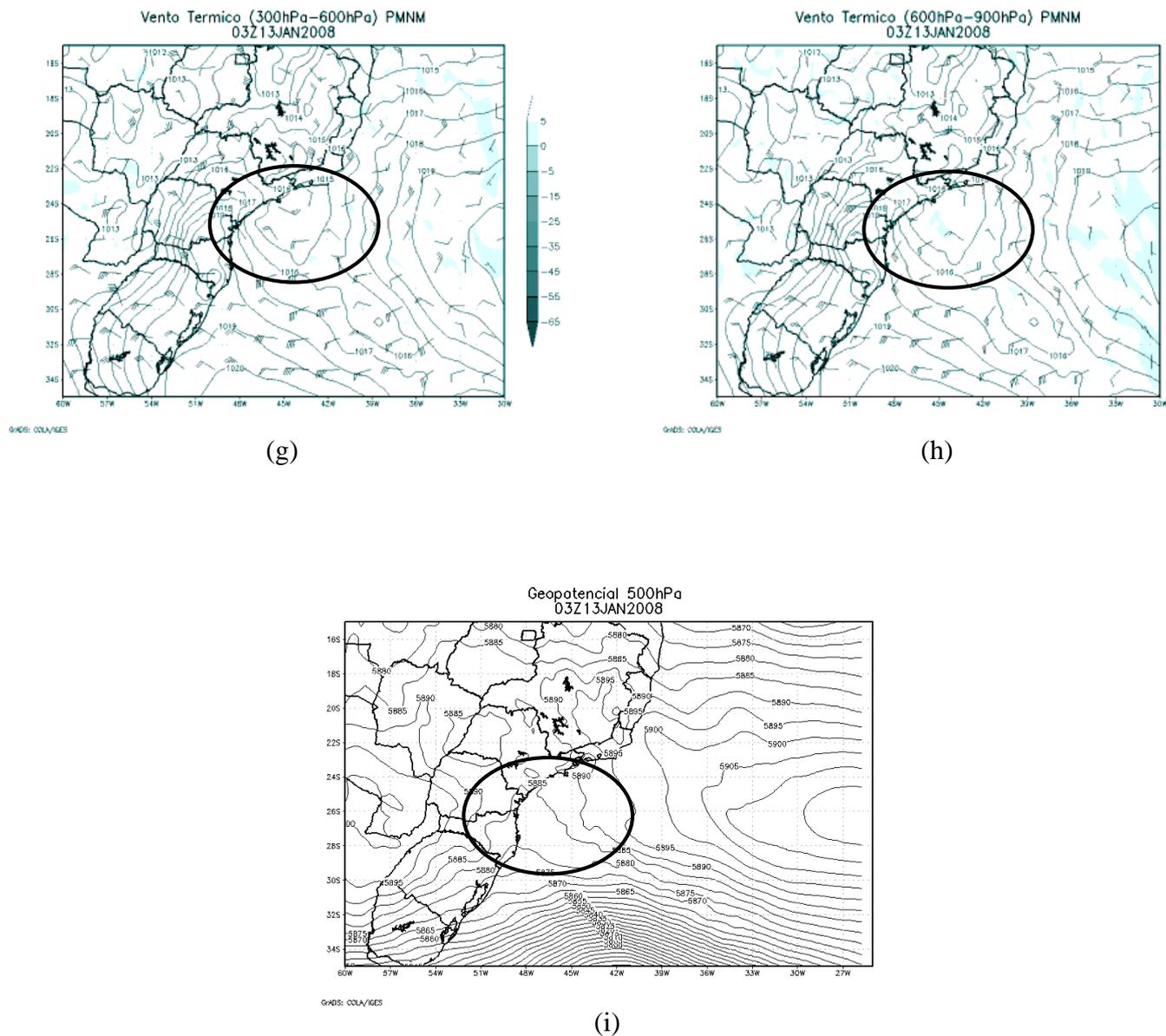
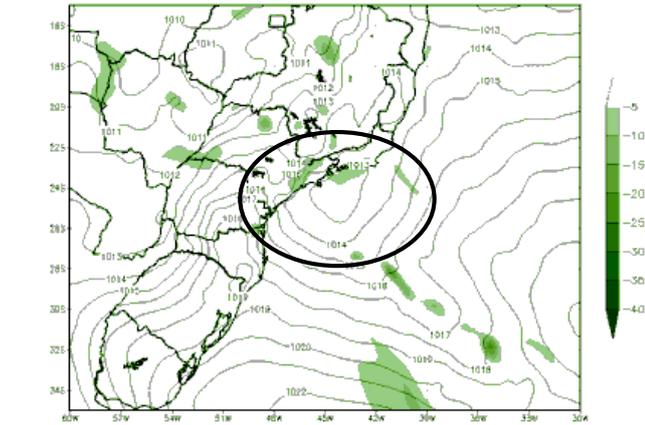


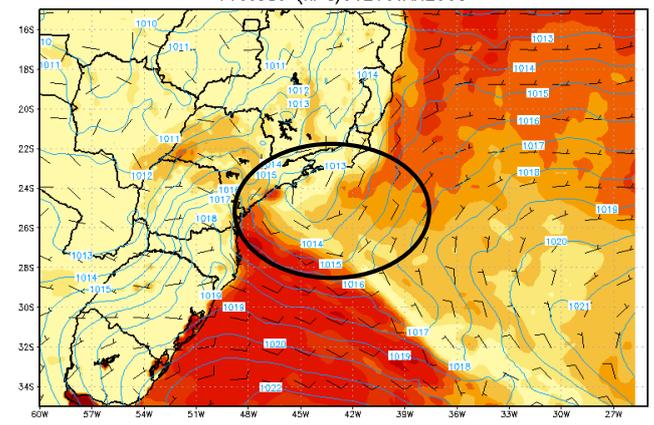
Figura 49: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 13/01/2008 às 03Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
06Z13JAN2008



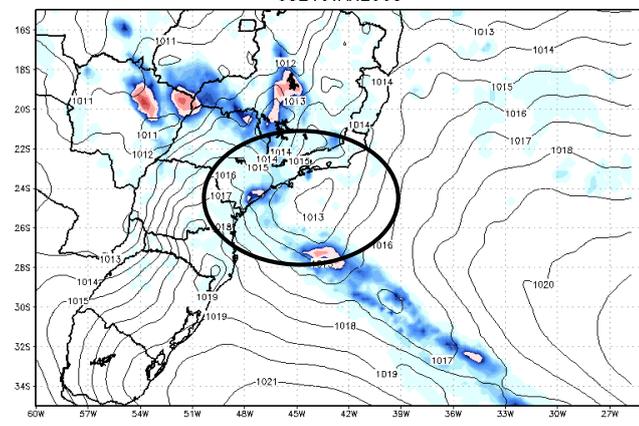
(a)

Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 06Z13JAN2008



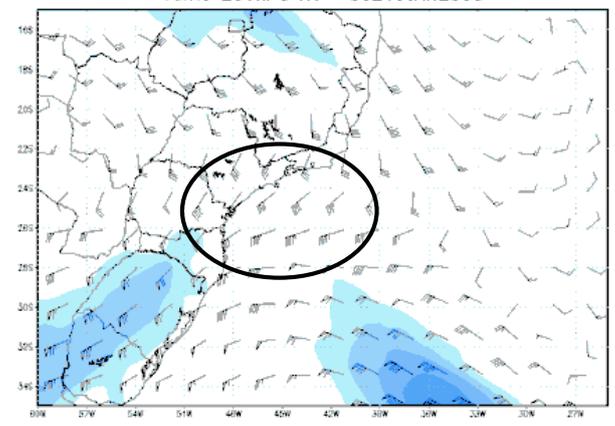
(b)

Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
05Z13JAN2008



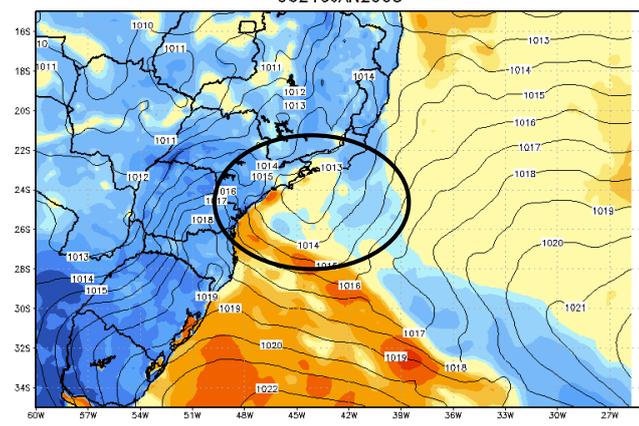
(c)

Vento 200hPa Kt 06Z13JAN2008



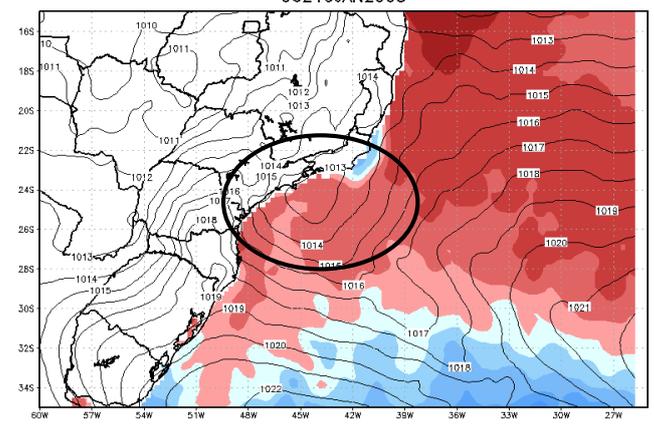
(d)

Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
06Z13JAN2008



(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
06Z13JAN2008



(f)

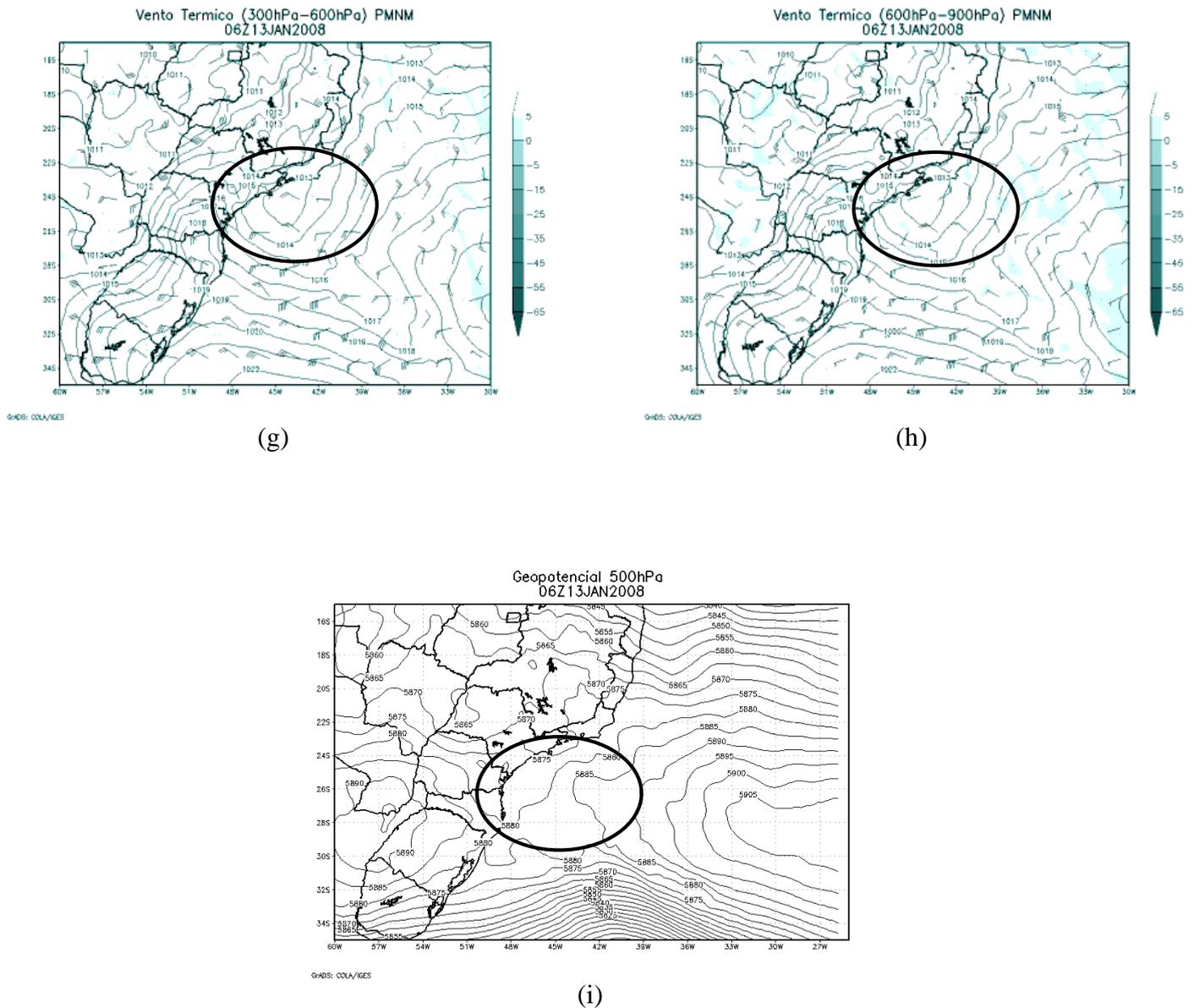
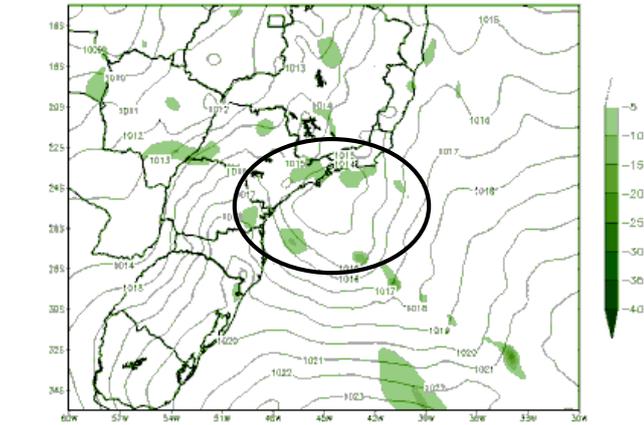


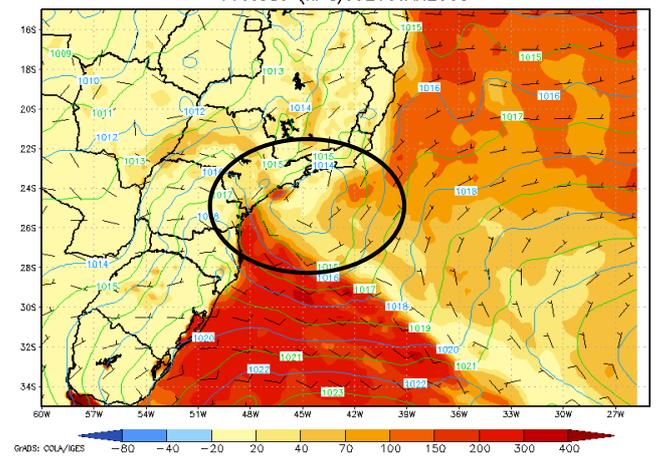
Figura 50: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 13/01/2008 às 06Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
09Z13JAN2008



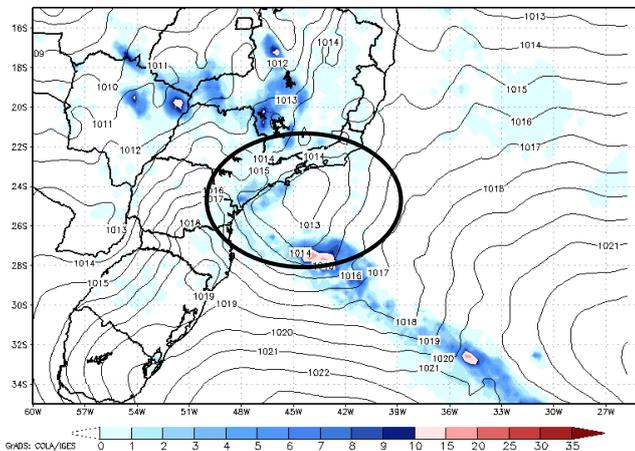
(a)

Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 09Z13JAN2008



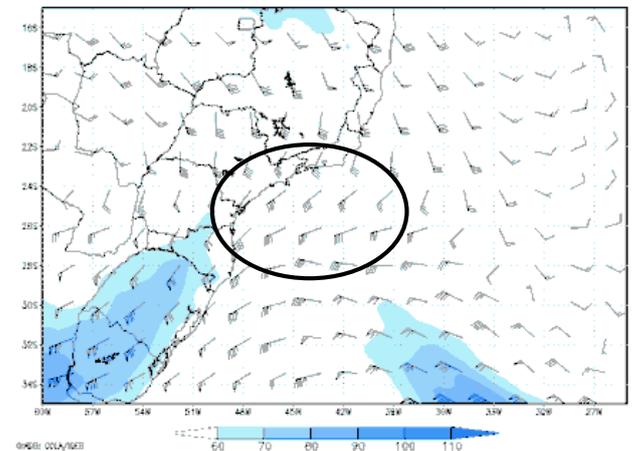
(b)

Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
08Z13JAN2008



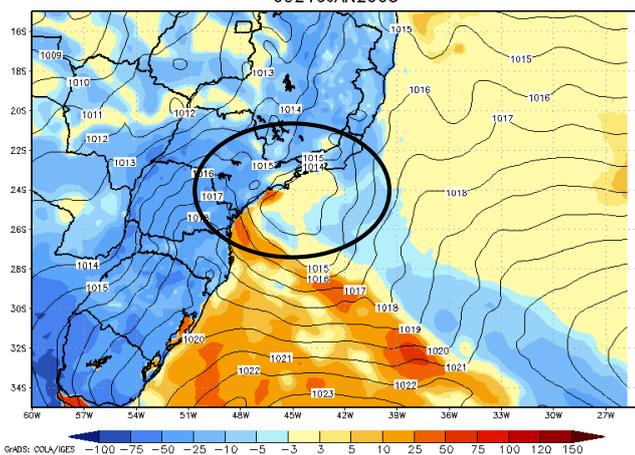
(c)

Vento 200hPa Kt 09Z13JAN2008



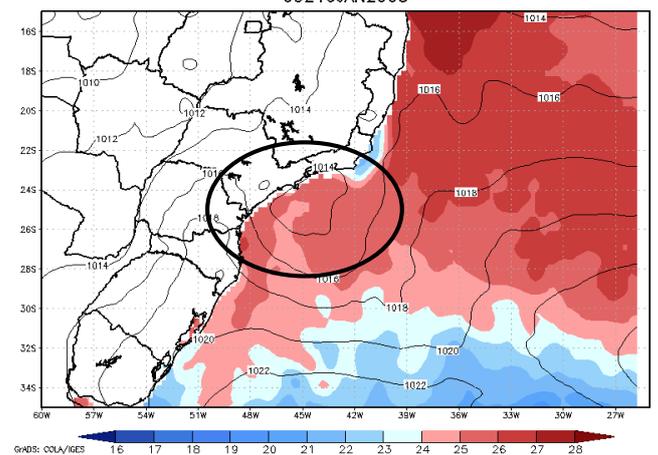
(d)

Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
09Z13JAN2008



(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
09Z13JAN2008



(f)

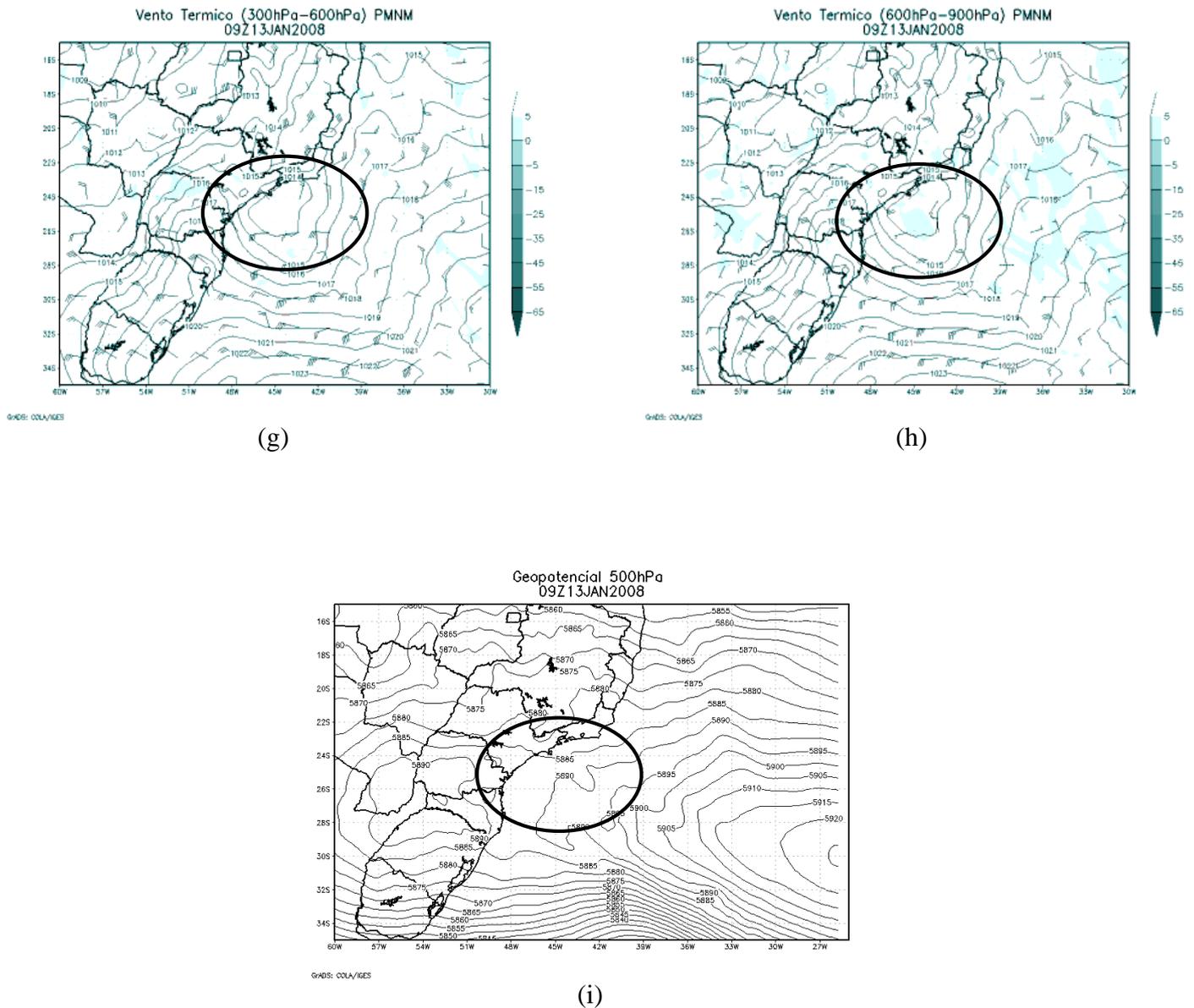
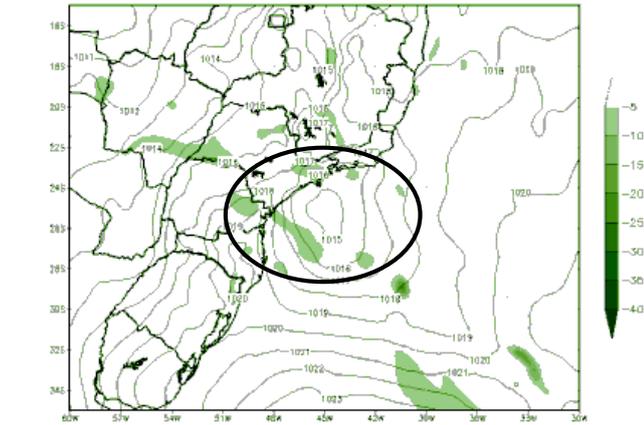


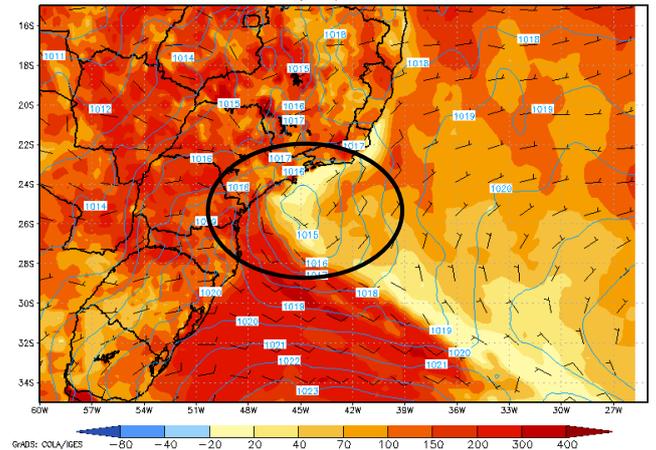
Figura 51: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 13/01/2008 às 09Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
12Z13JAN2008



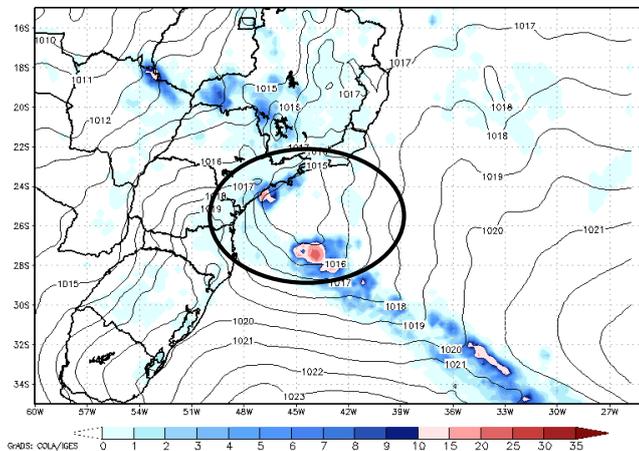
(a)

Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 12Z13JAN2008



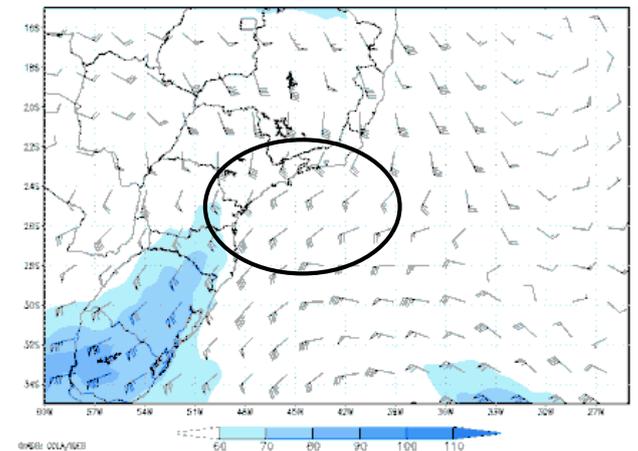
(b)

Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
11Z13JAN2008



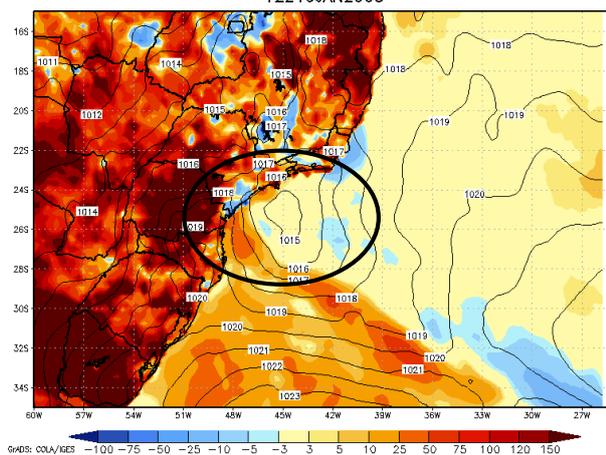
(c)

Vento 200hPa Kt 12Z13JAN2008



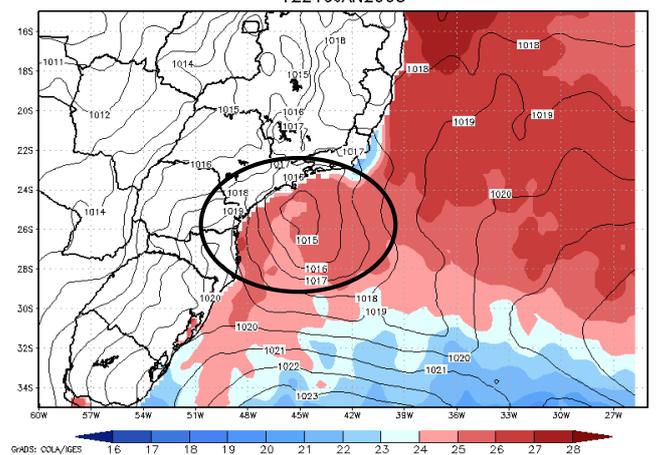
(d)

Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
12Z13JAN2008



(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
12Z13JAN2008



(f)

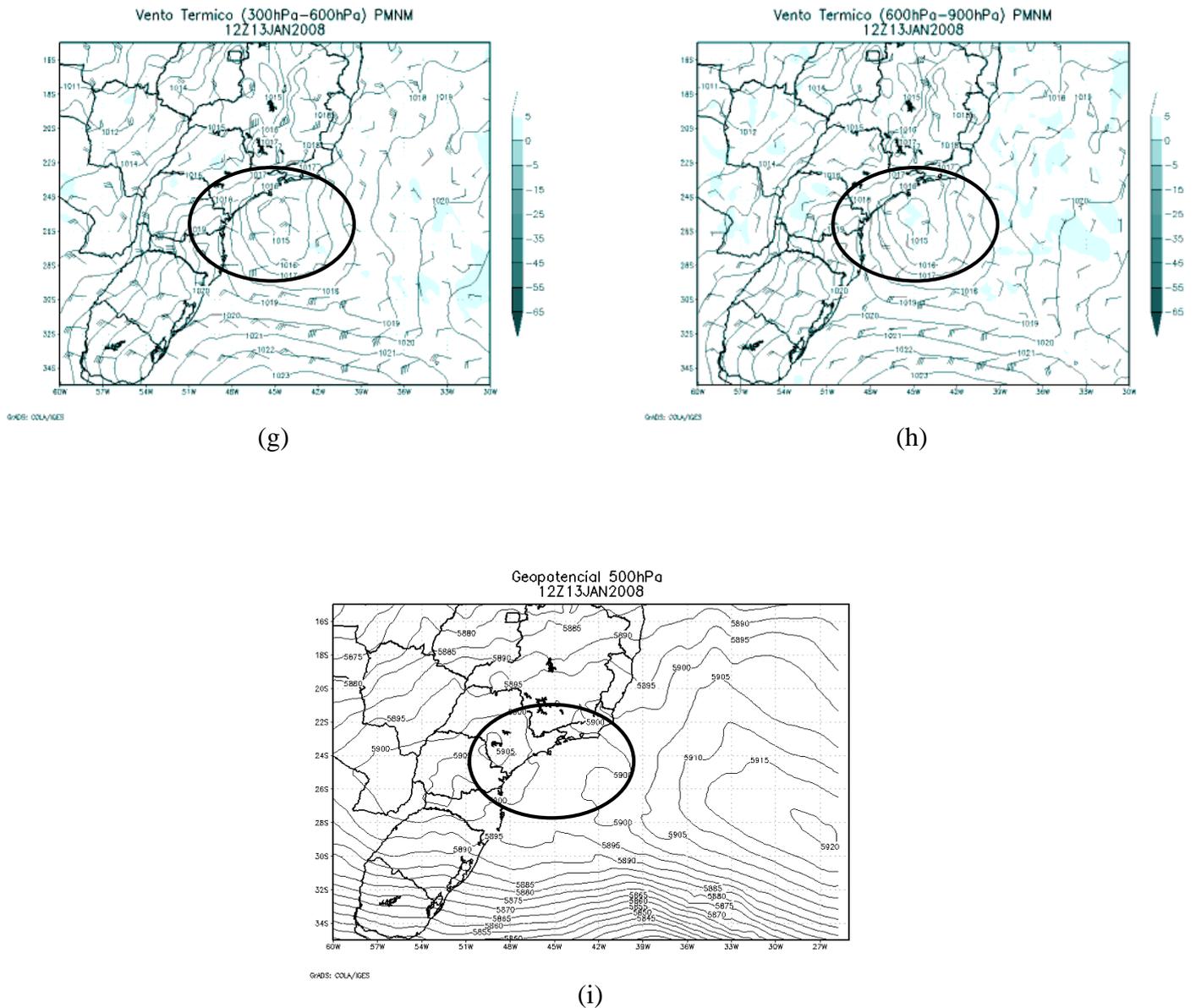
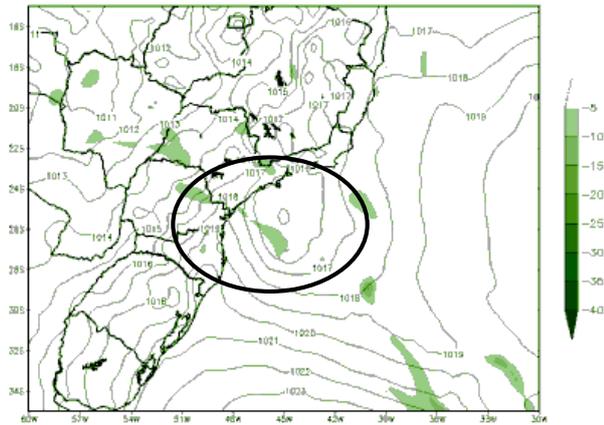


Figura 52: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 13/01/2008 às 12Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

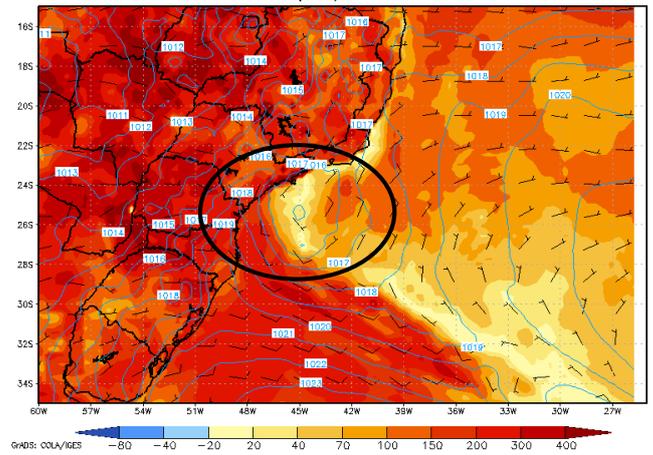
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNM (hPa)
15Z13JAN2008



GAB: COLA/IGES

(a)

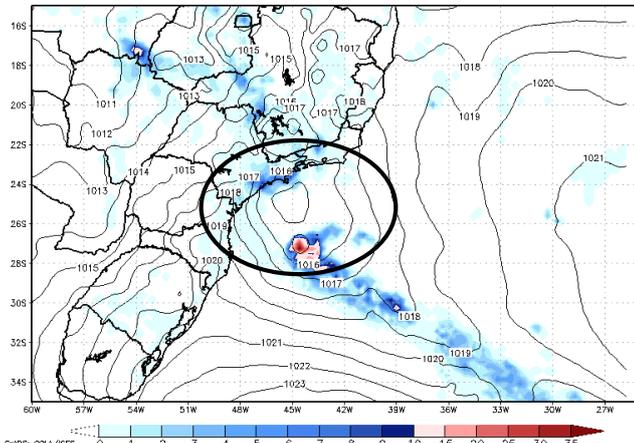
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 15Z13JAN2008



GAB: COLA/IGES

(b)

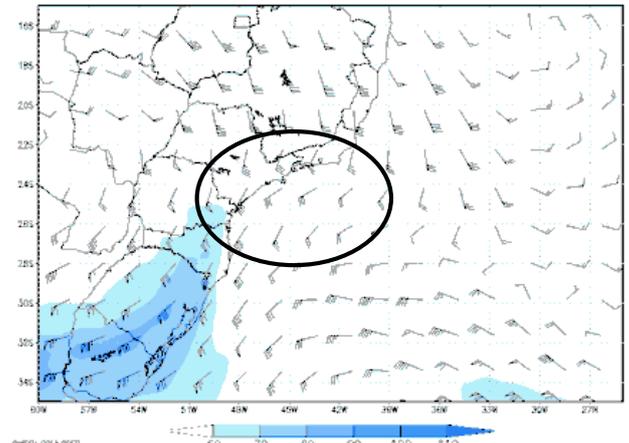
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
14Z13JAN2008



GAB: COLA/IGES

(c)

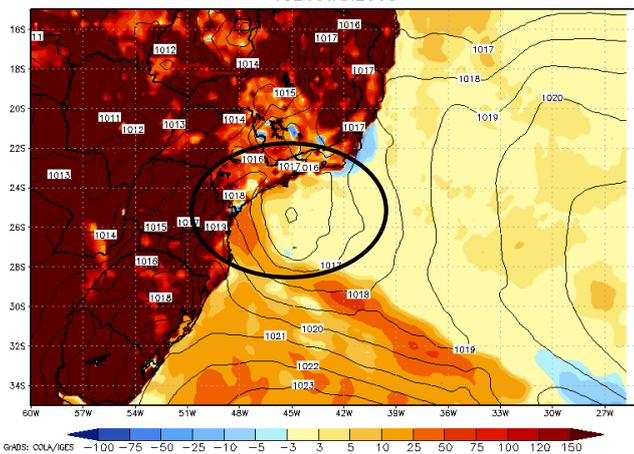
Vento 200hPa Kt 15Z13JAN2008



GAB: COLA/IGES

(d)

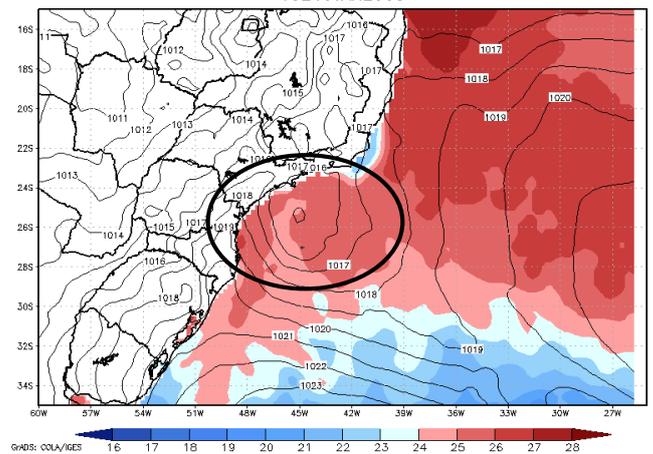
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
15Z13JAN2008



GAB: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
15Z13JAN2008



GAB: COLA/IGES

(f)

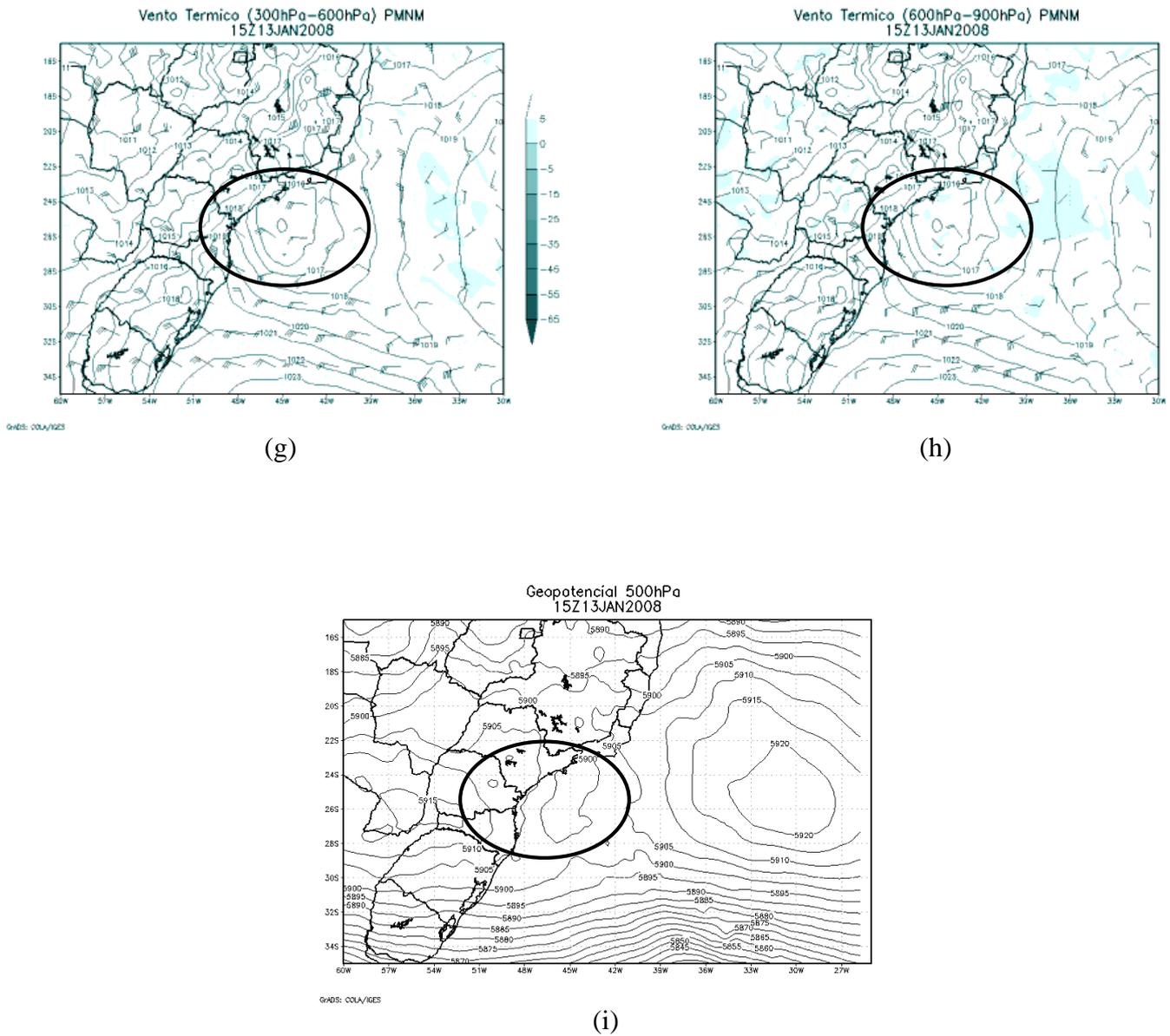
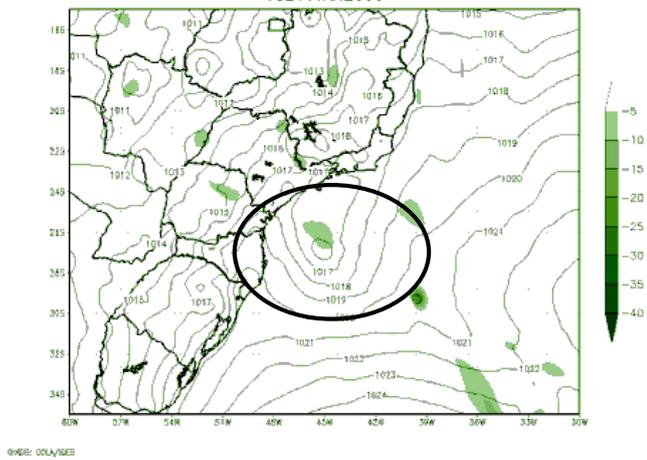


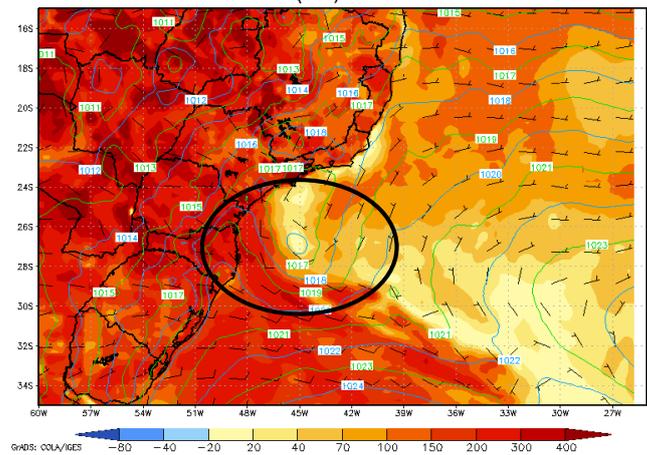
Figura 53: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 13/01/2008 às 15Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNM (hPa)
18Z13JAN2008



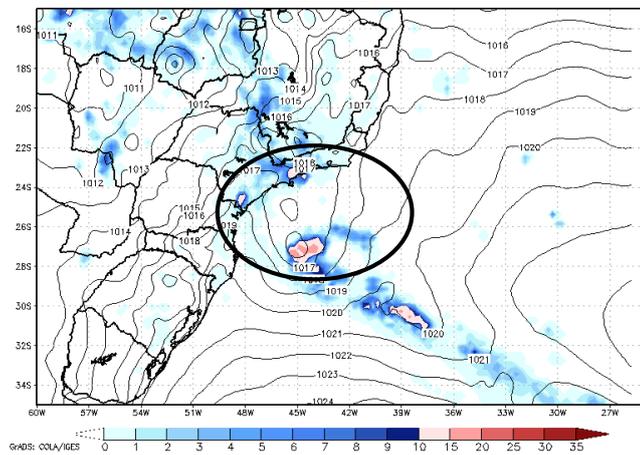
(a)

Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 18Z13JAN2008



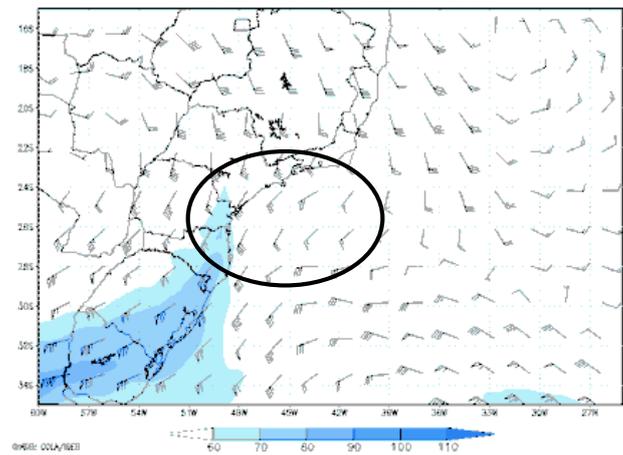
(b)

Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
17Z13JAN2008



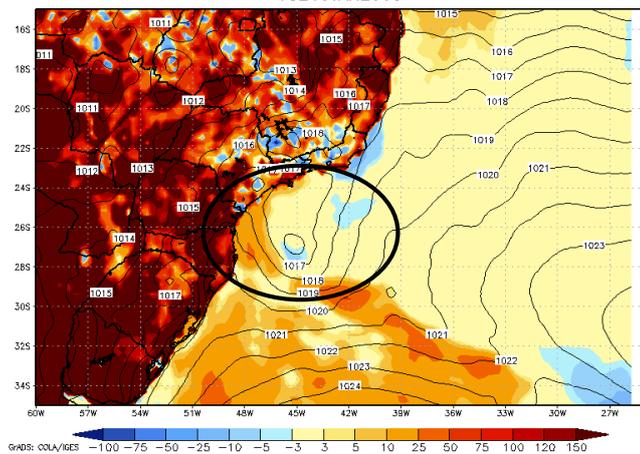
(c)

Vento 200hPa Kt 18Z13JAN2008



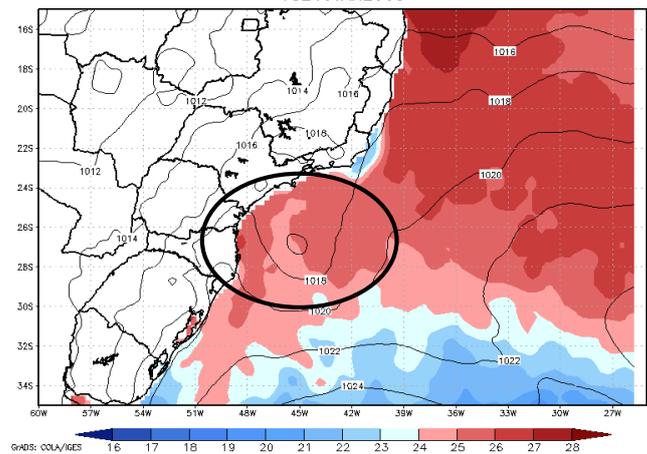
(d)

Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
18Z13JAN2008



(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
18Z13JAN2008



(f)

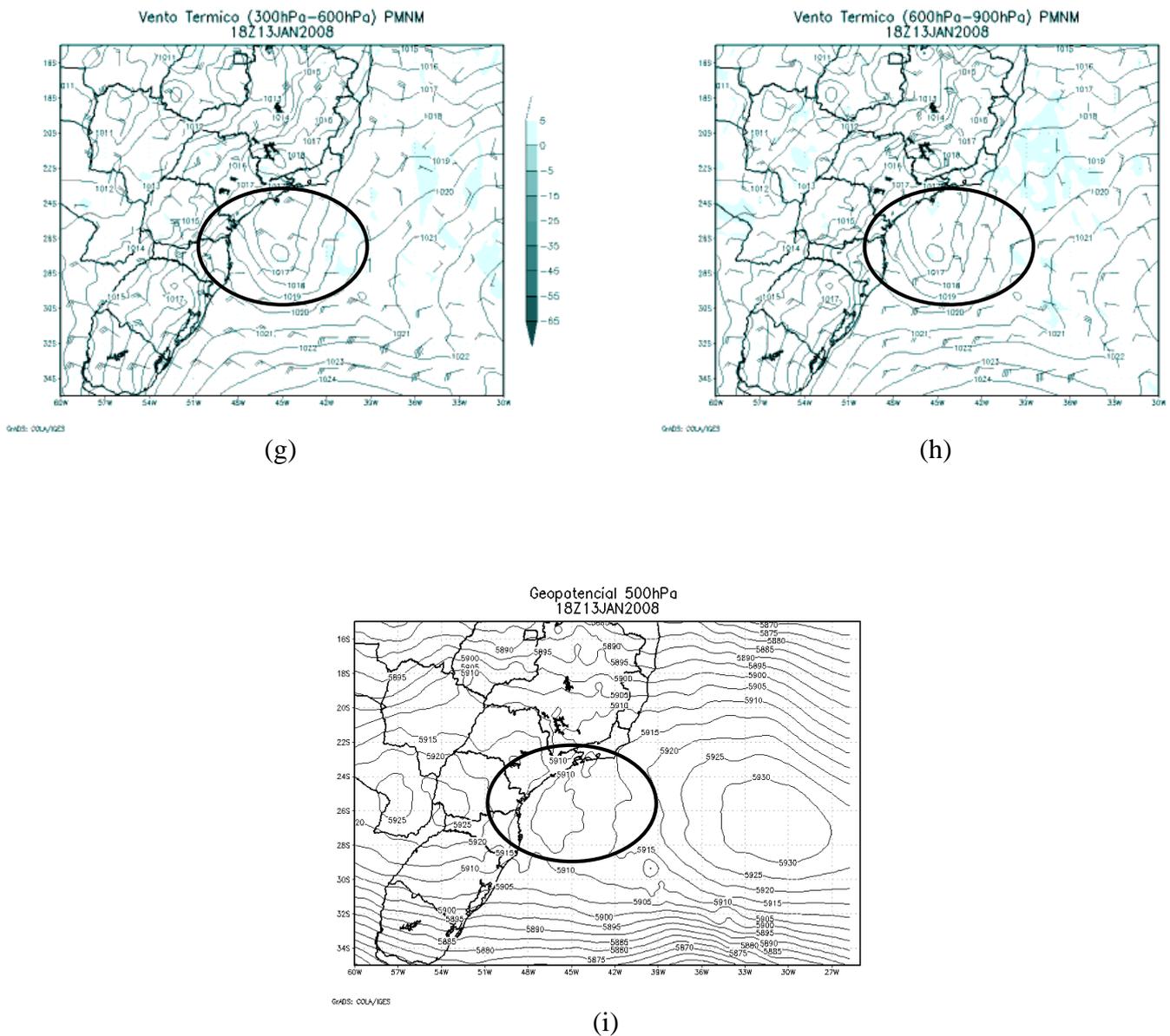


Figura 54: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 13/01/2008 às 18Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

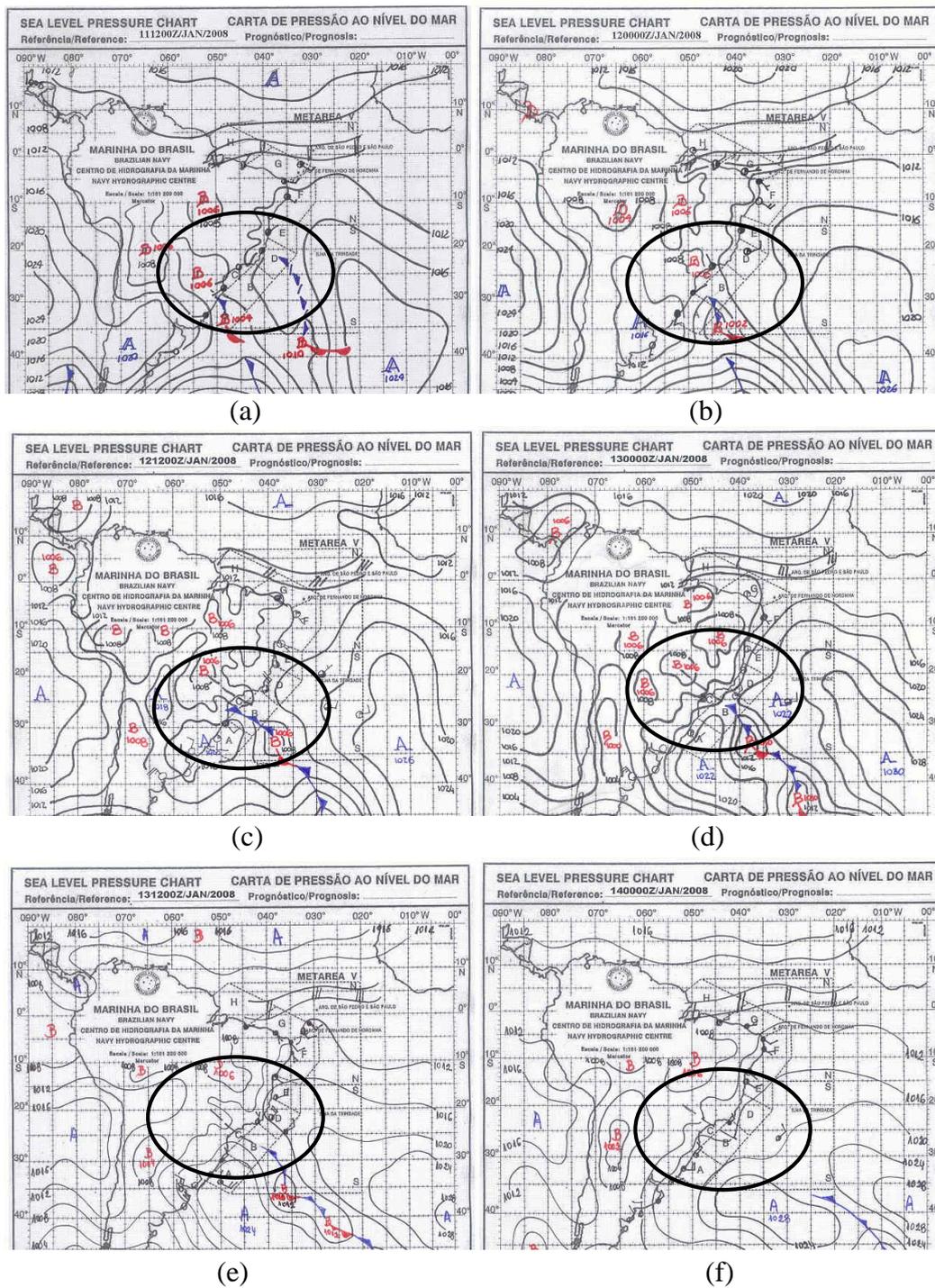


Figura 55: Cartas sinótica de PNMM para: (a) dia 11 às 1200 UTC. (b) dia 12 às 0000 UTC. (c) dia 12 às 1200 UTC. (d) dia 13 às 0000 UTC. (e) dia 13 às 1200 UTC. (f) dia 14 às 0000UTC. Fonte: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>.

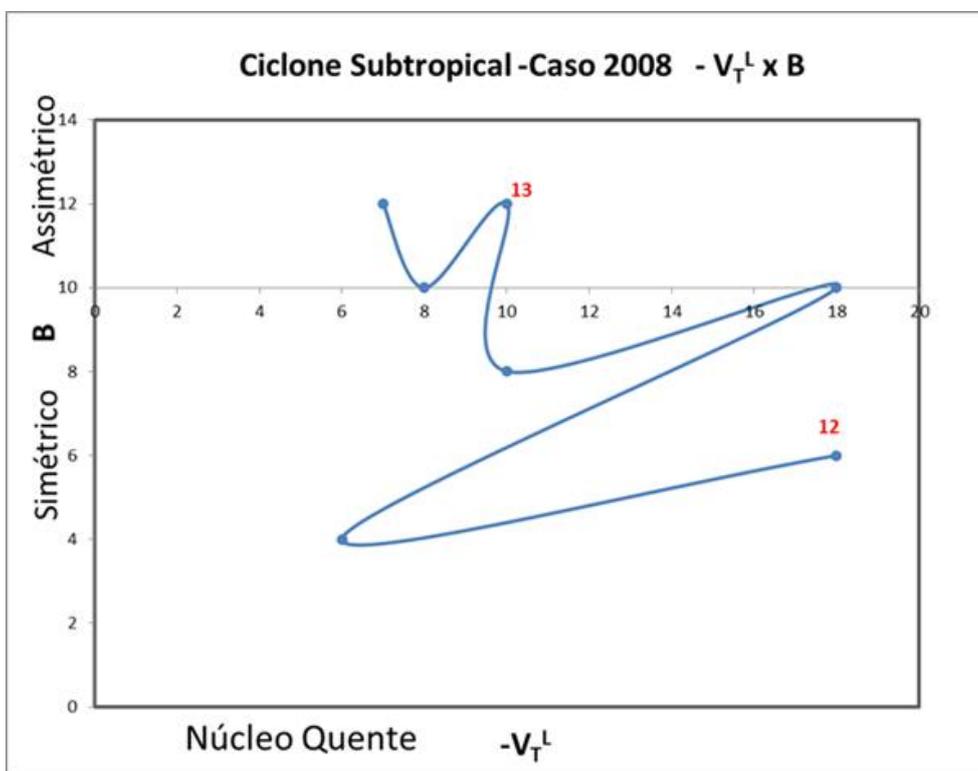
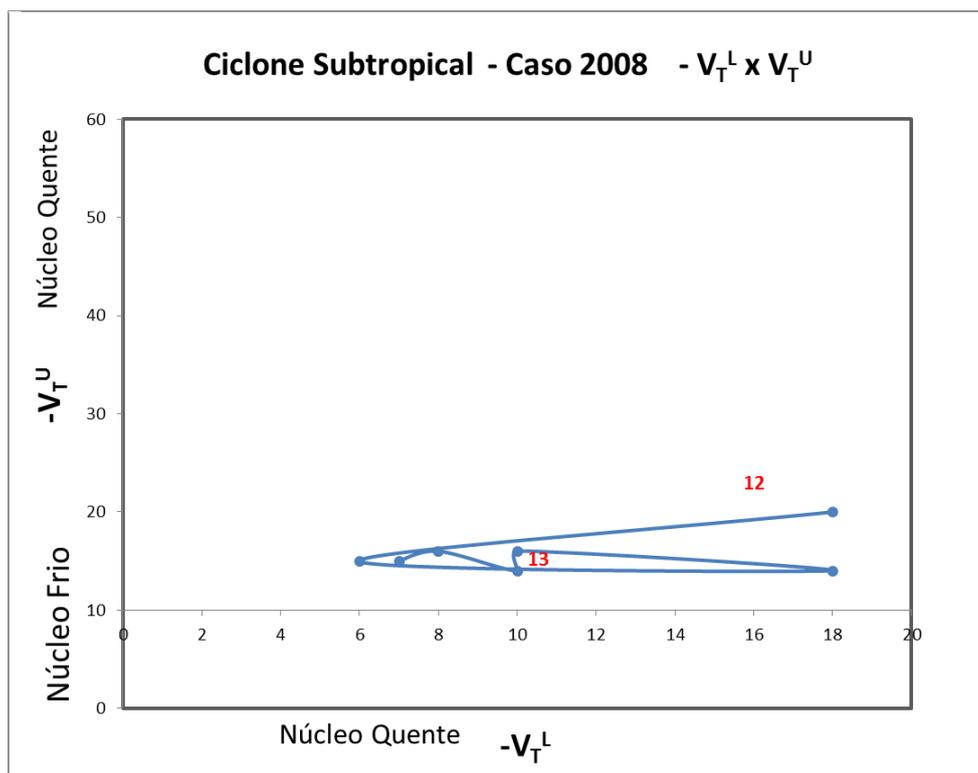


Figura 56: (a) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros $-V_T^L$ e $-V_T^U$ Caso 2008 (b) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros B e $-V_T^L$ Caso 2008. Fonte: Próprio.

4.3 - CASO 2010

Tempestade tropical Anita 2010

Em 08 de março surgiu um ciclone por meio de uma isóbara fechada em baixos níveis (1000hPa) em $25^{\circ}\text{S}038^{\circ}\text{W}$ (figuras 57a a 75a) deslocou-se para sudoeste (SW) e se aprofundou mantendo seu lado direito e parte sul com Fluxo de Calor Sensível negativo ($H<0$), os demais neutros (Figuras 57e a 75e).

Através do campo advecção de vorticidade em 500 hPa (Figuras 57a a 75a), notou-se que regiões a leste do cavado estavam favoráveis à formação de ciclones, favorecendo o movimento vertical

Jatos de altos níveis (ventos superiores a 30 m/s no nível de 200 hPa) foram verificados na região, o que nos implicou em um fraco cisalhamento do vento, o que acarretou em uma estrutura menos vertical (figuras 57d a 75d).

De acordo com as figuras 57g a 75g, o vento térmico na camada superior (600 a 300 hPa) apresentou variação mais significativa, demonstrando um sinal de baroclinia, provavelmente devido à proximidade da frente fria. Entretanto, em baixos níveis (900 e 600 hPa) o vento térmico apresentou-se quase nulo, uma característica barotrópica. Esse padrão é típico de um ciclone subtropical.

Através das figuras de calor latente e o vento em superfície (Figuras 57b a 75b), pode-se observar a disponibilidade da umidade para favorecer o ciclone, bem como a fraca intensidade do vento em baixos níveis (convergência). A umidade favoreceu a intensificação dos ciclones, pois junto com o movimento vertical, que resfria a parcela de ar, diminui a capacidade do ambiente de armazenar vapor d'água, favorece a condensação, liberando com isso, calor latente.

Às 06Z de 8 de março de 2010, estava em $26,5^{\circ}\text{S}039,5^{\circ}\text{W}$. Daí por diante tem a vanguarda do seu deslocamento, valores cada vez mais positivos. Chegou a aparecer um meandramento, fechando uma baixa de pequeno tamanho em superfície exatamente sobre o maior valor do núcleo (100Wm^{-2}) (Figura 58).

Verificou-se também que às 12Z do dia 08 de março de 2010, a posição do ciclone estava em $27,75^{\circ}\text{S}41^{\circ}\text{W}$, com o lado direito com Fluxo de Calor Sensível negativo ($H<0$) e esquerdo na direção de deslocamento positivo ($H>0$), com banda NW/SE da vanguarda interna maior que 50Wm^{-2} e ainda marcado um núcleo com 100Wm^{-2} , meandrando a

isóbara. Ocorreu um ligeiro aprofundamento da baixa (995hpa), sem tanto deslocamento (Figura 59).

Às 18Z, a baixa deslocou-se bastante, e ficou em $29,5^{\circ}\text{S}041^{\circ}\text{W}$, sem intensificação (Figura 60).

Às 00Z do dia 09 de março de 2010, a baixa estava em $31,5^{\circ}\text{S}043^{\circ}\text{W}$ conforme observado na figura 61.

A figura 62e mostra que às 06Z do dia 09 de março, a baixa estava em $31,5^{\circ}\text{S}044,5^{\circ}\text{W}$, desintensificando, mas com o padrão $H<0$ à direita e $H>0$ à esquerda.

Nas figuras 57b a 75b, verificou-se que a baixa estava sobre LE (Fluxo de Calor Latente) com núcleo mais frio que as bordas. Deslocou-se para a região mais interna do LE (400 Wm^{-2}), em todo o período.

O geopotencial em 500 hPa veio novamente confirmar que o ciclone apresentou uma estrutura mais simétrica (não frontal). Onde o parâmetro B de Hart (2003) indicou valores até 10 metros para simetria não frontal. Baixo sobre o litoral de PR, norte de SC e extremo sul de SP, marcando o domínio interno. Forte variação do Geopotencial(V0) na região do atlântico SW, e conforme o dia 8 avançou, ocorreu um ligeiro deslocamento do núcleo para $26^{\circ}\text{S} 047^{\circ}\text{W}$ (litoral PR) e um cavamento para a região da baixa (figuras 57i a 75i). Ainda, conforme visualizado na figura 77 do diagrama de fase do ciclone Anita, verificamos que o Anita possuía núcleo quente em baixos níveis e frio em altos níveis e uma estrutura simétrica em praticamente todo seu período, conforme esperado em um ciclone subtropical.

Notou-se também uma forte vorticidade negativa na região central do mínimo geopotencial em 500hpa.

A TSM acima de $26,5^{\circ}$, favoreceu a alimentação de calor e umidade para a formação do ciclone subtropical. Sempre maior que 25°C no início do dia 08 e seguindo com TSM's mais elevadas conforme observado nas figuras 57f a 75f.

No início do dia 08, verificou-se a existência de jatos de altos níveis (200hPa) no norte do estado de São Paulo e sul dos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais, não tão intensos (50-55kt). Na região do ciclone, ficou marcado o enfraquecimento gradual do Jato até seu desaparecimento 10 de março, surgindo depois dia 11 quando o sistema frontal surge do sul (figuras 57d a 75d).

Notou-se a existência de precipitação moderada, como esperado em um ciclone subtropical, mas não em todo o domínio. Verificou-se também, a presença de uma frente fria nas vizinhanças do ciclone, deixando essa região com sinais baroclínicos (Figuras 57c a 75c).

Em 08 de março verificou-se precipitação sobre a frente fria e pouca sobre a frente quente e na retaguarda. Com o passar do tempo o ciclone avançou para S e SW (17Z) e na borda do avanço, a precipitação se intensificou. Continuou apenas na frente fria (agora sem frente quente associada e no ramo sul na direção de propagação do ciclone).

No dia 09 a chuva enfraqueceu, permanecendo apenas no ramo sul (borda). Às 11Z a chuva surgiu próximo do núcleo e de forma mais circular do ciclone (mais fraca).

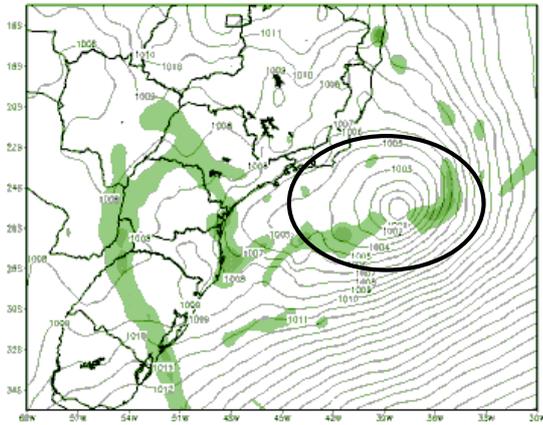
Esse padrão de forte intensificação no centro se aumentou em quantidade e área no centro do ciclone. No final do dia 10 (23Z) a precipitação tomou formato lateral e frontal novamente.

Apresentou ventos fortes a 10 metros na (25-30 kt) no pré-frontal e lado leste e sul do ciclone enquanto no centro ele é mais fraco (10-20kt). Durante os dias 9 e 10 eles ficam mais intensos, 20-35kt próximo ao centro (Figuras 57b a 75b).

As cartas sinóticas de PNMM mostraram bem o desenvolvimento de uma baixa pressão em superfície, entretanto, não muito significativo (Figura 76)

Verificou-se pelo diagrama de fase que o ciclone Anita possuía núcleo quente em baixos níveis e frio em altos níveis e uma estrutura mais simétrica conforme esperado em um ciclone subtropical. (Figura 77)

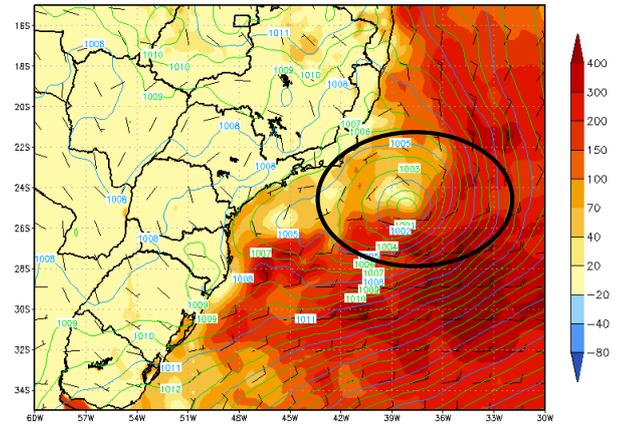
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
00Z08MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(a)

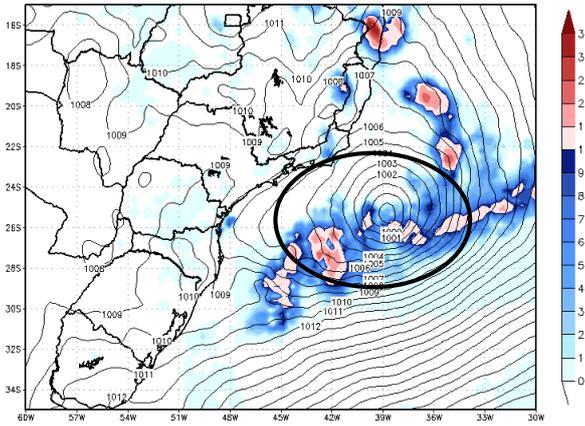
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 00Z08MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(b)

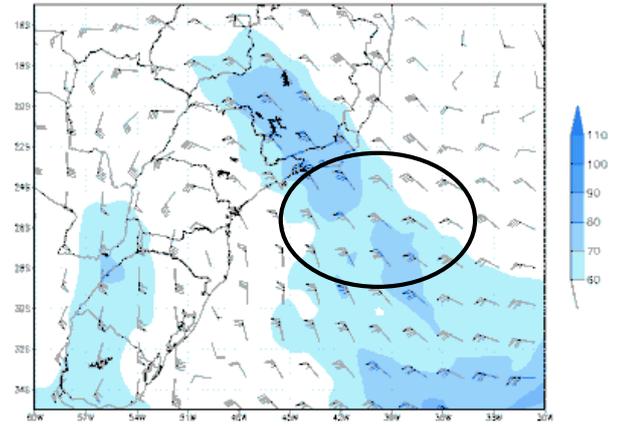
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
00Z08MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(c)

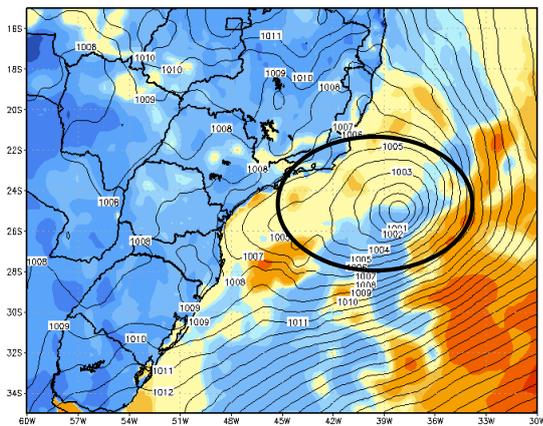
Vento 200hPa Kt 00Z08MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(d)

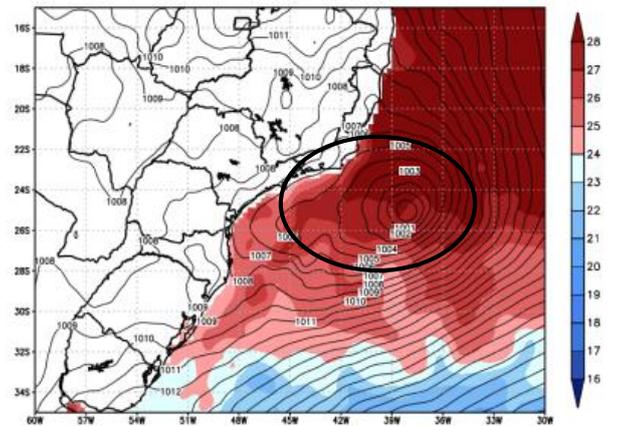
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
00Z08MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
00Z08MAR2010



GHD5: NIES/COLA

(f)

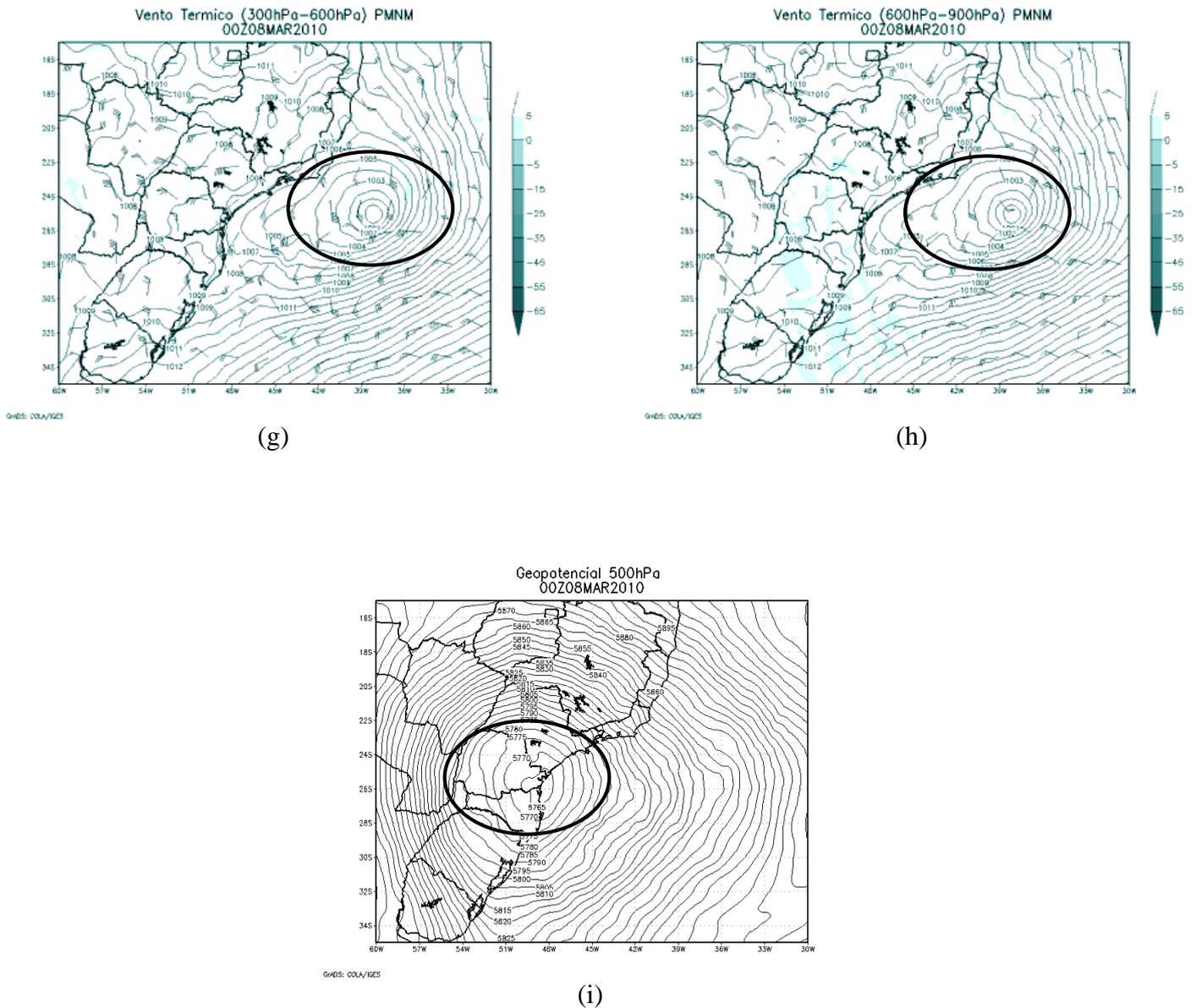
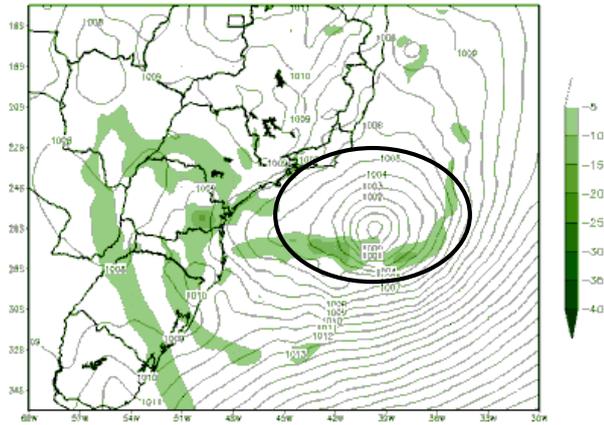


Figura 57: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 08/03/2010 às 00Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

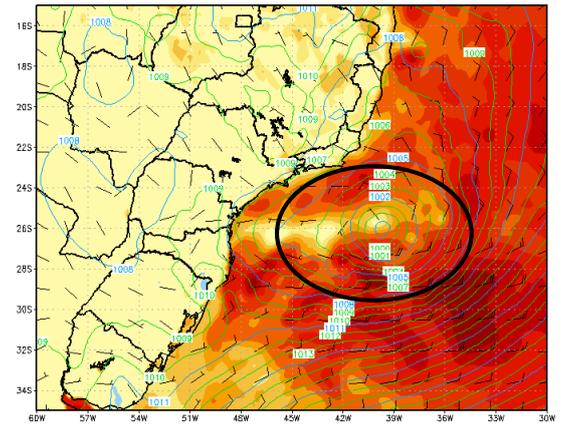
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
06Z08MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(a)

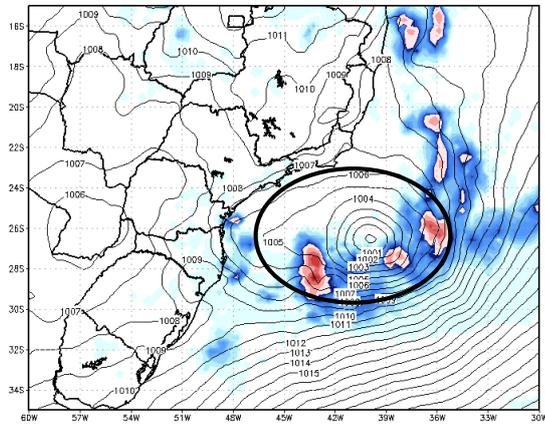
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 06Z08MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(b)

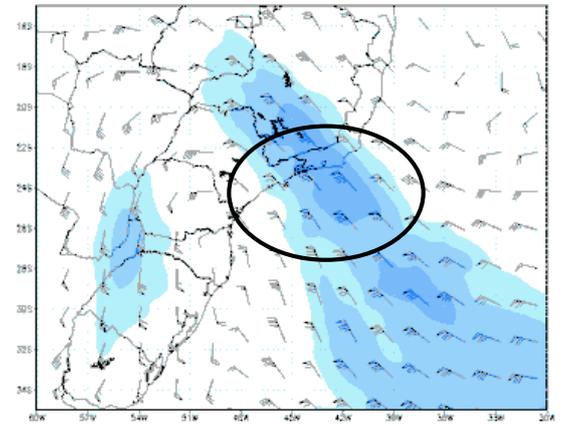
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
08Z08MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(c)

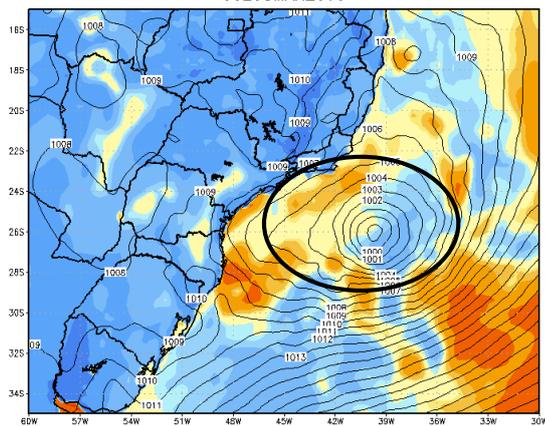
Vento 200hPa Kt 06Z08MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(d)

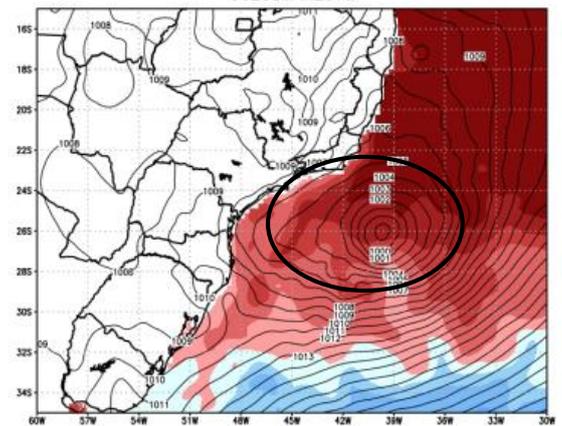
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
06Z08MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
06Z08MAR2010



GHRS: IGES/COLA

(f)

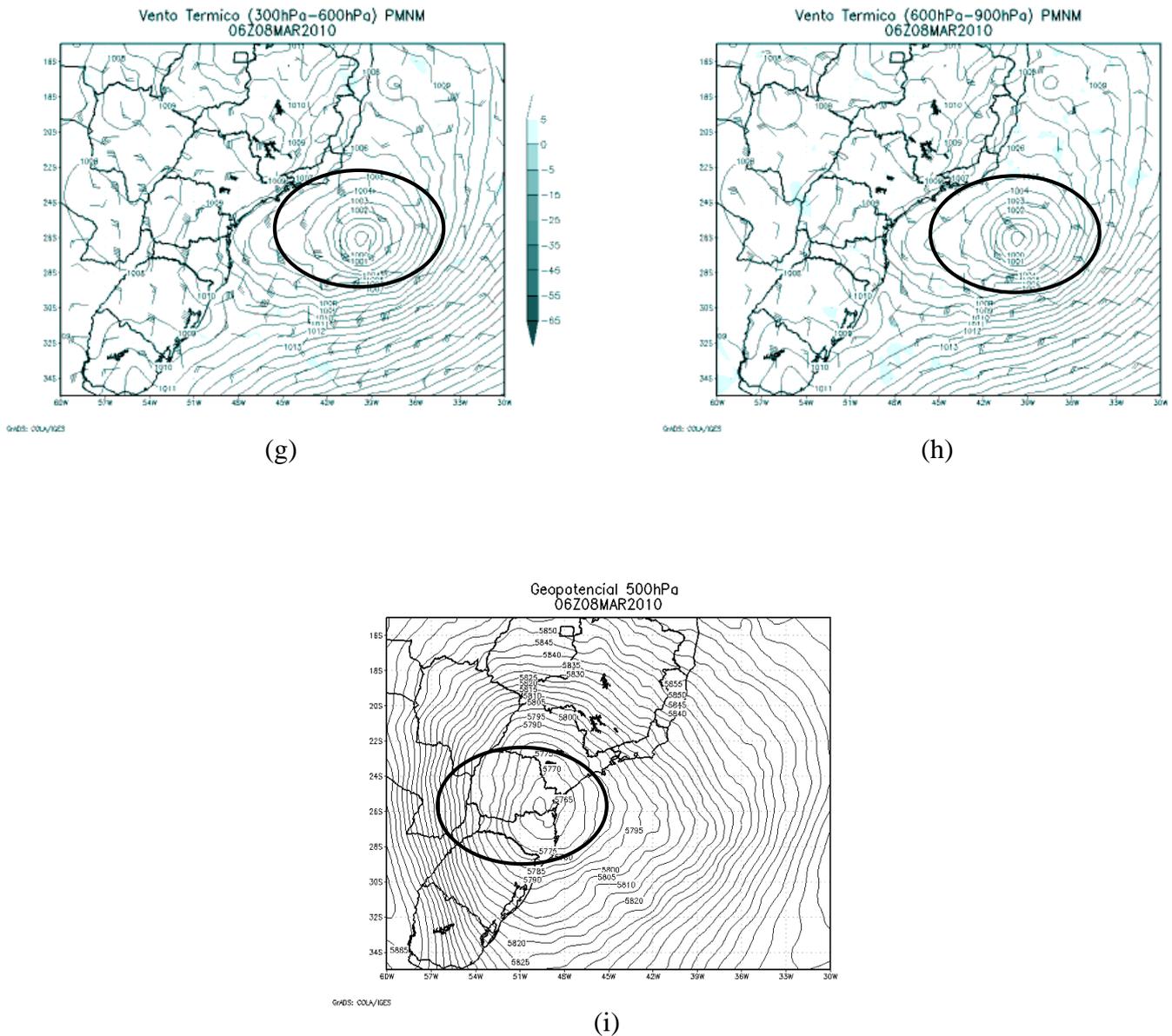
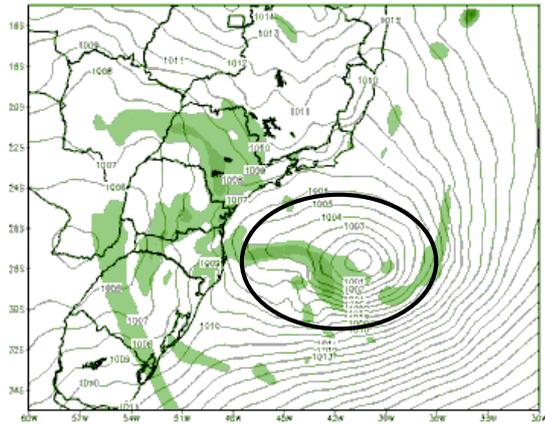


Figura 58: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 08/03/2010 às 06Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

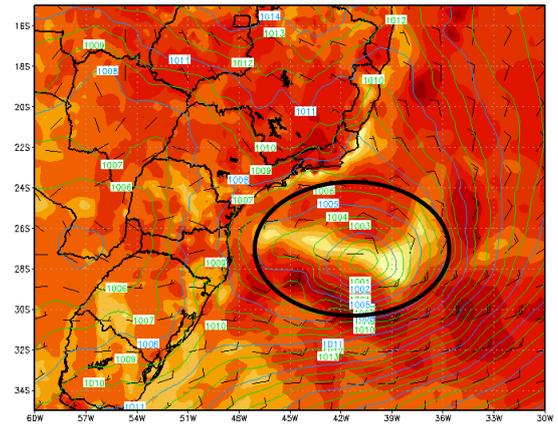
Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
12Z08MAR2010



GhDS: COLA/IGES

(a)

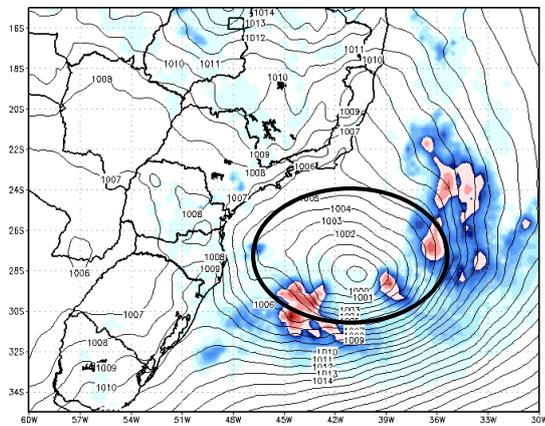
Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 12Z08MAR2010



GhDS: COLA/IGES

(b)

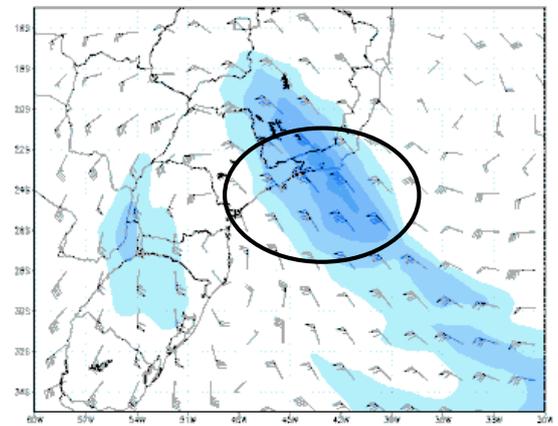
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
14Z08MAR2010



GhDS: COLA/IGES

(c)

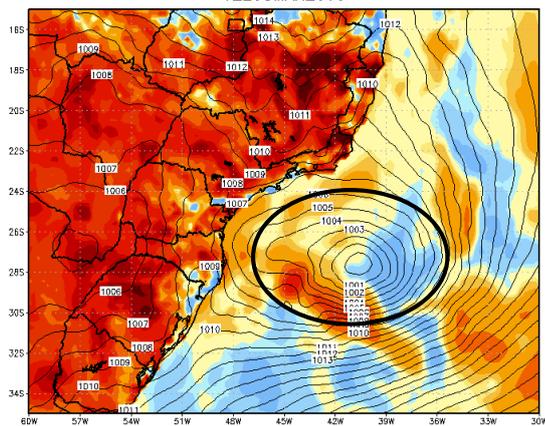
Vento 200hPa Kt 12Z08MAR2010



GhDS: COLA/IGES

(d)

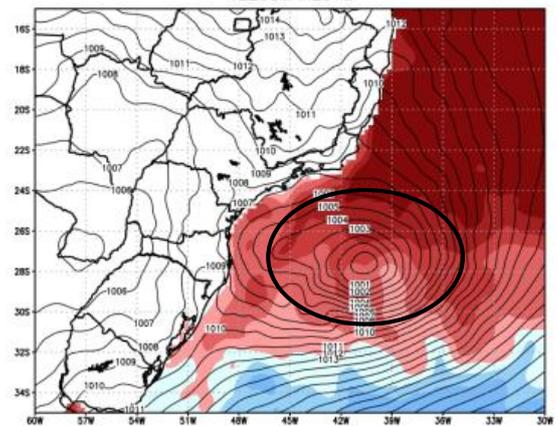
Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
12Z08MAR2010



GhDS: COLA/IGES

(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
12Z08MAR2010



GhDS: IRES/COLA

(f)

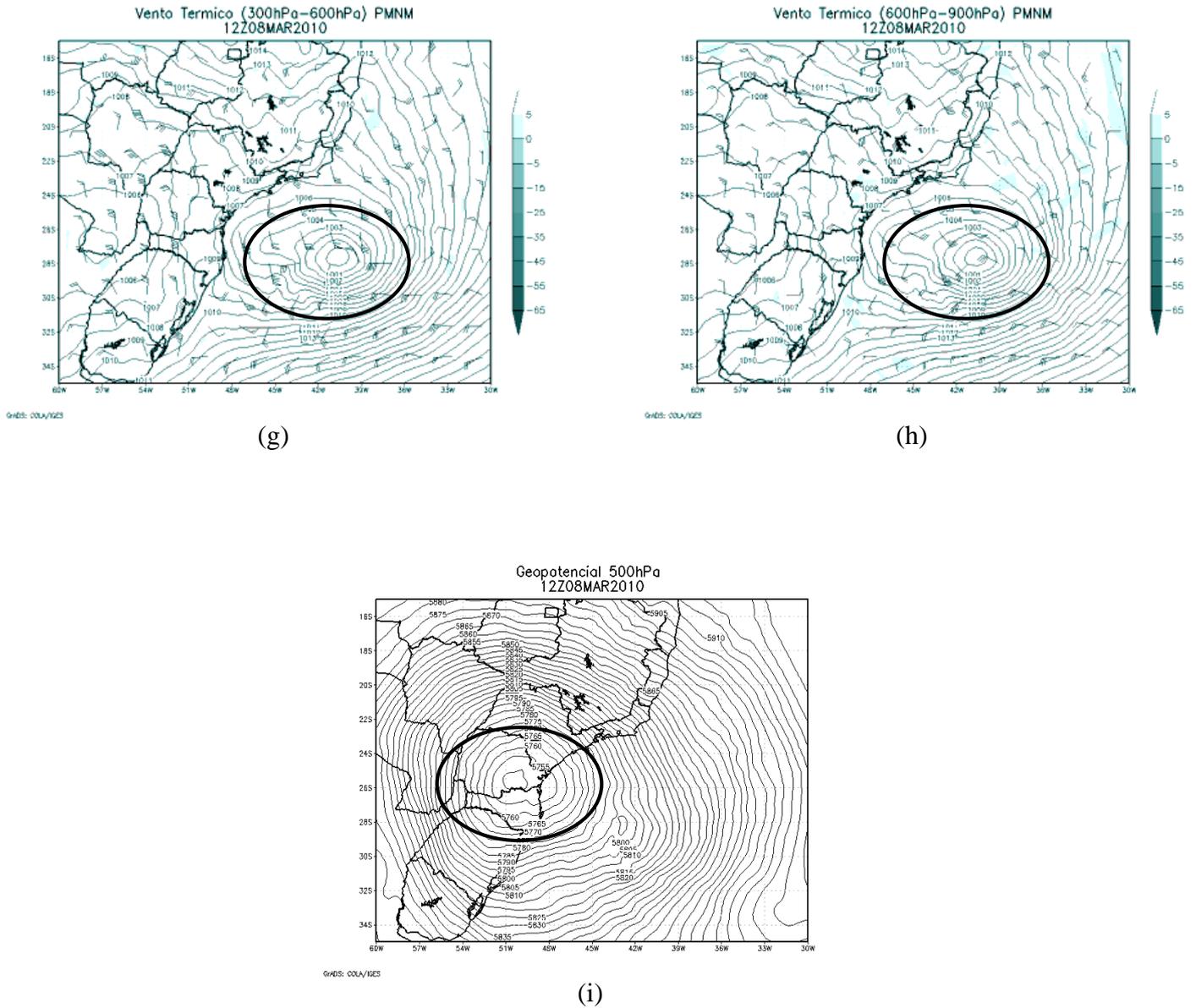
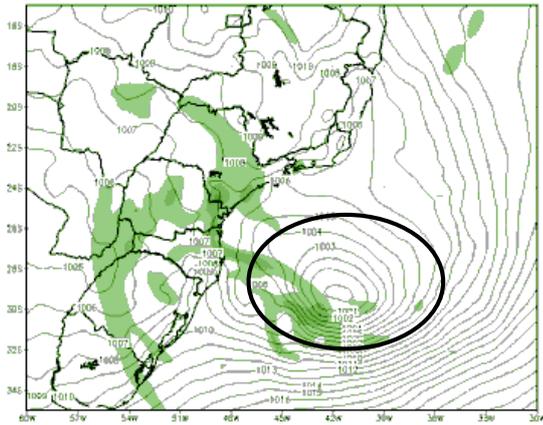


Figura 59: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 08/03/2010 às 12Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

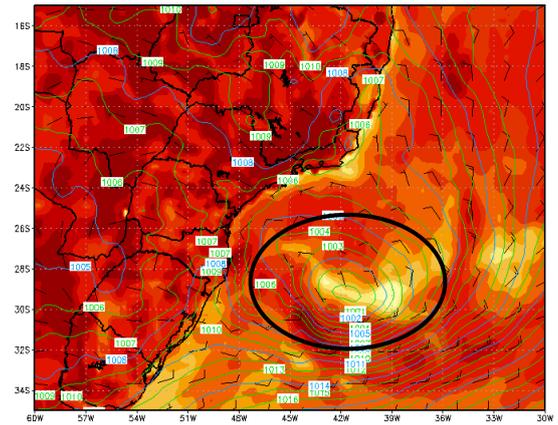
Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
18Z08MAR2010



Ghds: COLA/IGES

(a)

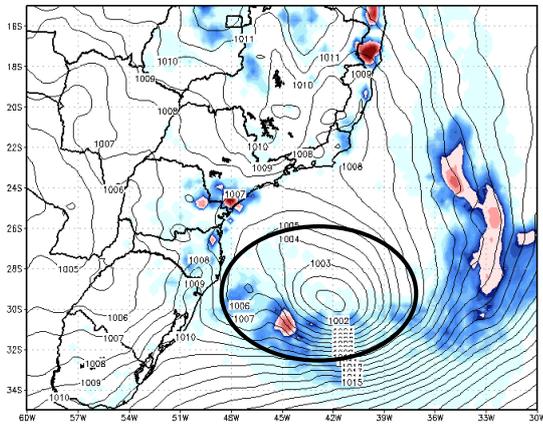
Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 18Z08MAR2010



Ghds: COLA/IGES

(b)

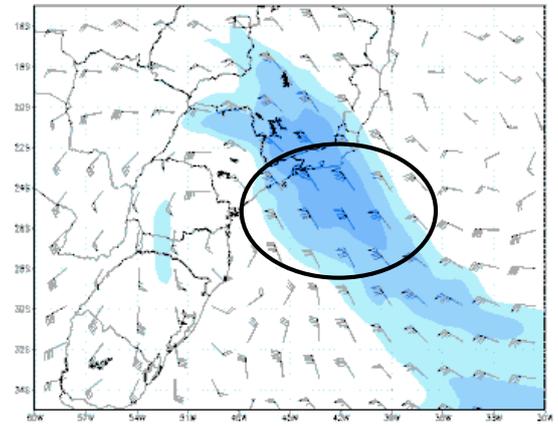
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
20Z08MAR2010



Ghds: COLA/IGES

(c)

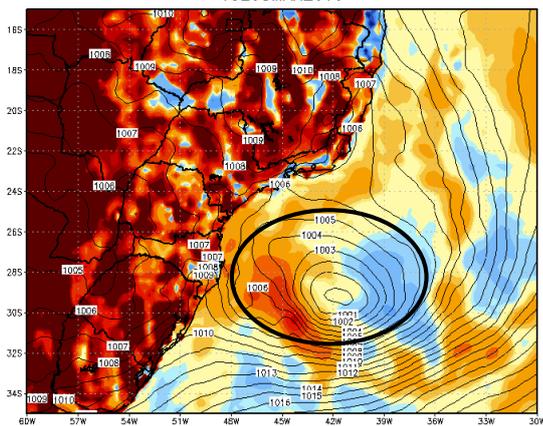
Vento 200hPa Kt 18Z08MAR2010



Ghds: COLA/IGES

(d)

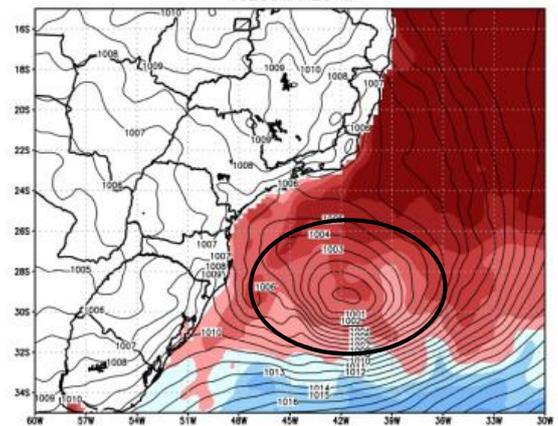
Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
18Z08MAR2010



Ghds: COLA/IGES

(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
18Z08MAR2010



Ghds: IRES/COLA

(f)

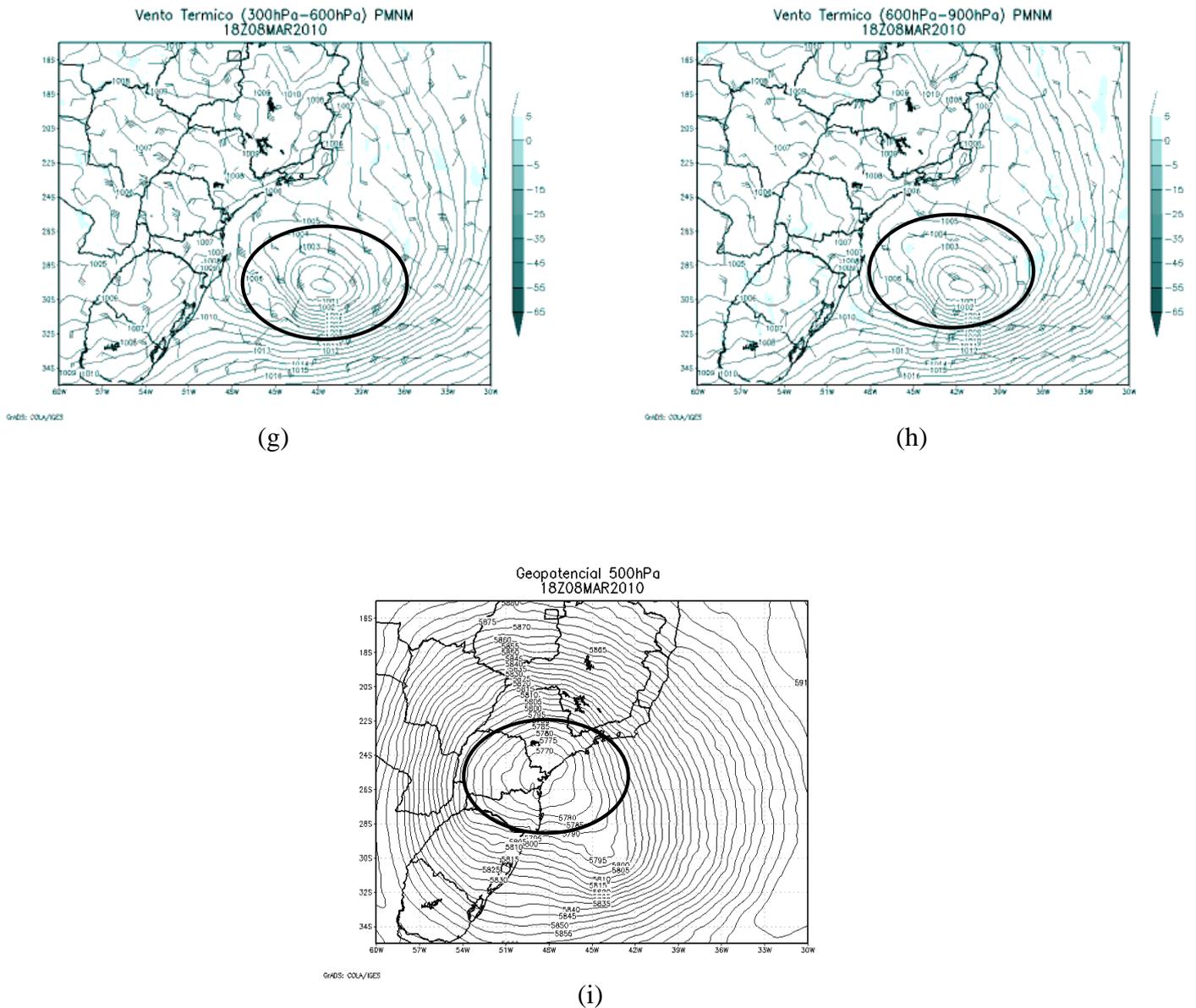
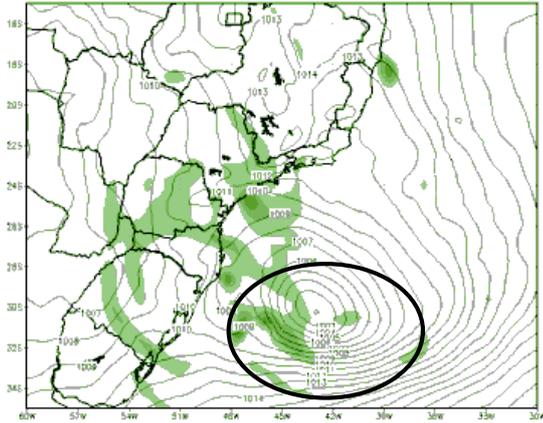


Figura 60: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 08/03/2010 às 18Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

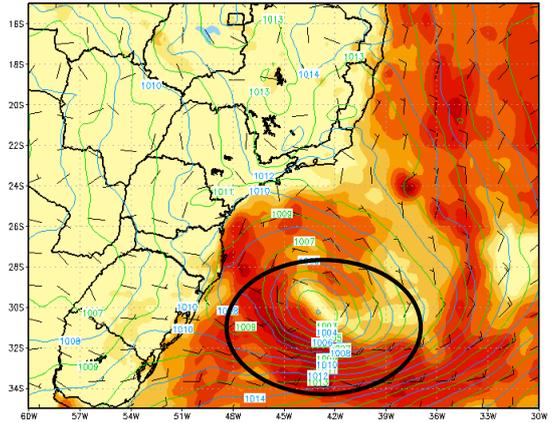
Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
00Z09MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(a)

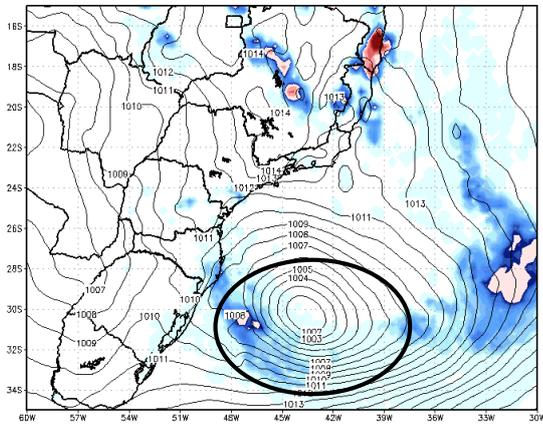
Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 00Z09MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(b)

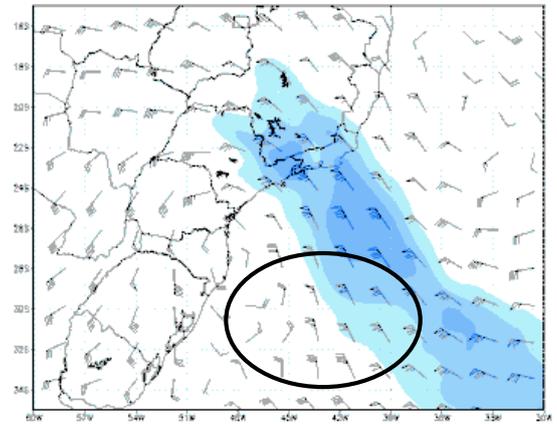
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
02Z09MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(c)

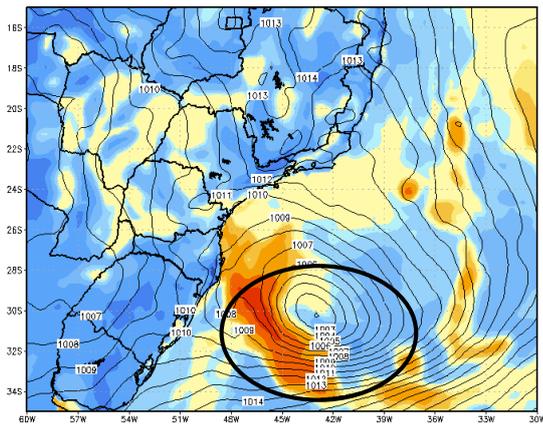
Vento 200hPa Kt 00Z09MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(d)

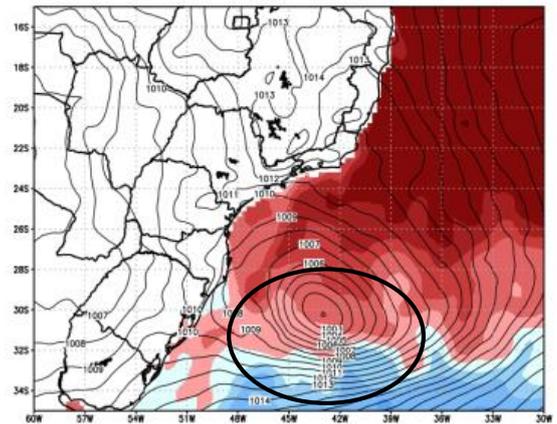
Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
00Z09MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
00Z09MAR2010



GHRS: IGES/COLA

(f)

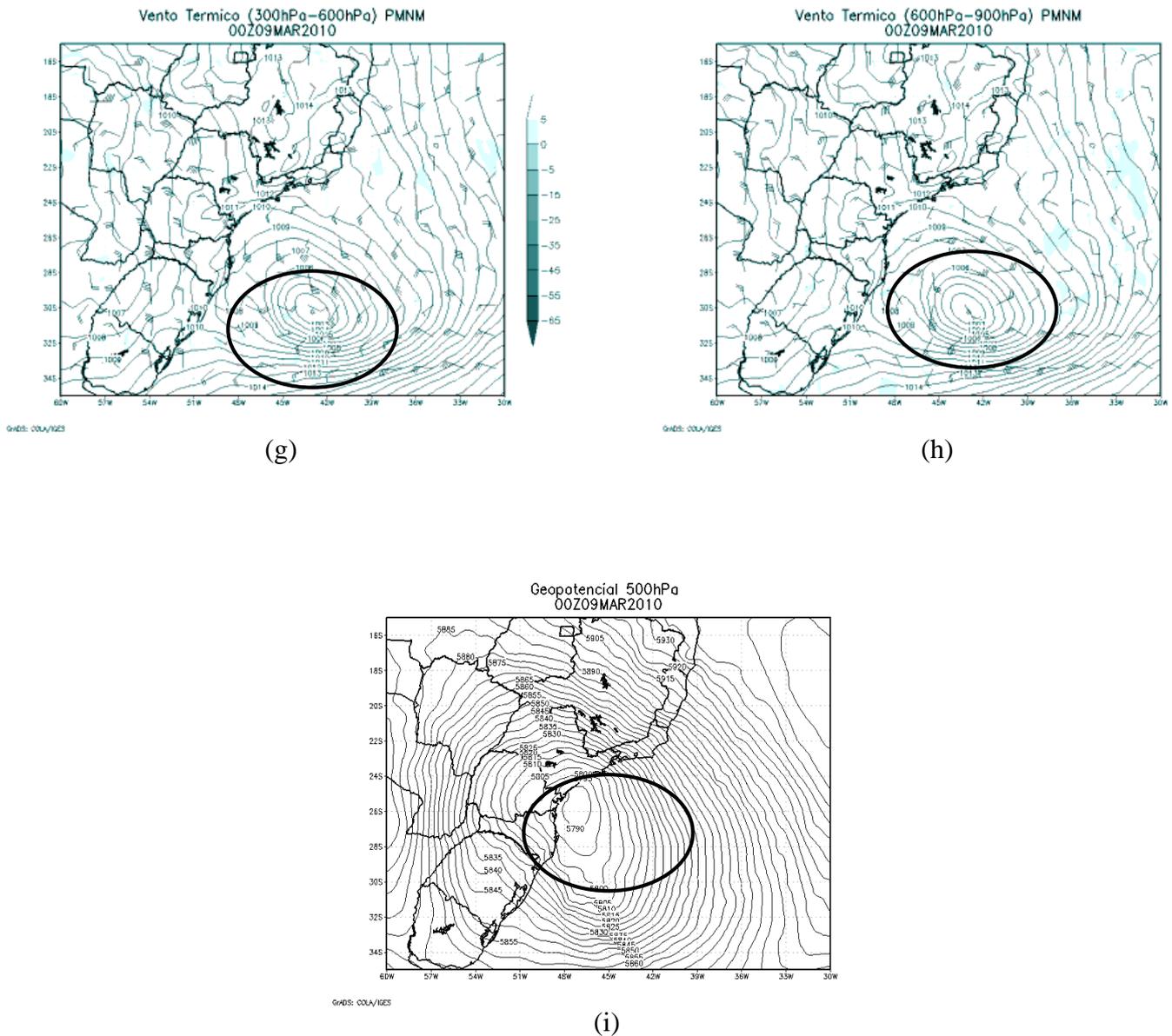
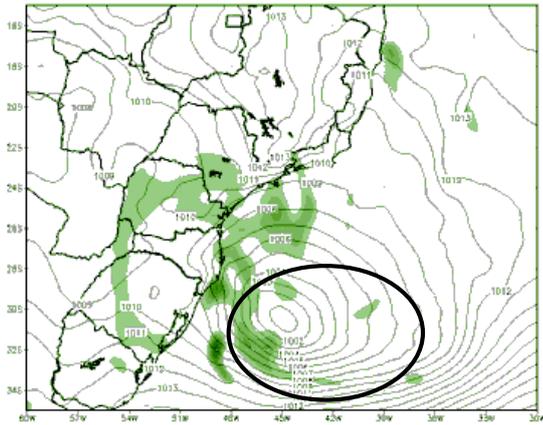


Figura 61: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 09/03/2010 às 00Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

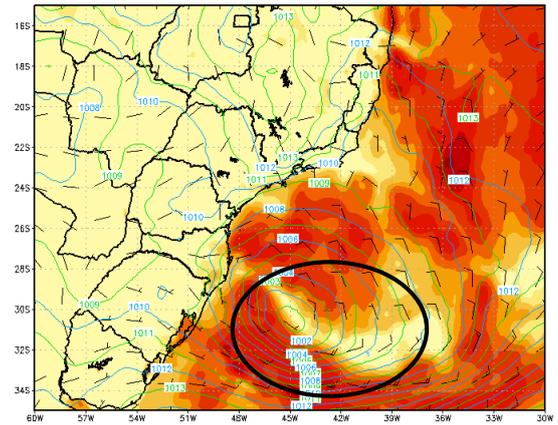
Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
06Z09MAR2010



GHD: COLA/IGES

(a)

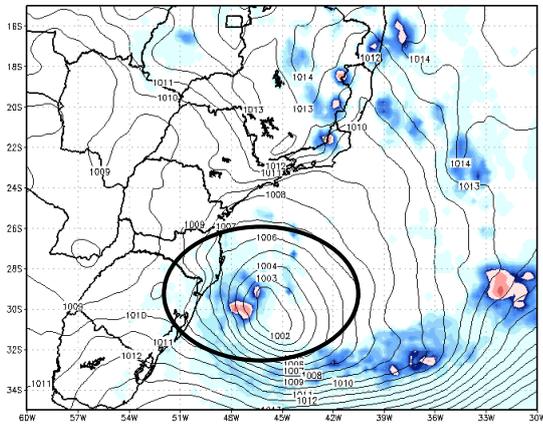
Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 06Z09MAR2010



GHD: COLA/IGES

(b)

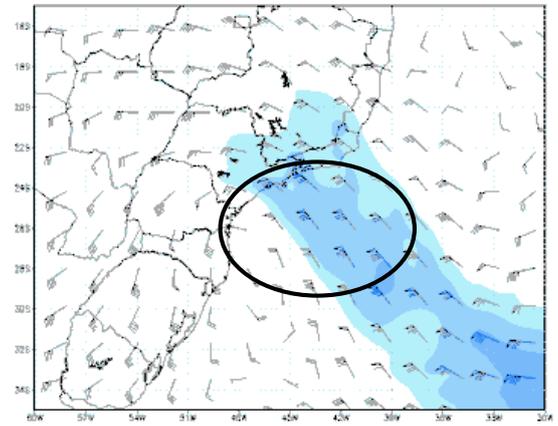
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
08Z09MAR2010



GHD: COLA/IGES

(c)

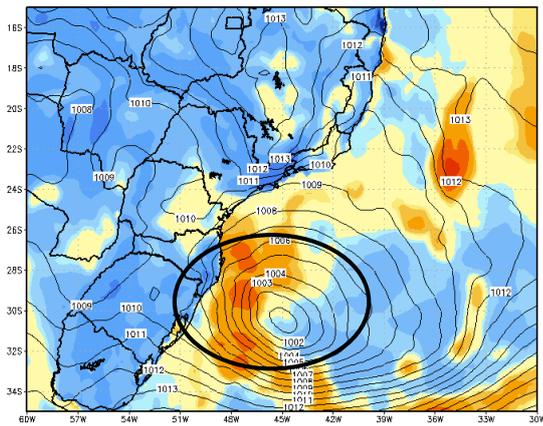
Vento 200hPa Kt 06Z09MAR2010



GHD: COLA/IGES

(d)

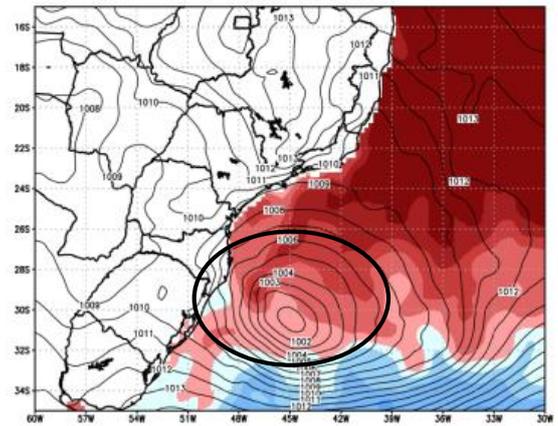
Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
06Z09MAR2010



GHD: COLA/IGES

(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
06Z09MAR2010



GHD: IGES/COLA

(f)

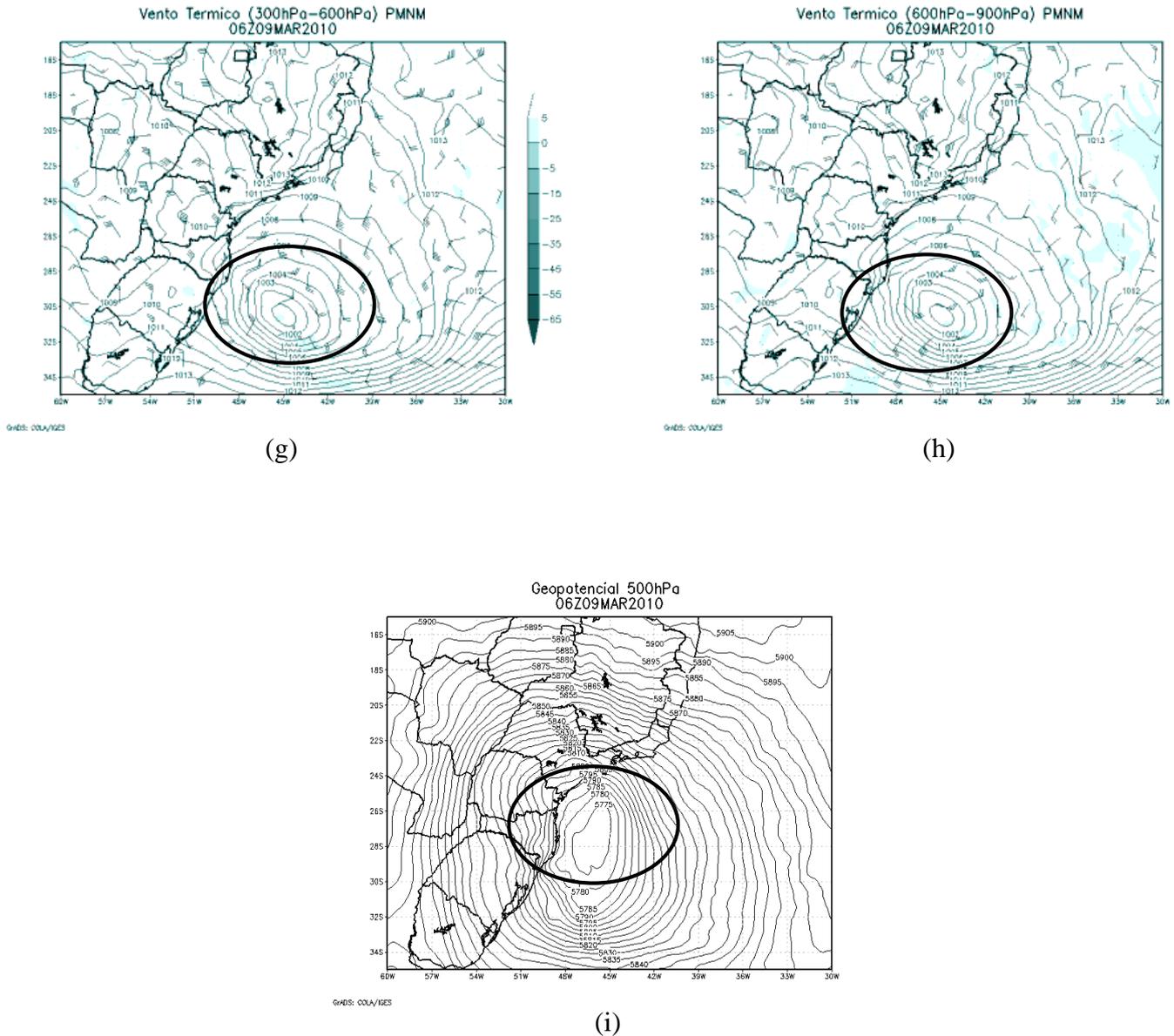
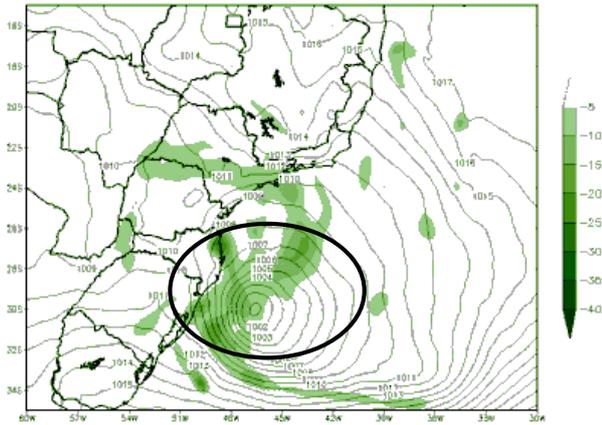


Figura 62: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 09/03/2010 às 06Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

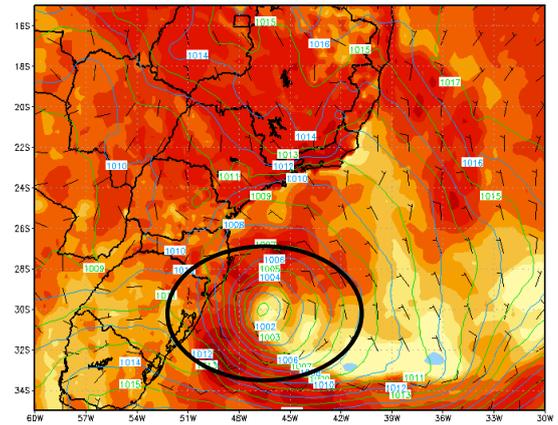
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
12Z09MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(a)

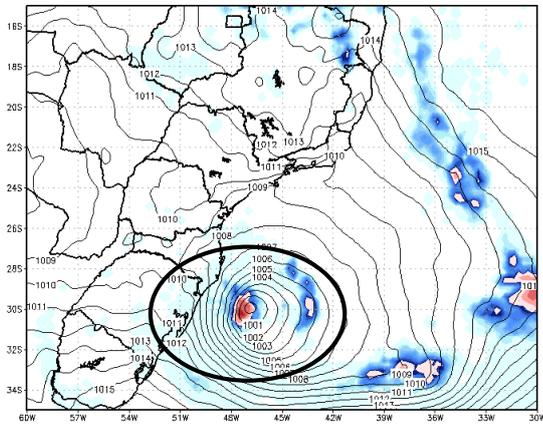
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 12Z09MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(b)

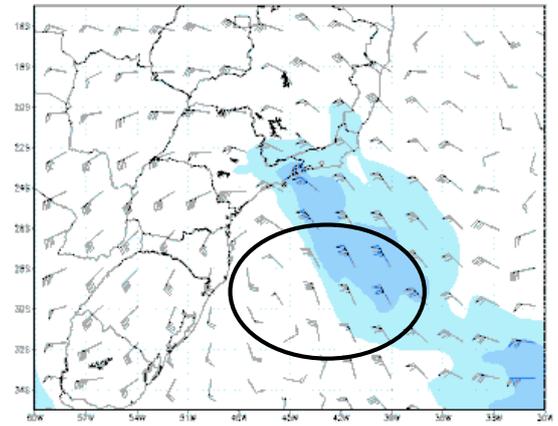
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
14Z09MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(c)

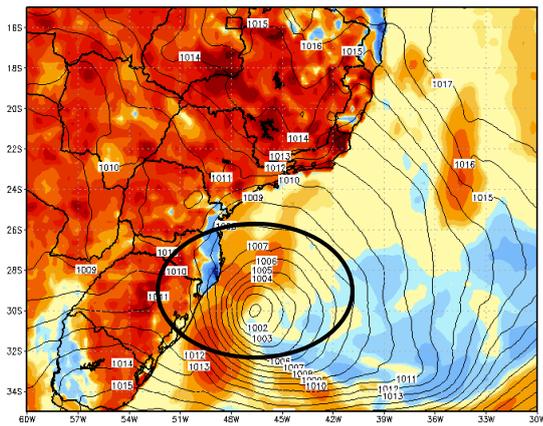
Vento 200hPa Kt 12Z09MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(d)

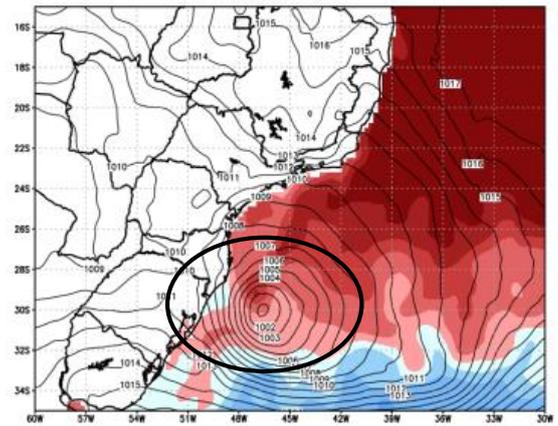
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
12Z09MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
12Z09MAR2010



GHD5: IGES/COLA

(f)

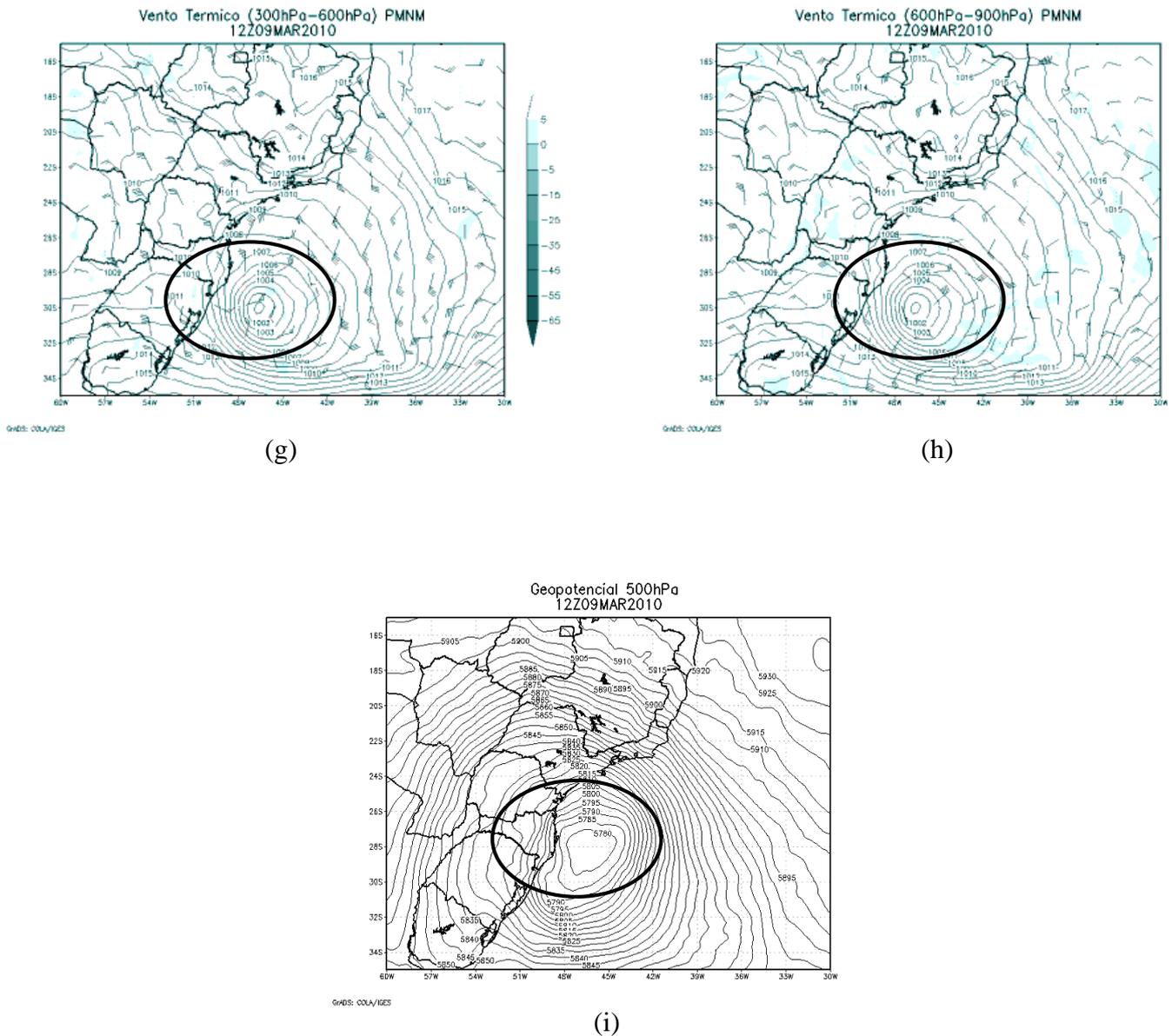
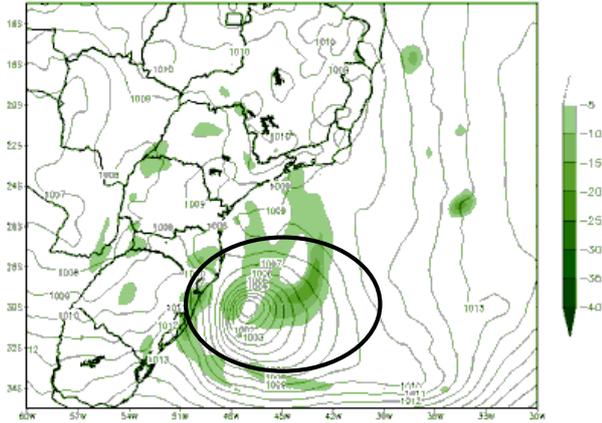


Figura 63: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 09/03/2010 às 12Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

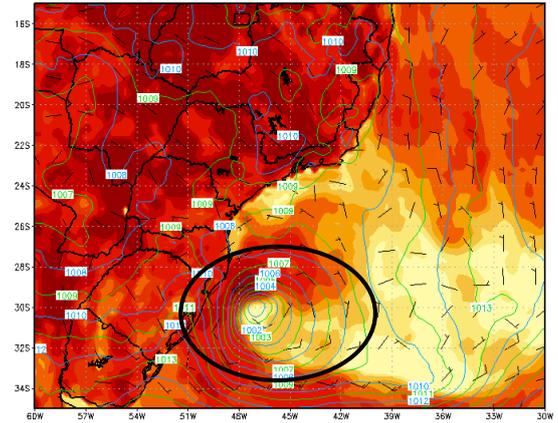
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
18Z09MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(a)

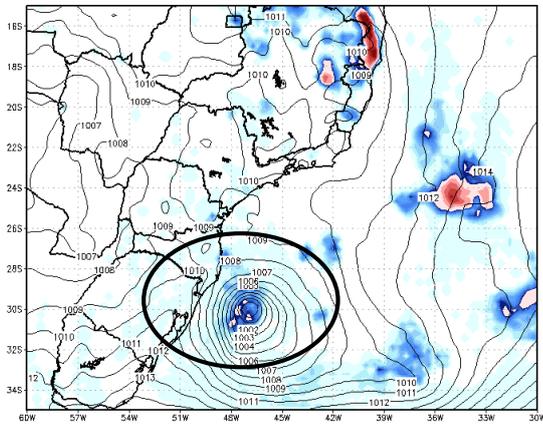
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 18Z09MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(b)

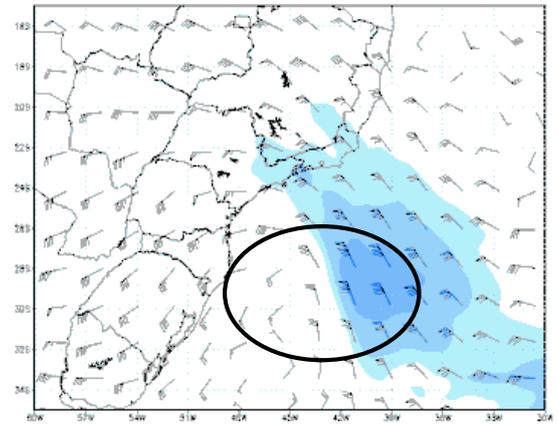
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
20Z09MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(c)

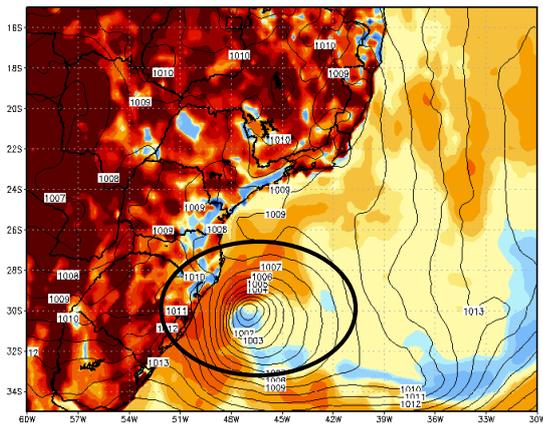
Vento 200hPa Kt 18Z09MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(d)

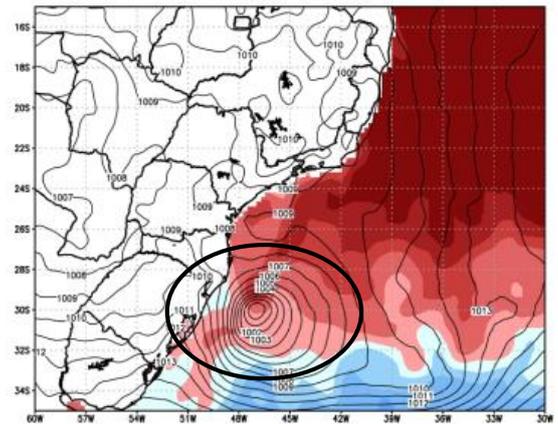
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
18Z09MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
18Z09MAR2010



GHRS: IGES/COLA

(f)

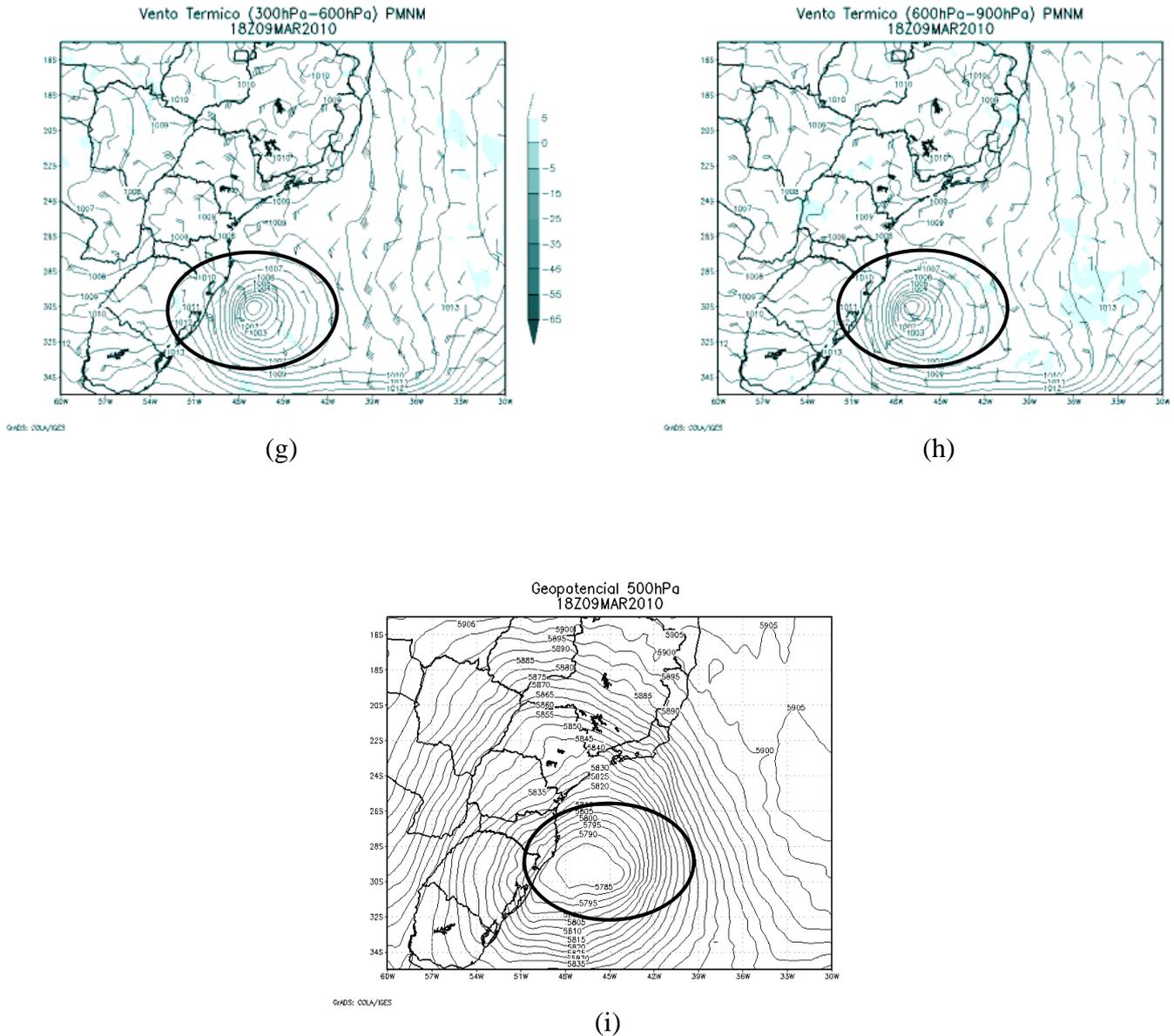
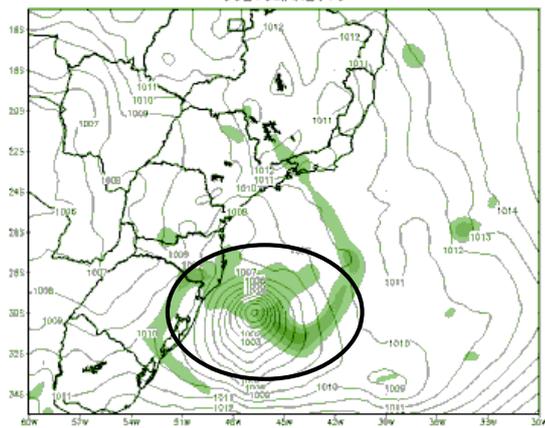


Figura 64: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 09/03/2010 às 18Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

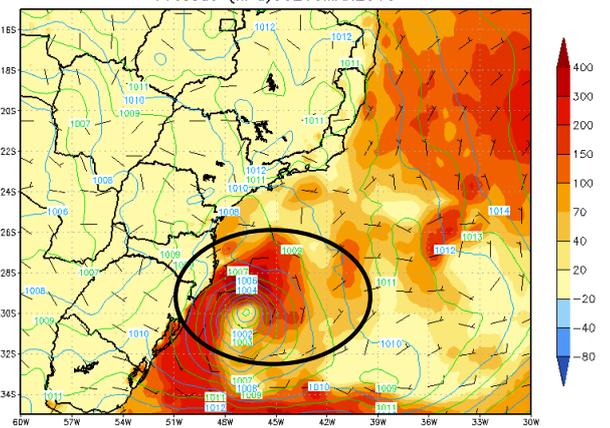
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNM (hPa)
00Z10MAR2010



GHEB: COLA/IGES

(a)

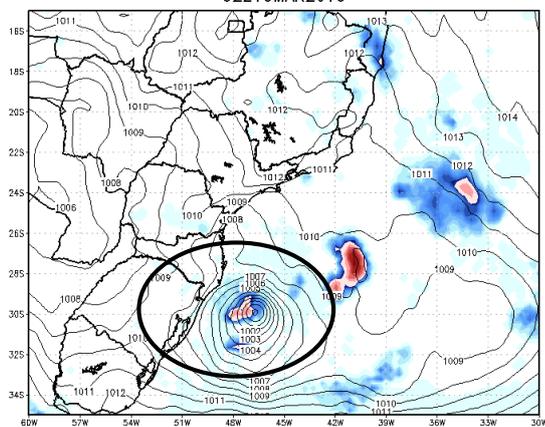
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 00Z10MAR2010



GHEB: COLA/IGES

(b)

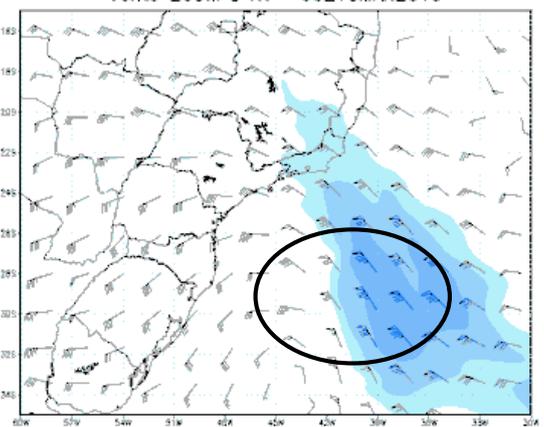
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
02Z10MAR2010



GHEB: COLA/IGES

(c)

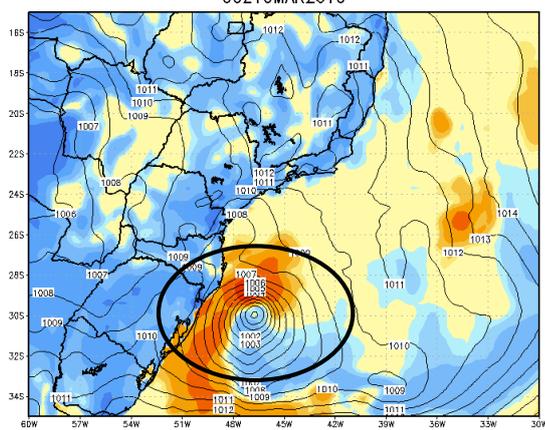
Vento 200hPa Kt 00Z10MAR2010



GHEB: COLA/IGES

(d)

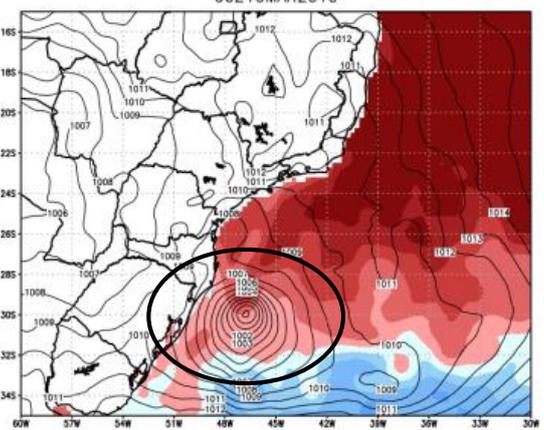
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
00Z10MAR2010



GHEB: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
00Z10MAR2010



GHEB: IGES/COLA

(f)

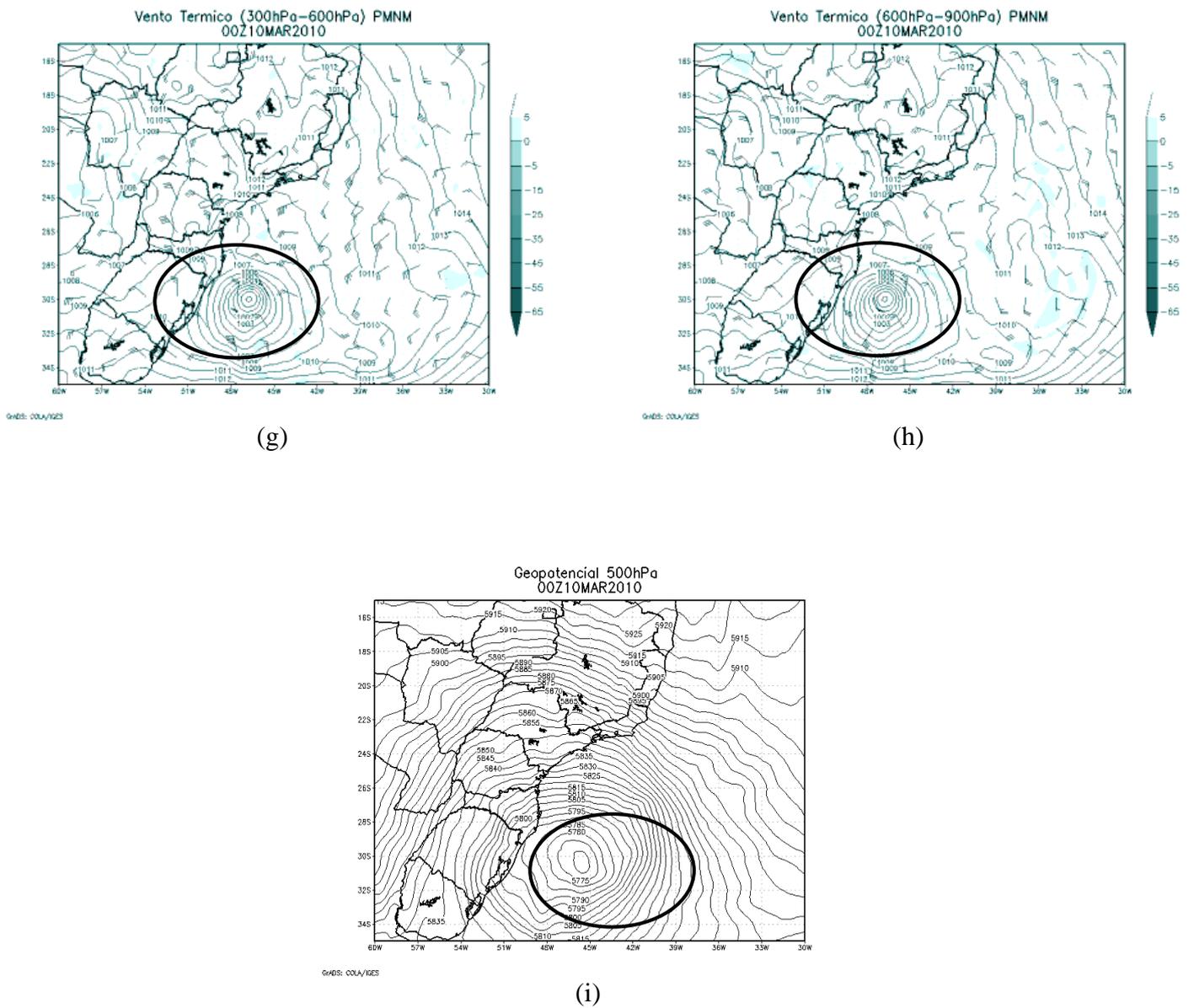
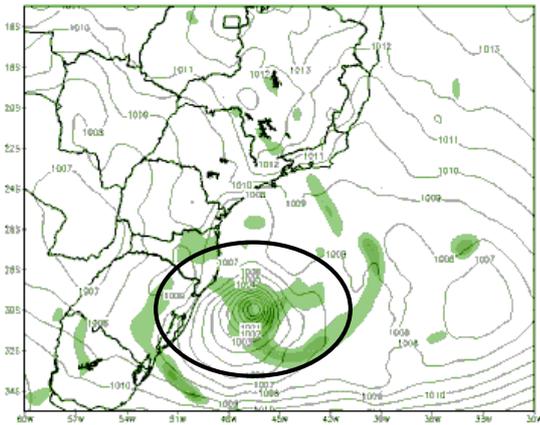


Figura 65: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 10/03/2010 às00Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

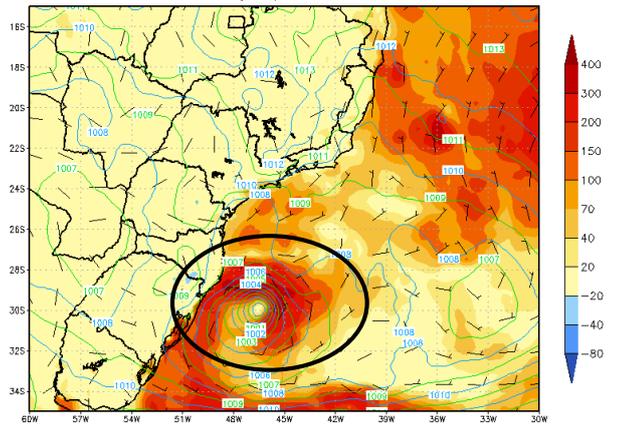
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNM (hPa)
06Z10MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(a)

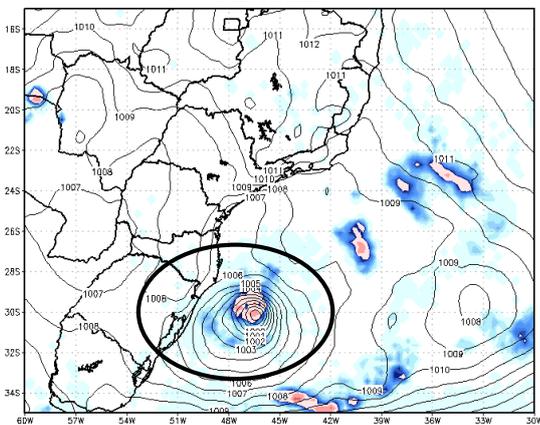
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 06Z10MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(b)

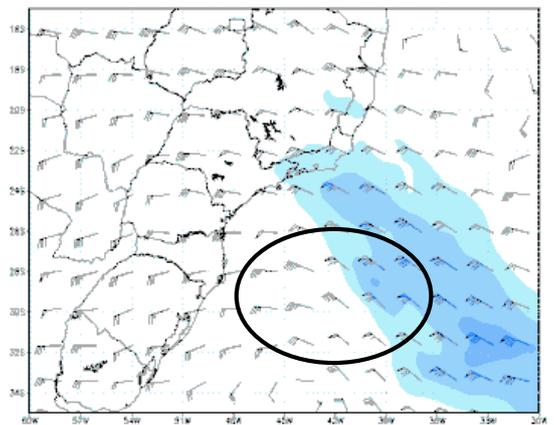
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
08Z10MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(c)

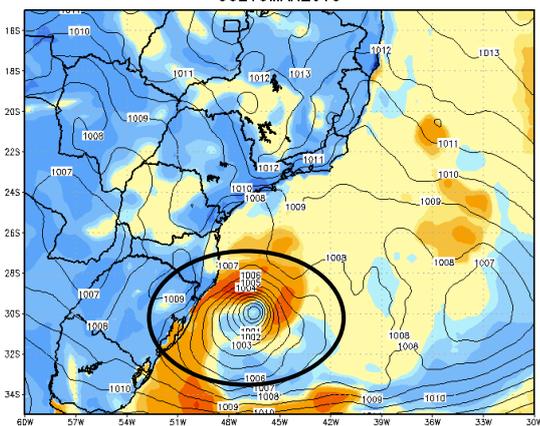
Vento 200hPa Kt 06Z10MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(d)

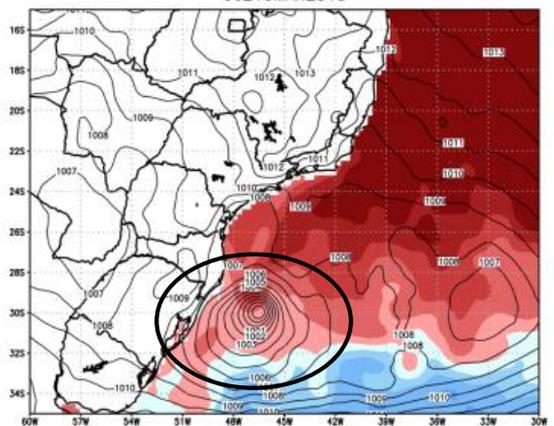
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
06Z10MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
06Z10MAR2010



GHD5: IGES/COLA

(f)

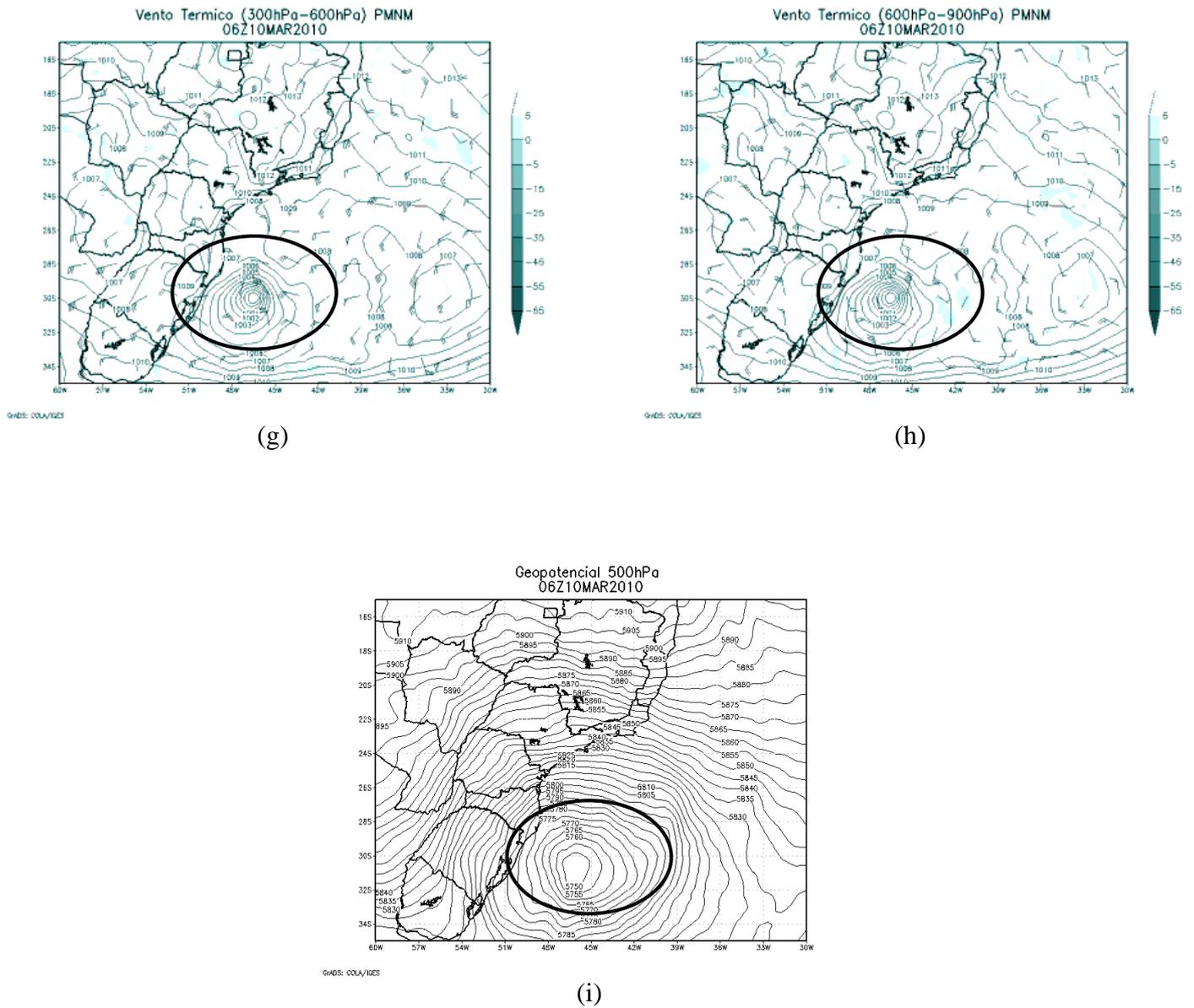
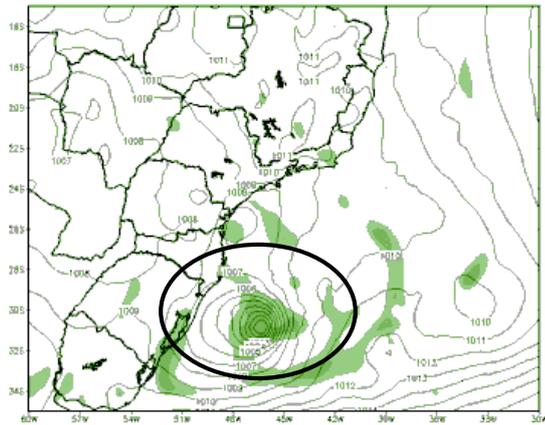


Figura 66: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 10/03/2010 às 06Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

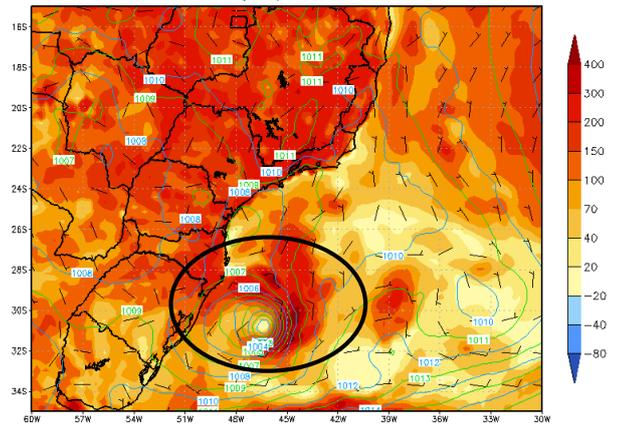
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNM (hPa)
12Z10MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(a)

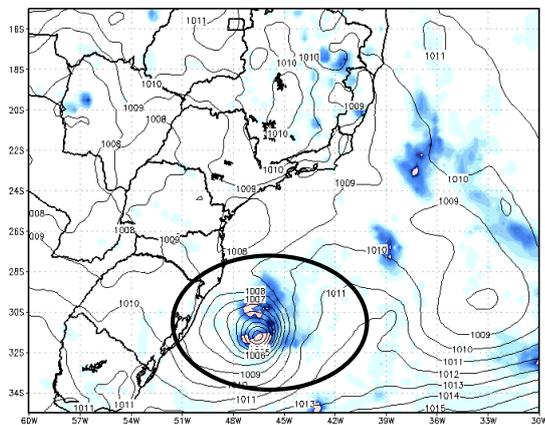
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 12Z10MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(b)

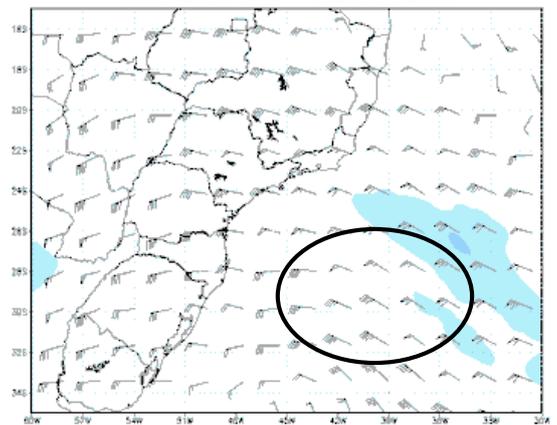
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
14Z10MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(c)

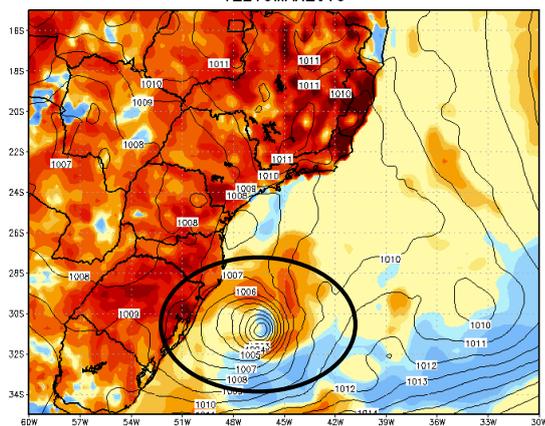
Vento 200hPa Kt 12Z10MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(d)

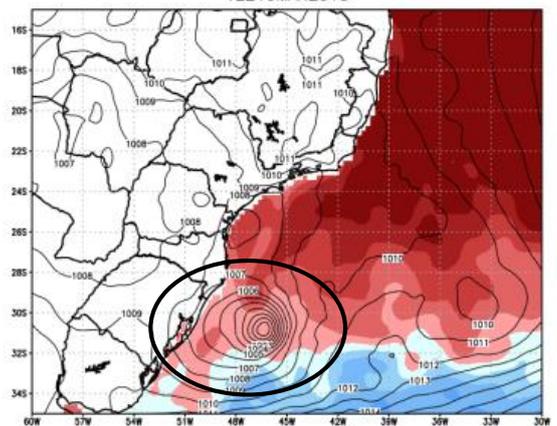
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
12Z10MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
12Z10MAR2010



GHD5: NIES/COLA

(f)

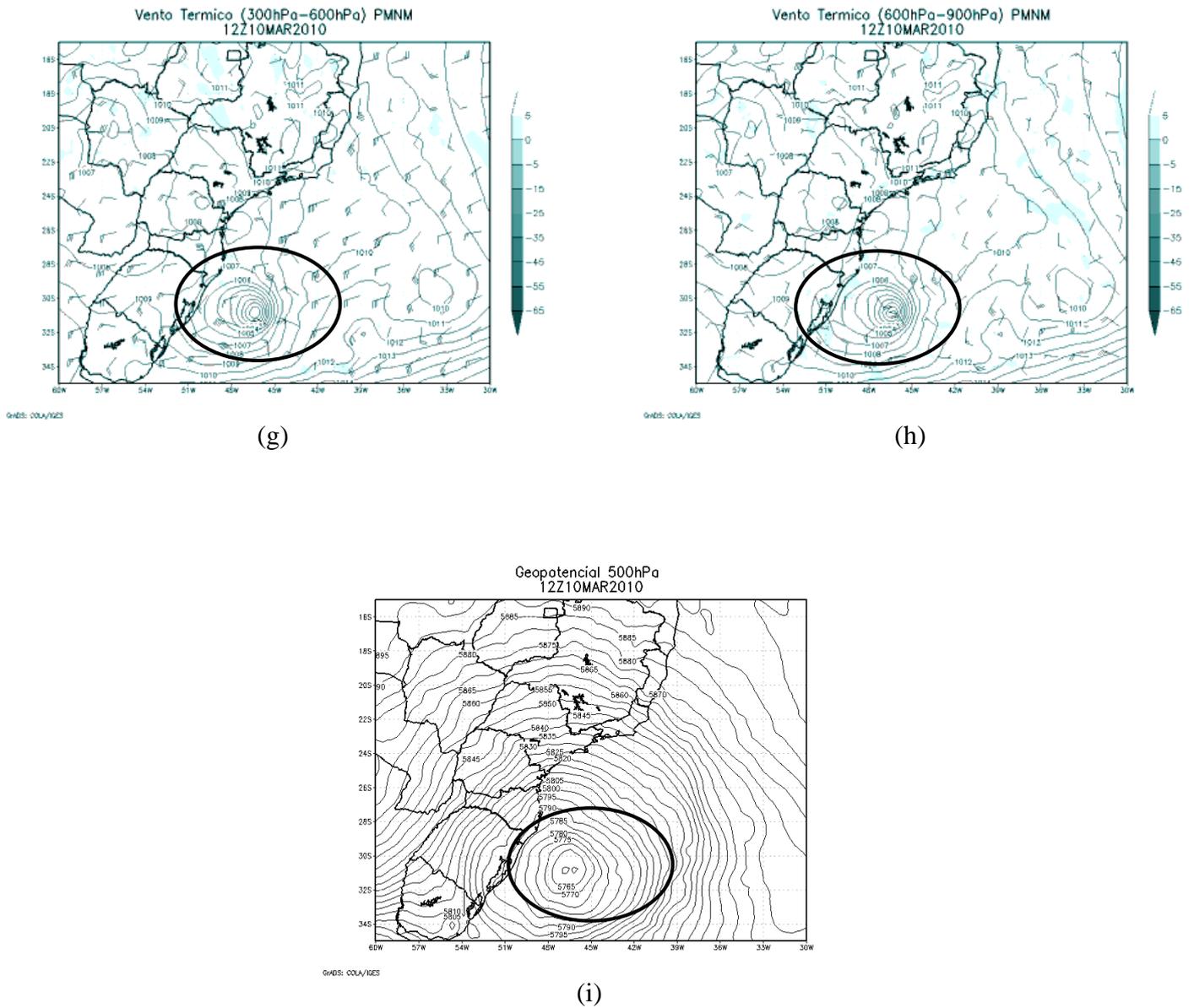
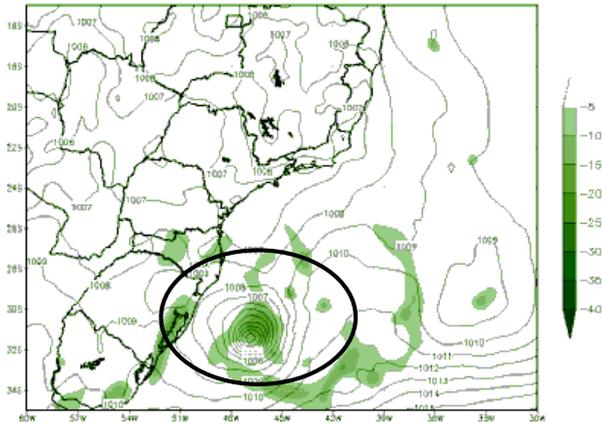


Figura 67: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 10/03/2010 às 12Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

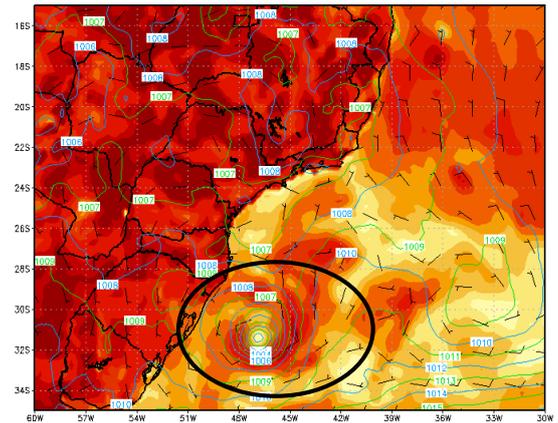
Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
18Z10MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(a)

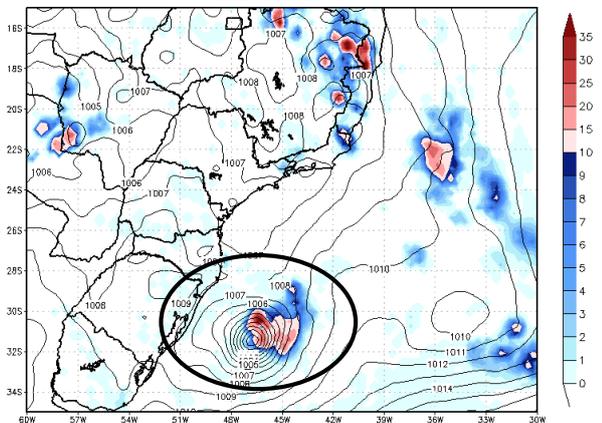
Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 18Z10MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(b)

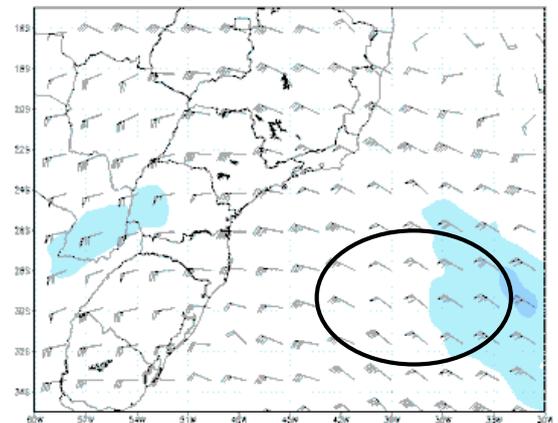
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
20Z10MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(c)

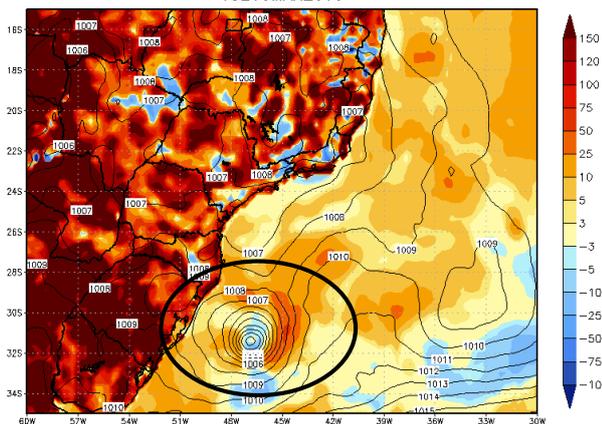
Vento 200hPa Kt 18Z10MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(d)

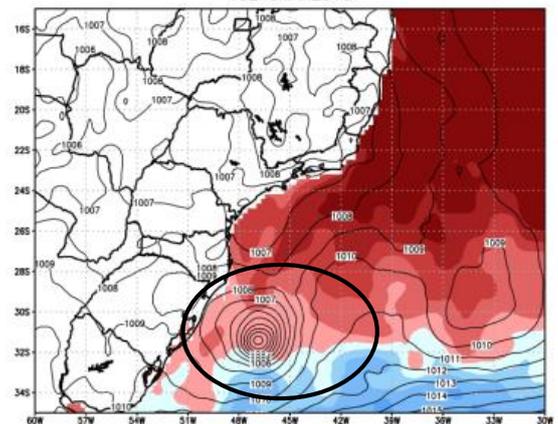
Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
18Z10MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
18Z10MAR2010



GHRS: IRES/COLA

(f)

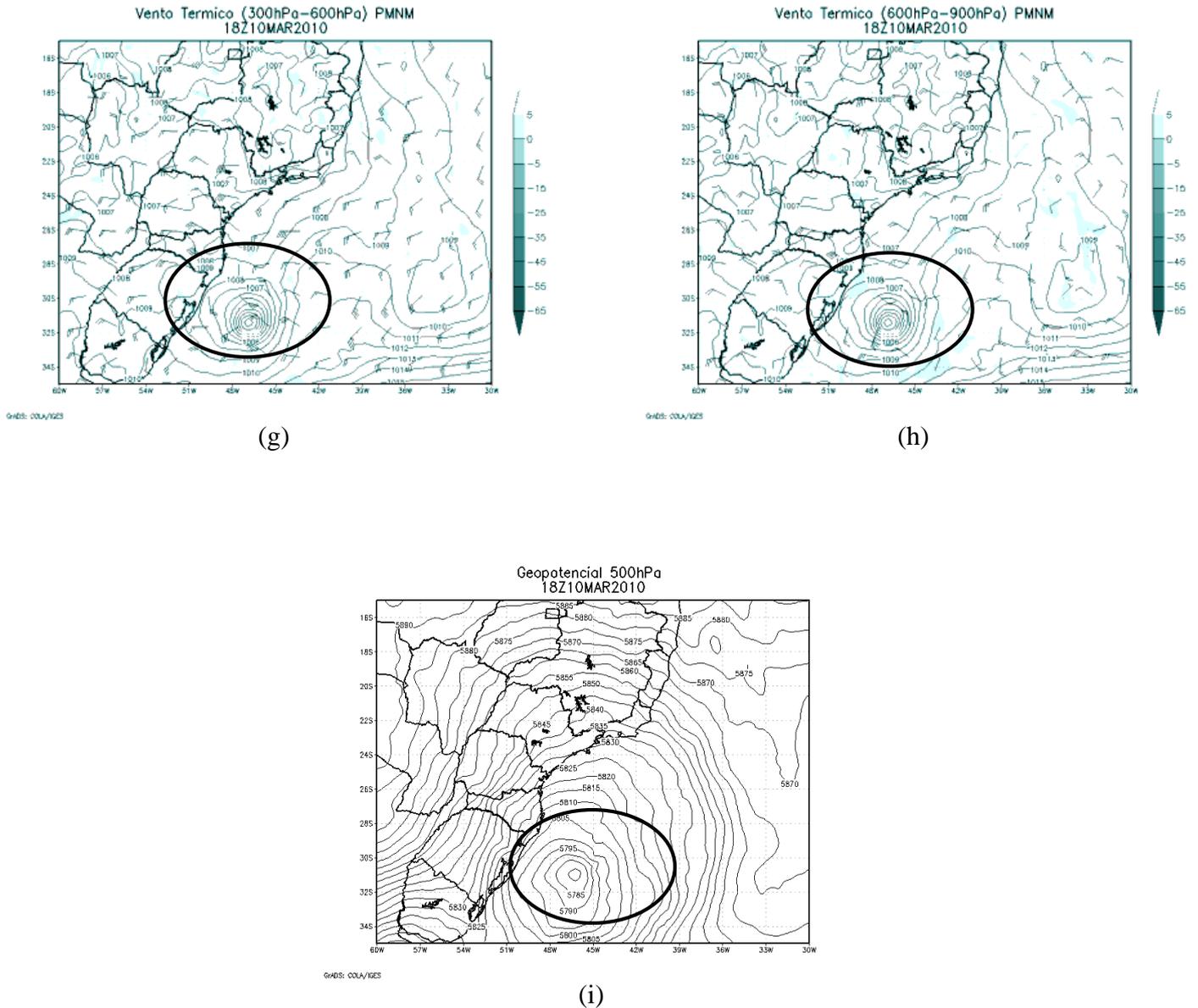
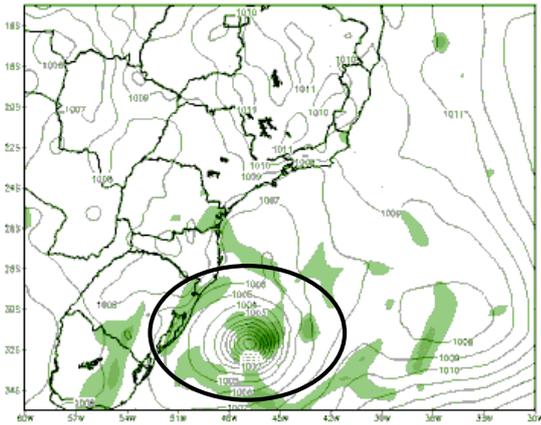


Figura 68: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 10/03/2010 às 18Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

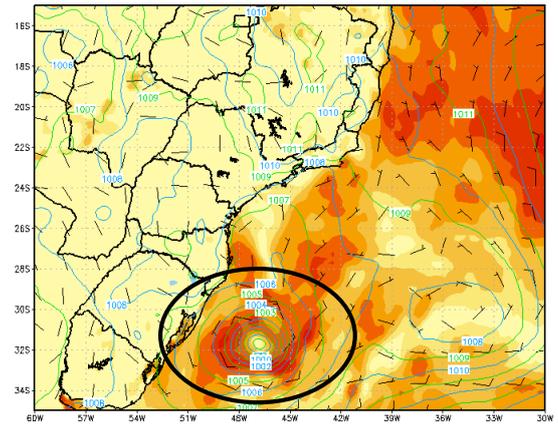
Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
00Z11MAR2010



Ghds: COLA/IGES

(a)

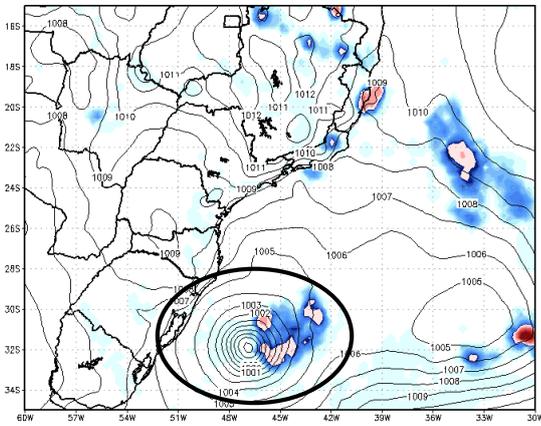
Lat. Heat Flux (Wm²) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 00Z11MAR2010



Ghds: COLA/IGES

(b)

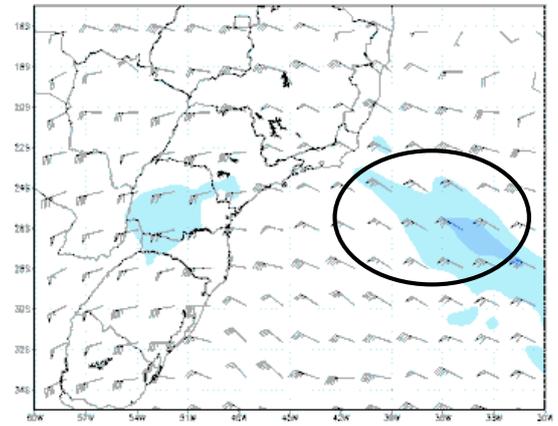
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
02Z11MAR2010



Ghds: COLA/IGES

(c)

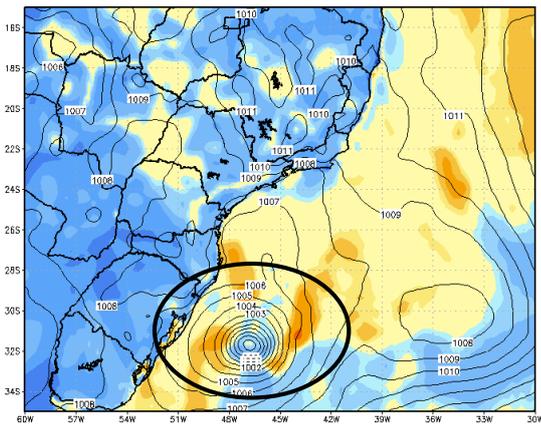
Vento 200hPa Kt 00Z11MAR2010



Ghds: COLA/IGES

(d)

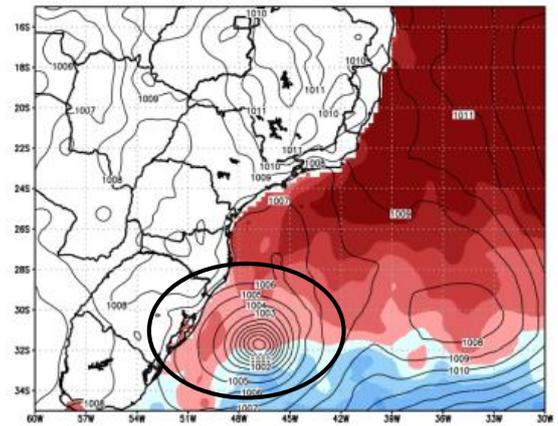
Sens. Heat Flux (Wm⁻²) + Pressao (hPa)
00Z11MAR2010



Ghds: COLA/IGES

(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
00Z11MAR2010



Ghds: IGES/COLA

(f)

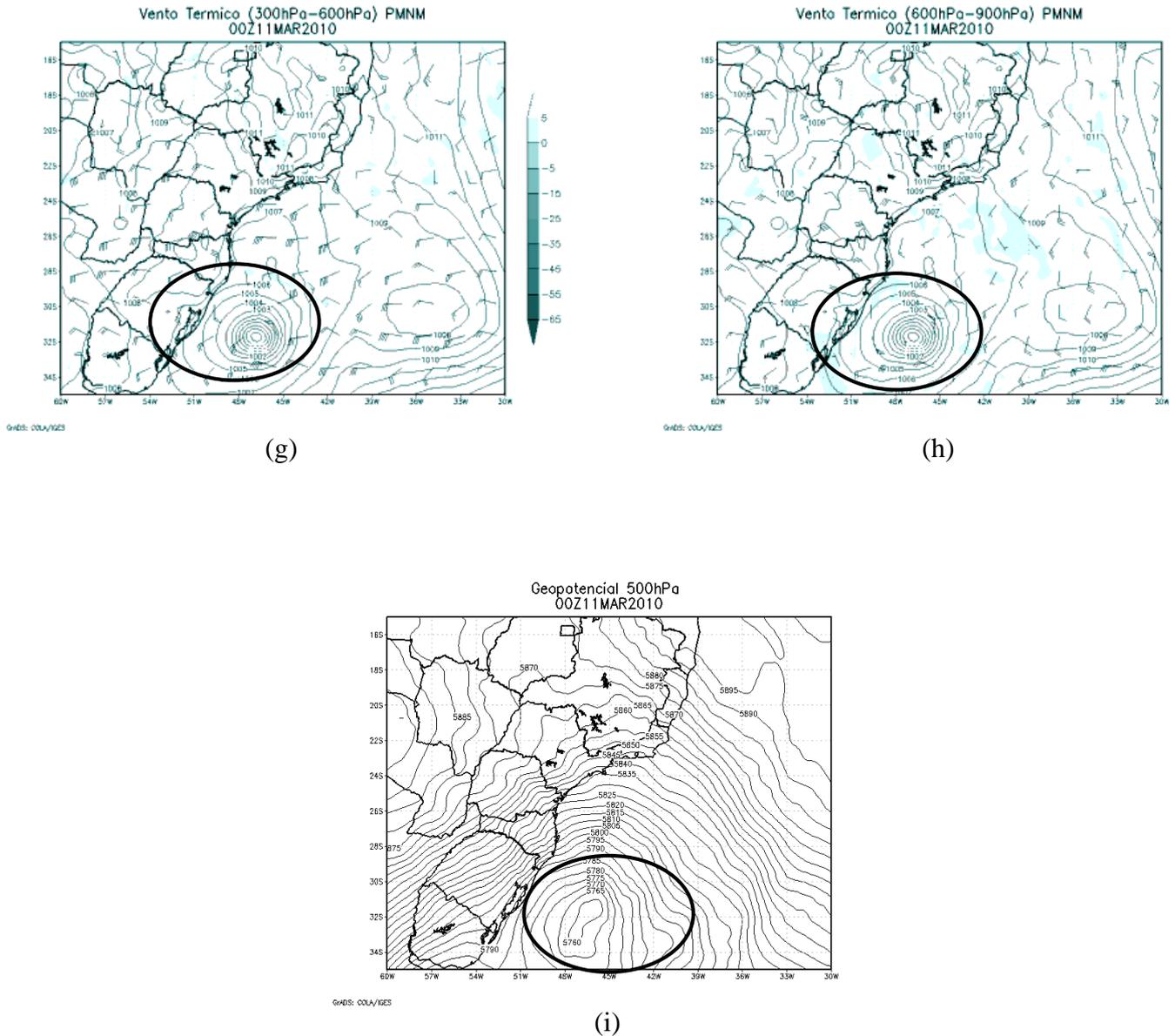
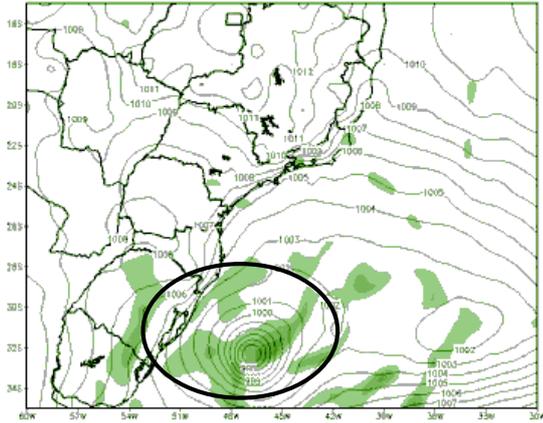


Figura 69: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 11/03/2010 às 00Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

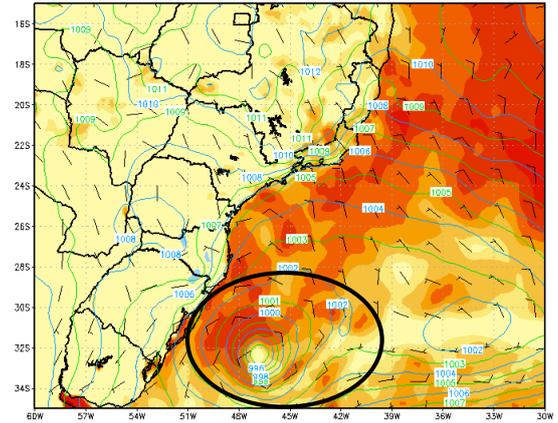
Vorticidade Absoluta 500 hPa (x10e05) & PNMM (hPa)
06Z11MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(a)

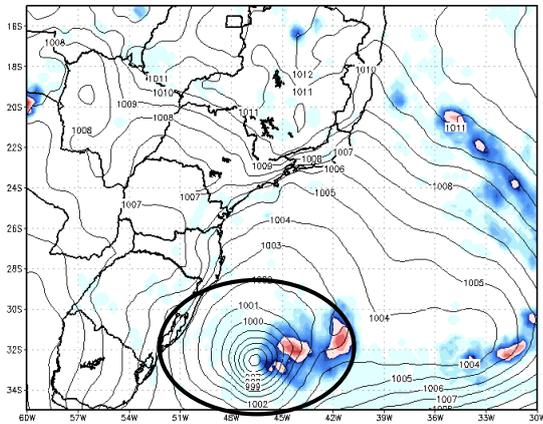
Lat. Heat Flux (Wm2)+ Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa)06Z11MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(b)

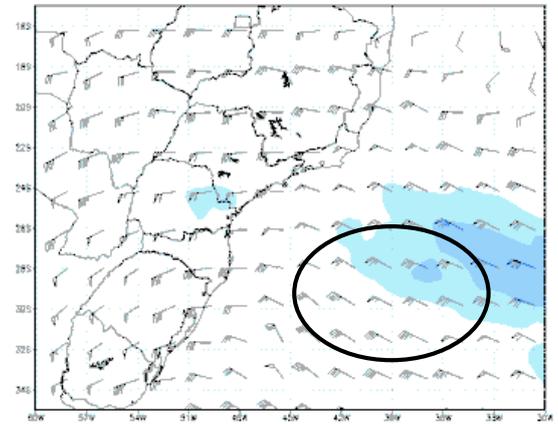
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
08Z11MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(c)

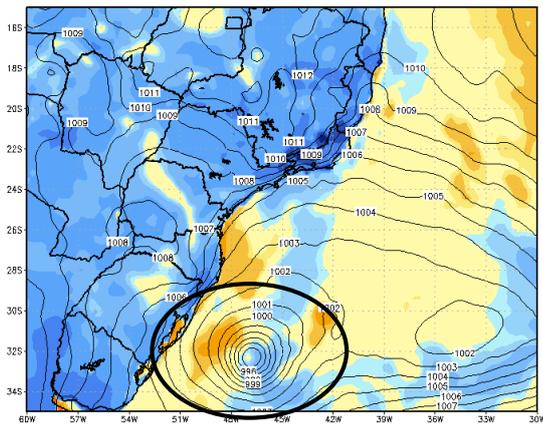
Vento 200hPa Kt 06Z11MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(d)

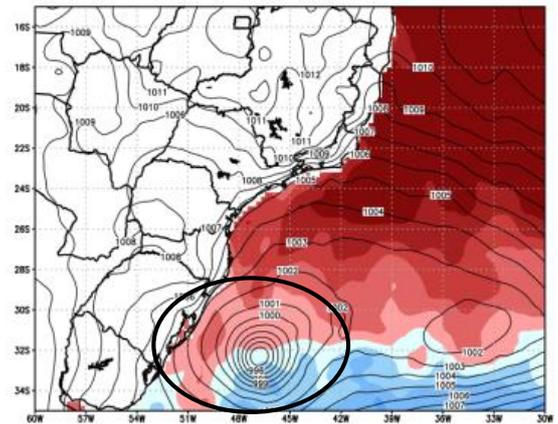
Sens. Heat Flux (Wm-2)+ Pressao (hPa)
06Z11MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(e)

TSM (°C) & Pressao (hPa)
06Z11MAR2010



GHRS: IGES/COLA

(f)

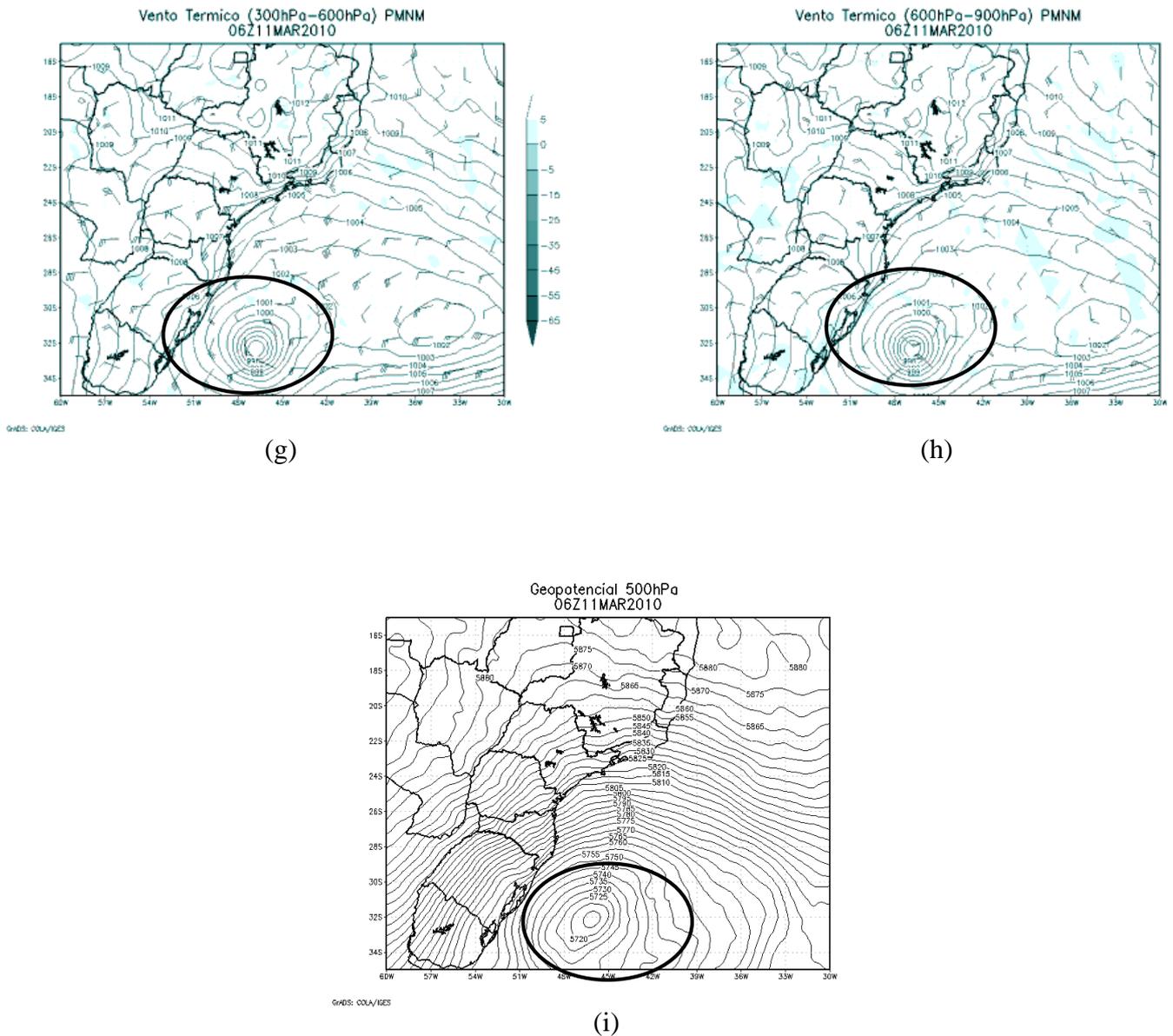
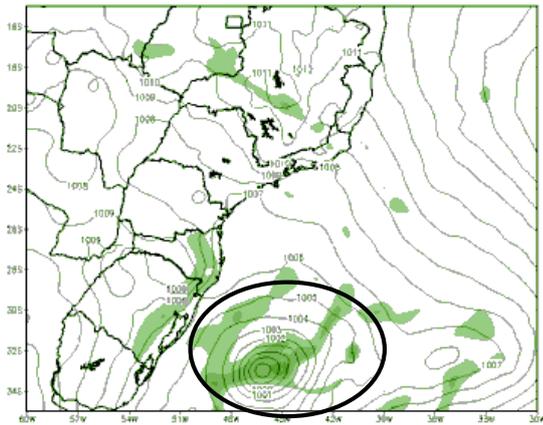


Figura 70: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 11/03/2010 às 06Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

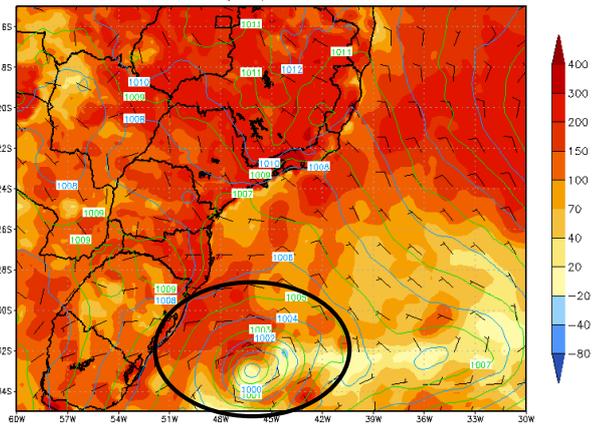
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNM (hPa)
12Z11MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(a)

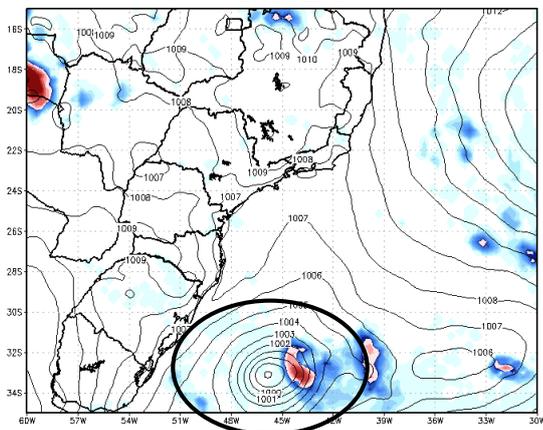
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 12Z11MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(b)

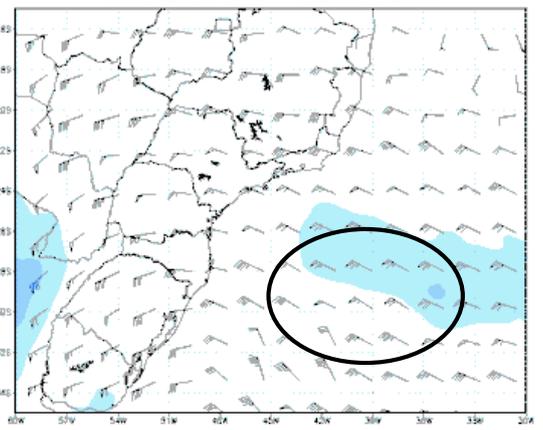
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
14Z11MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(c)

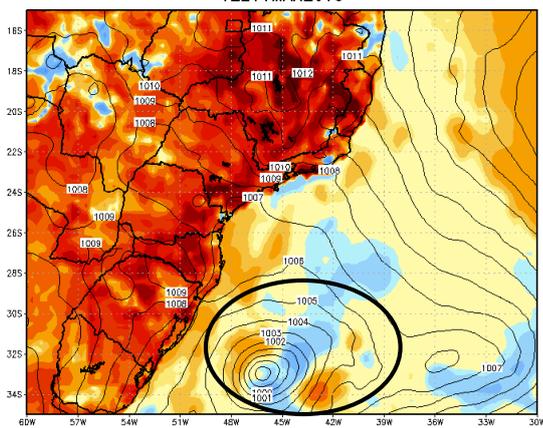
Vento 200hPa Kt 12Z11MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(d)

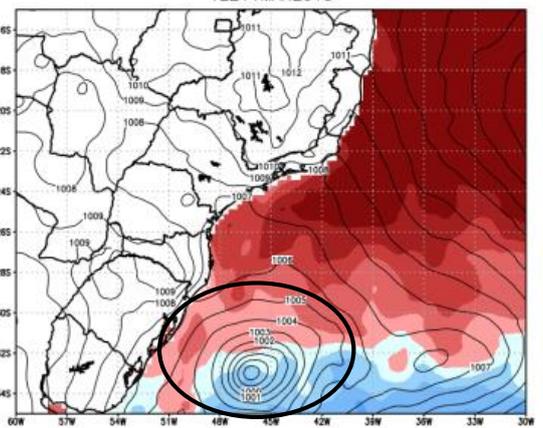
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
12Z11MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
12Z11MAR2010



GHD5: IRES/COLA

(f)

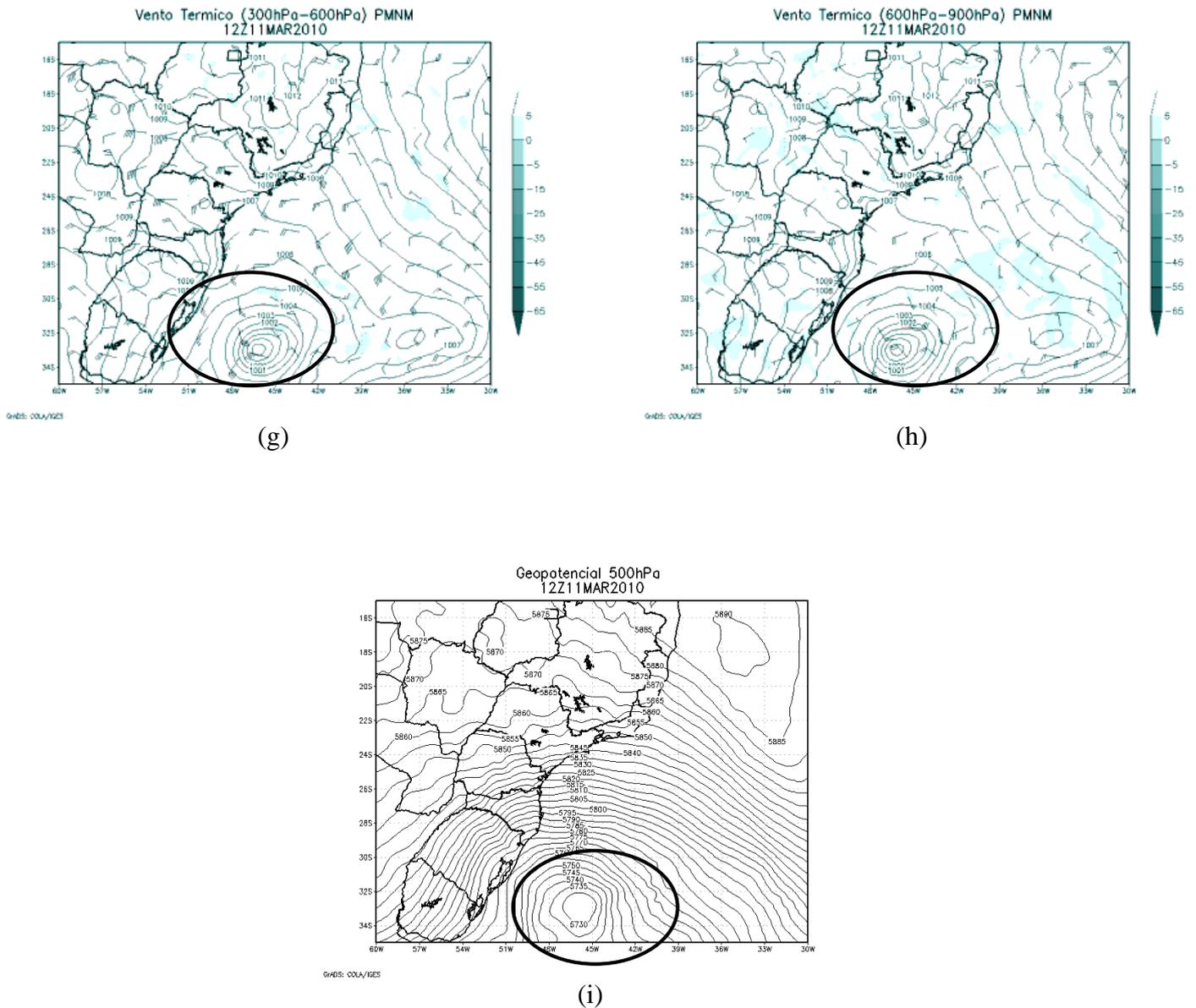
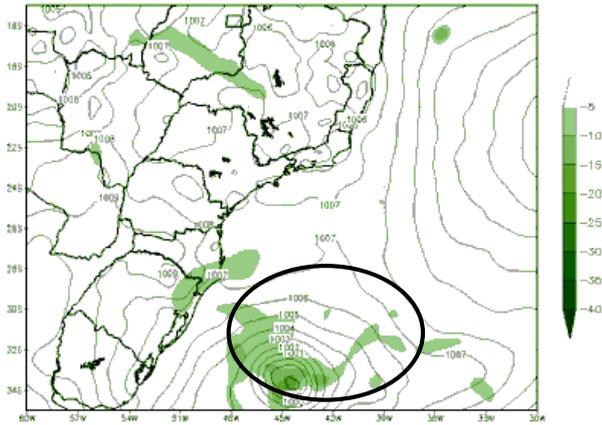


Figura 71: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 11/03/2010 às 12Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

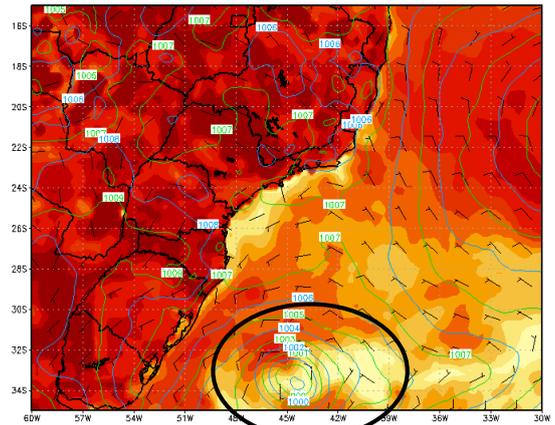
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNMM (hPa)
18Z11MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(a)

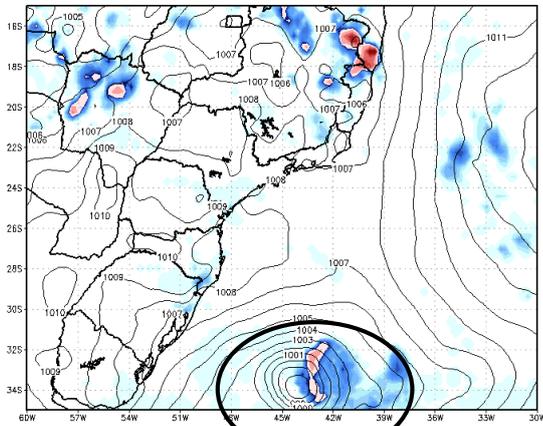
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 18Z11MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(b)

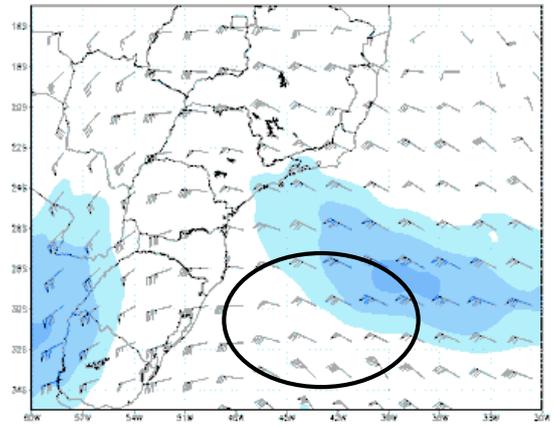
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
20Z11MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(c)

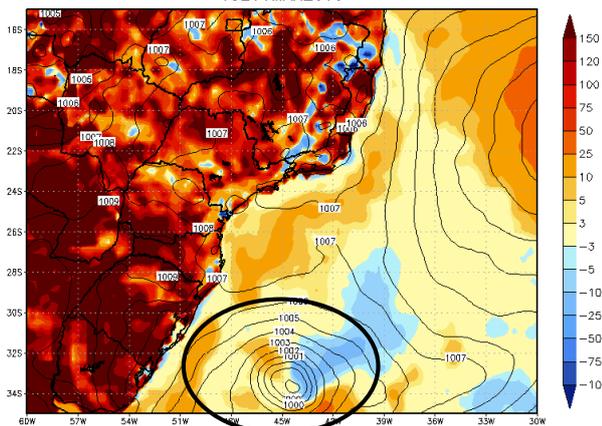
Vento 200hPa Kt 18Z11MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(d)

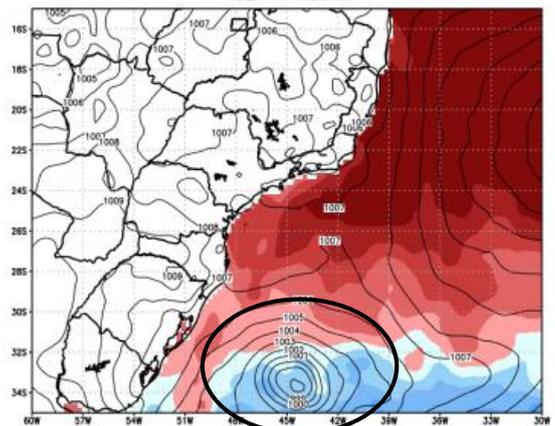
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
18Z11MAR2010



GHRS: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
18Z11MAR2010



GHRS: IRES/COLA

(f)

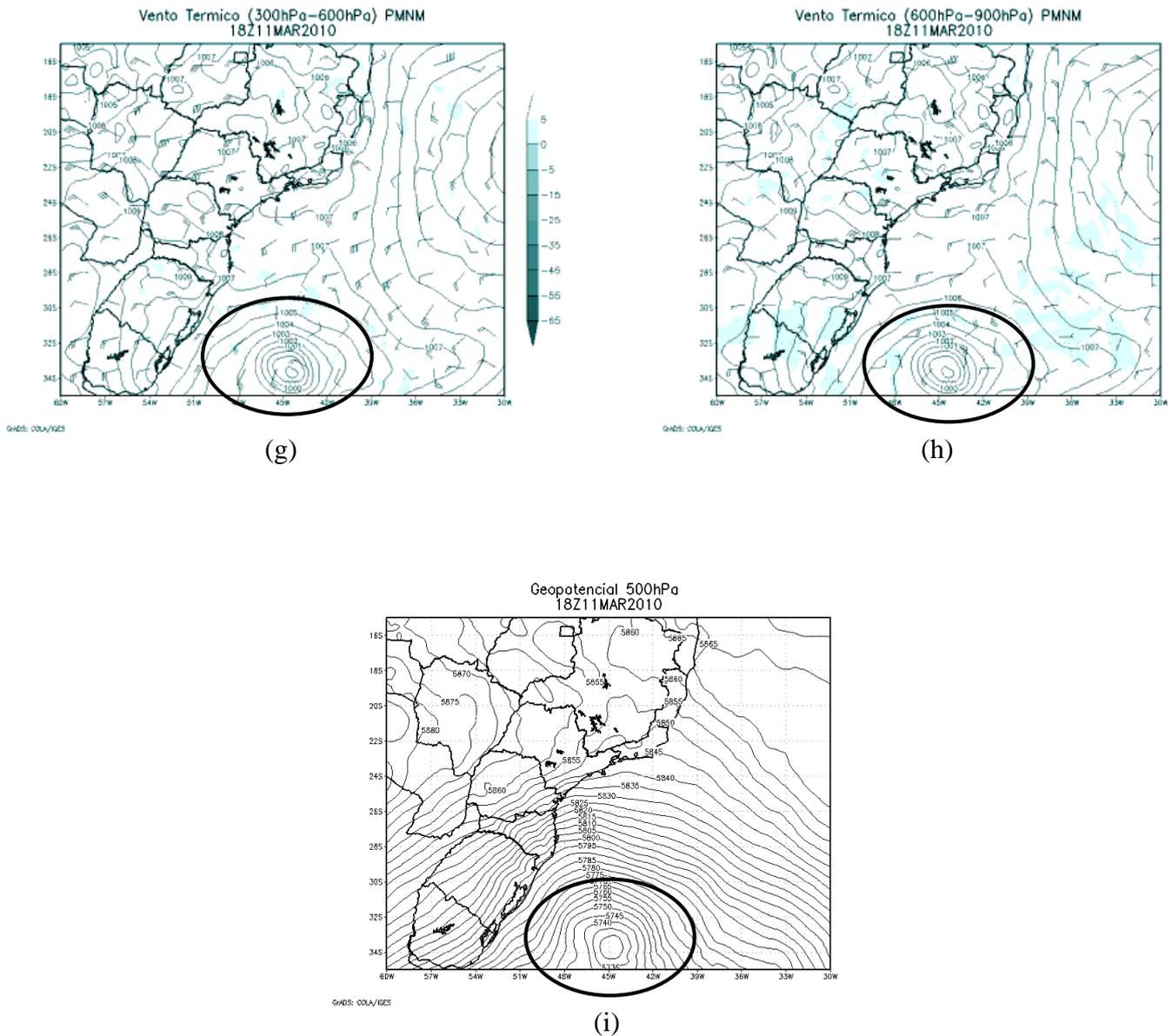
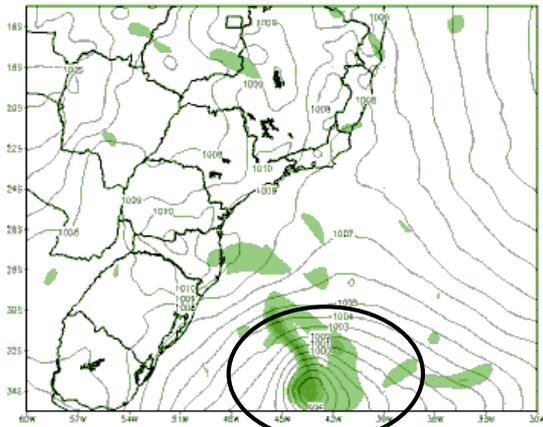


Figura 72: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 11/03/2010 às 18Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

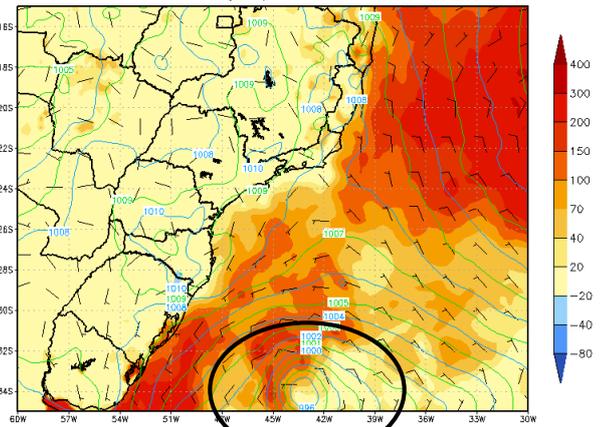
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^5$) & PNM (hPa)
00Z12MAR2010



GMD: COLA/IGES

(a)

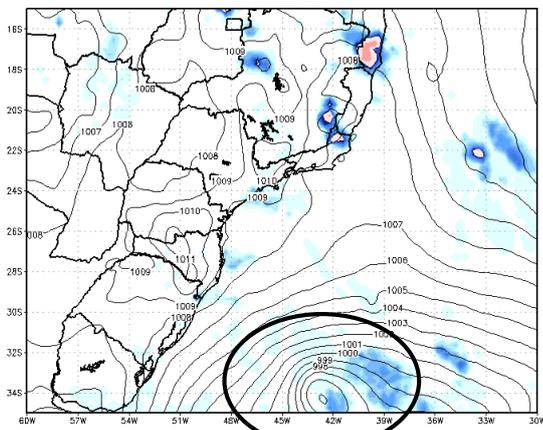
Lat. Heat Flux (Wm^{-2}) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 00Z12MAR2010



GMD: COLA/IGES

(b)

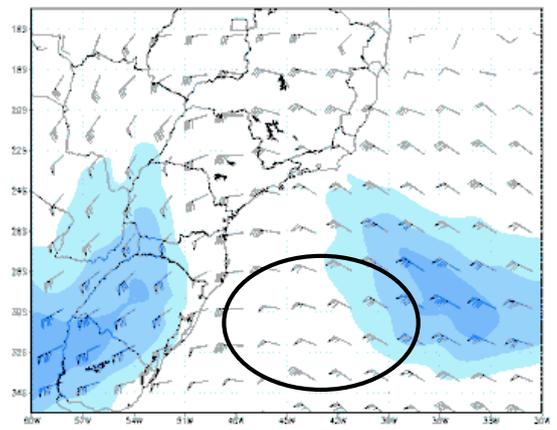
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
02Z12MAR2010



GMD: COLA/IGES

(c)

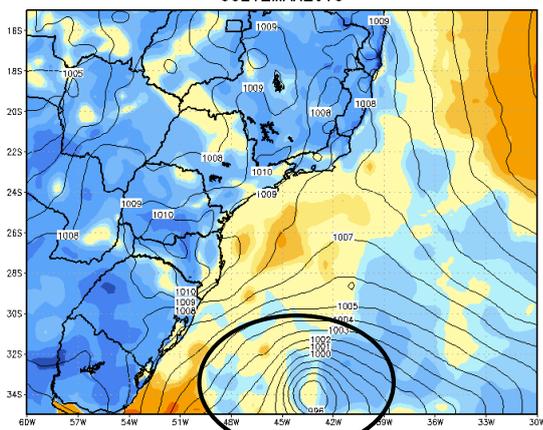
Vento 200hPa Kt 00Z12MAR2010



GMD: COLA/IGES

(d)

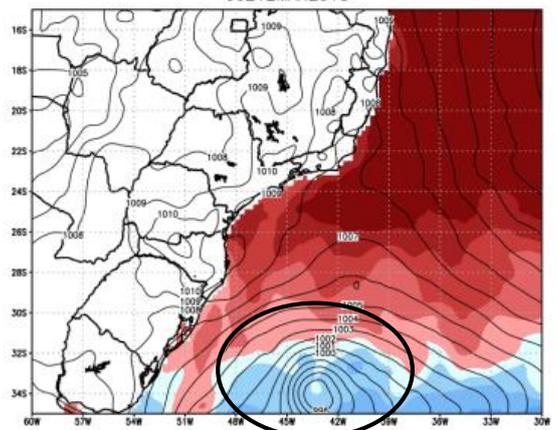
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
00Z12MAR2010



GMD: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
00Z12MAR2010



GMD: IIES/COLA

(f)

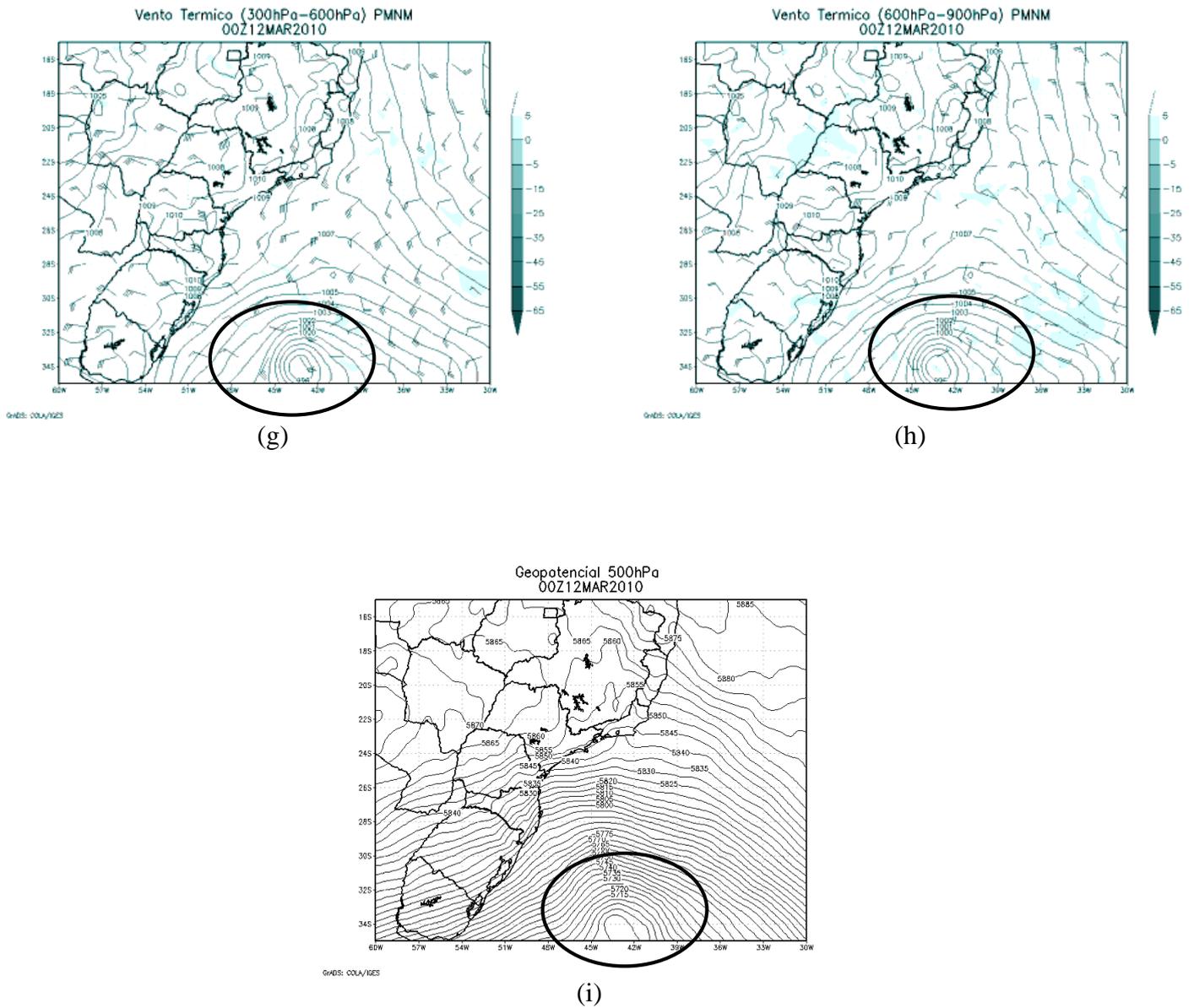
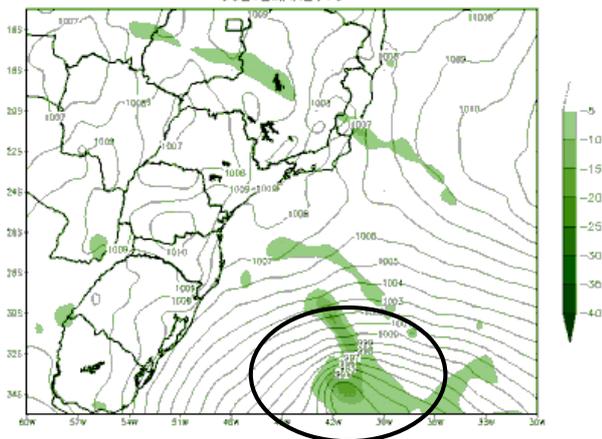


Figura 73: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 12/03/2010 às 00Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

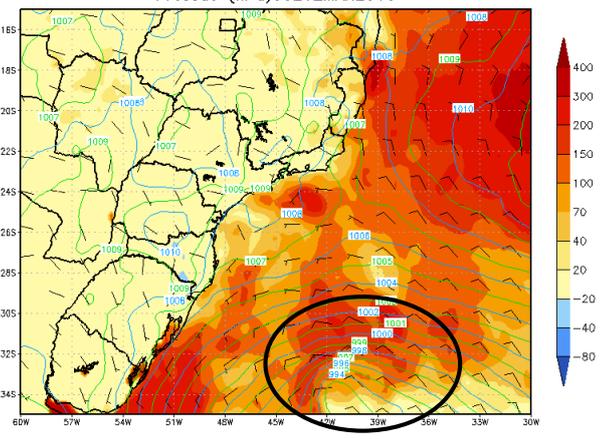
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNMM (hPa)
06Z12MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(a)

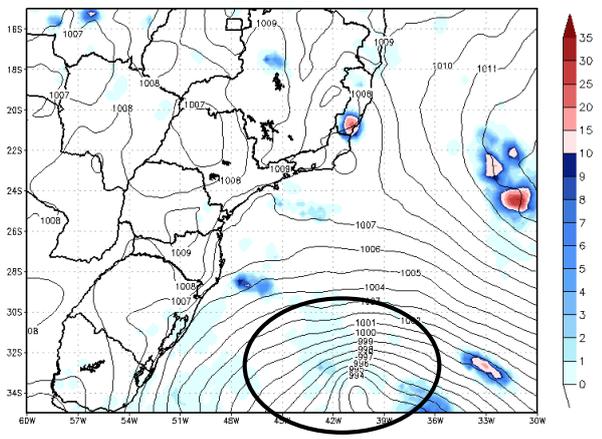
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 06Z12MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(b)

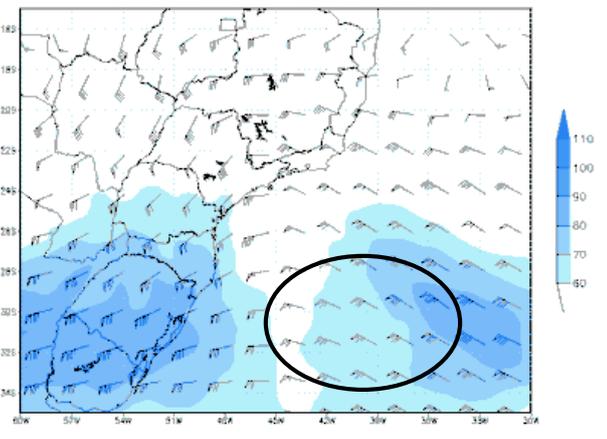
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
08Z12MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(c)

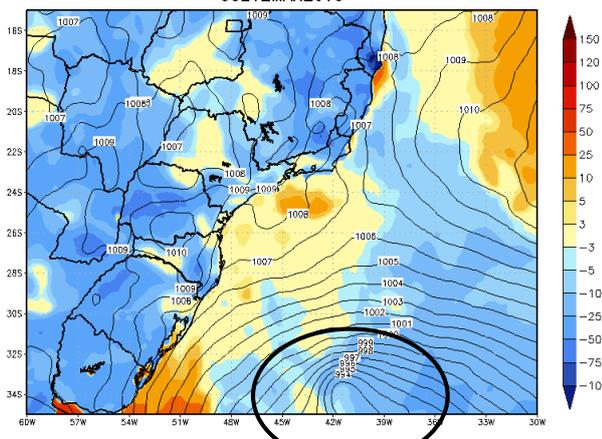
Vento 200hPa Kt 06Z12MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(d)

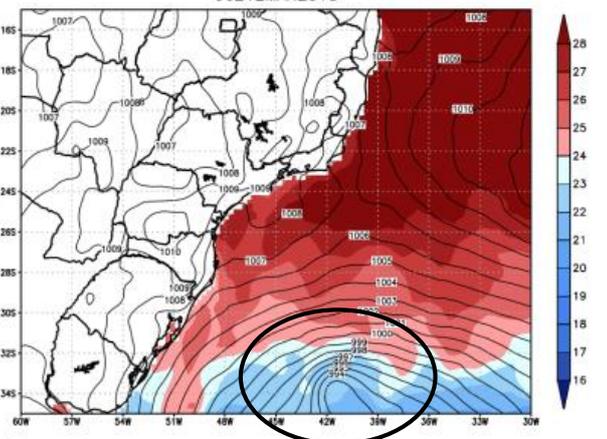
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
06Z12MAR2010



GHD5: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
06Z12MAR2010



GHD5: IIES/COLA

(f)

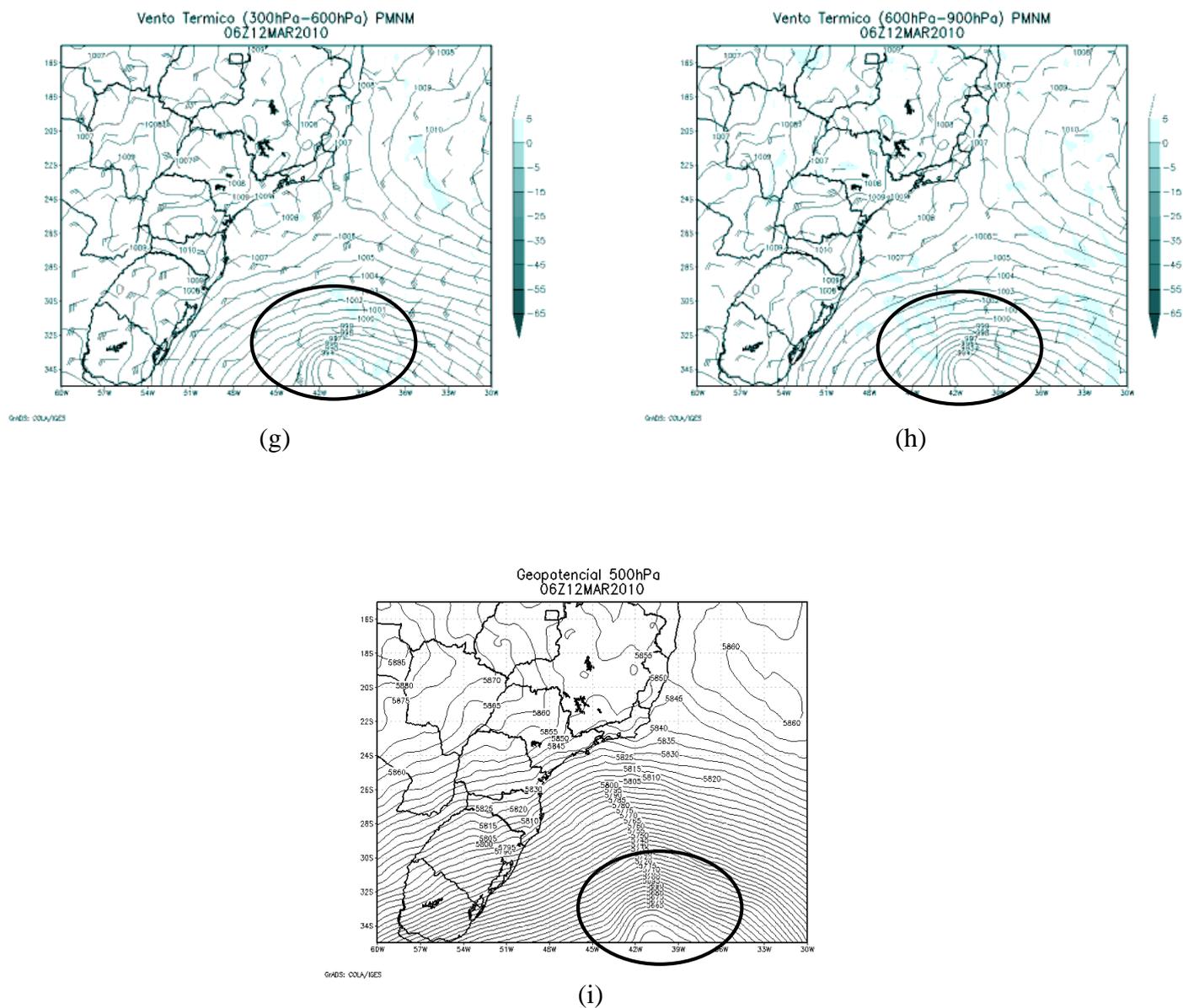
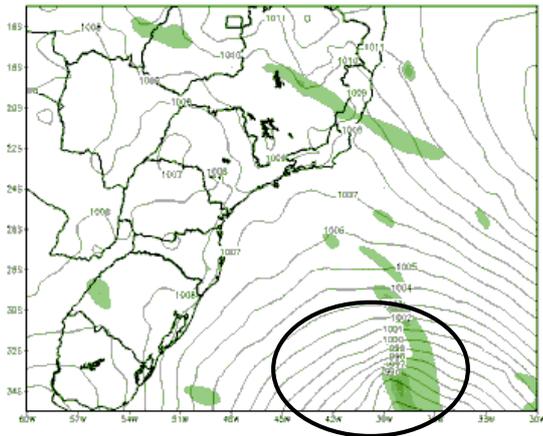


Figura 74: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 12/03/2010 às 06Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

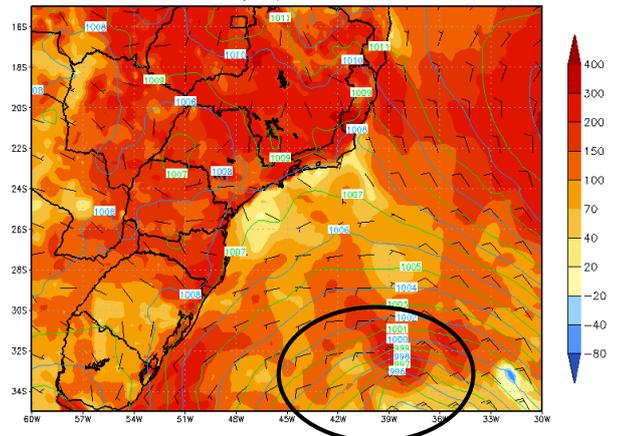
Vorticidade Absoluta 500 hPa ($\times 10^6$) & PNMM (hPa)
12Z12MAR2010



GHEB: COLA/IGES

(a)

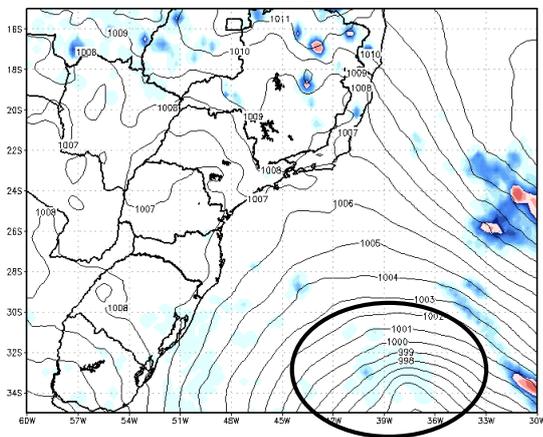
Lat. Heat Flux (Wm^2) + Wind 10 m (KT) +
Pressao (hPa) 12Z12MAR2010



GHEB: COLA/IGES

(b)

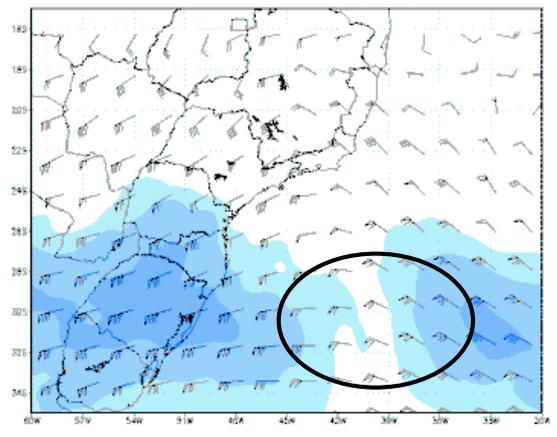
Acum. Precipitation 3h (mm) + Pressao (hPa)
14Z12MAR2010



GHEB: COLA/IGES

(c)

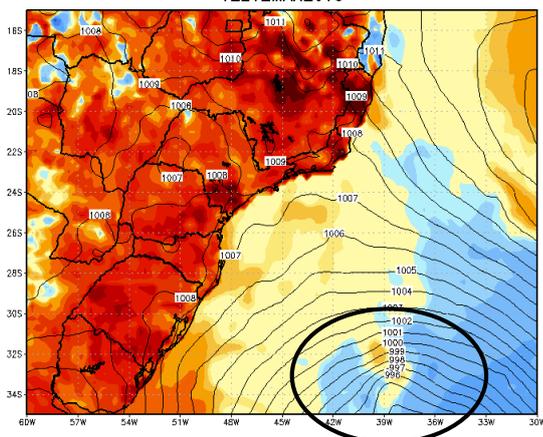
Vento 200hPa Kt 12Z12MAR2010



GHEB: COLA/IGES

(d)

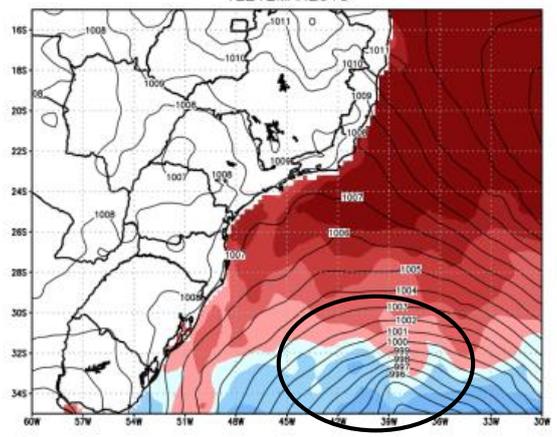
Sens. Heat Flux (Wm^{-2}) + Pressao (hPa)
12Z12MAR2010



GHEB: COLA/IGES

(e)

TSM ($^{\circ}C$) & Pressao (hPa)
12Z12MAR2010



GHEB: IGES/COLA

(f)

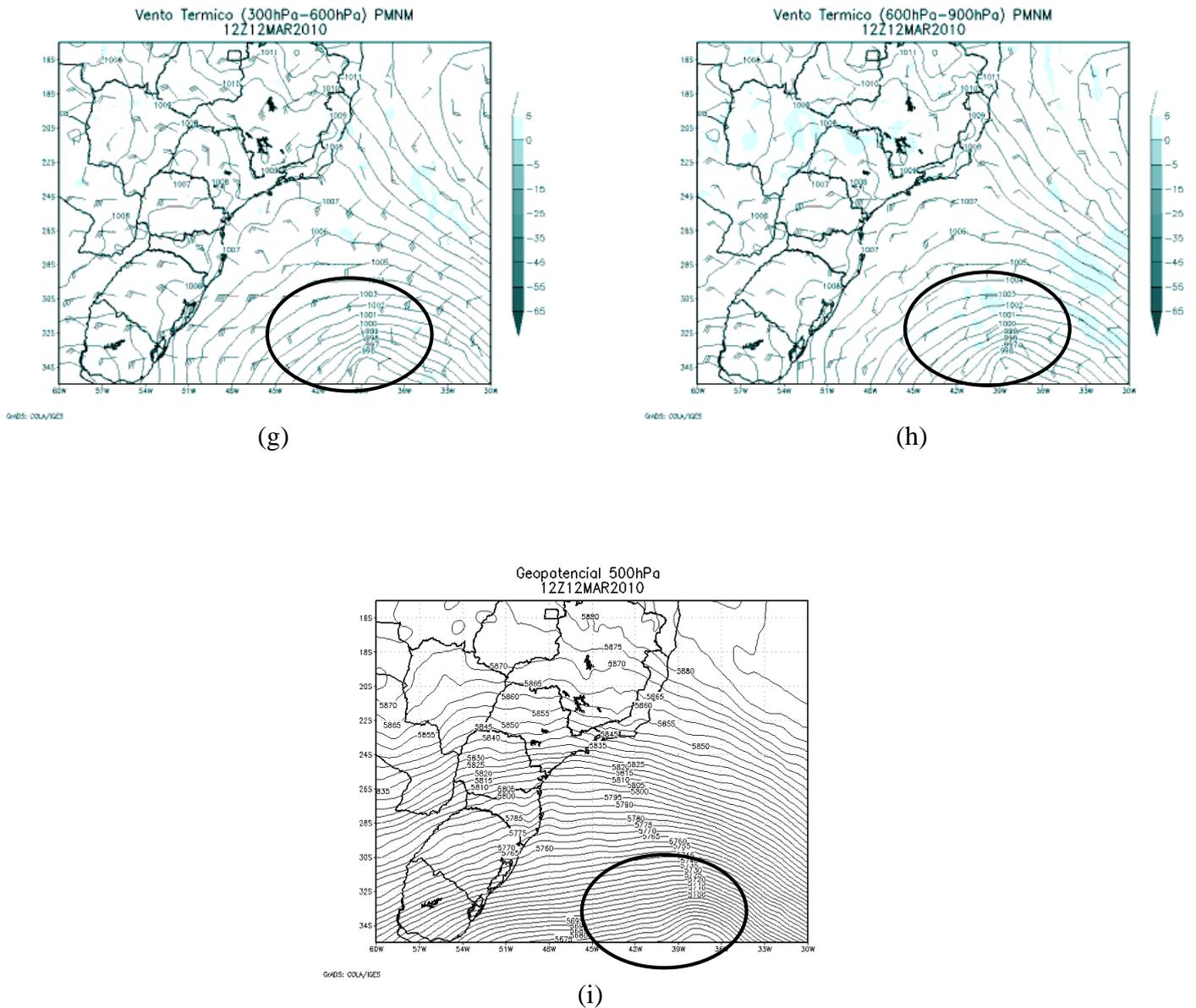


Figura 75: Resultados obtidos através do modelo SRDAS para o dia 12/03/2010 às 12Z (a) Advecção de vorticidade absoluta e pressão ao nível médio do mar, (b) Fluxo de calor latente, vento a 10 metros e pressão ao nível médio do mar, (c) Precipitação acumulada em 3 horas, (d) Vento em 200 hPa, (e) Fluxo de calor sensível e pressão ao nível médio do mar, (f) TSM e pressão ao nível médio do mar, (g) Vento térmico na camada 300-600 hPa, (h) Vento térmico na camada 600-900 hPa e (i) Geopotencial em 500 hPa. Fonte: Próprio.

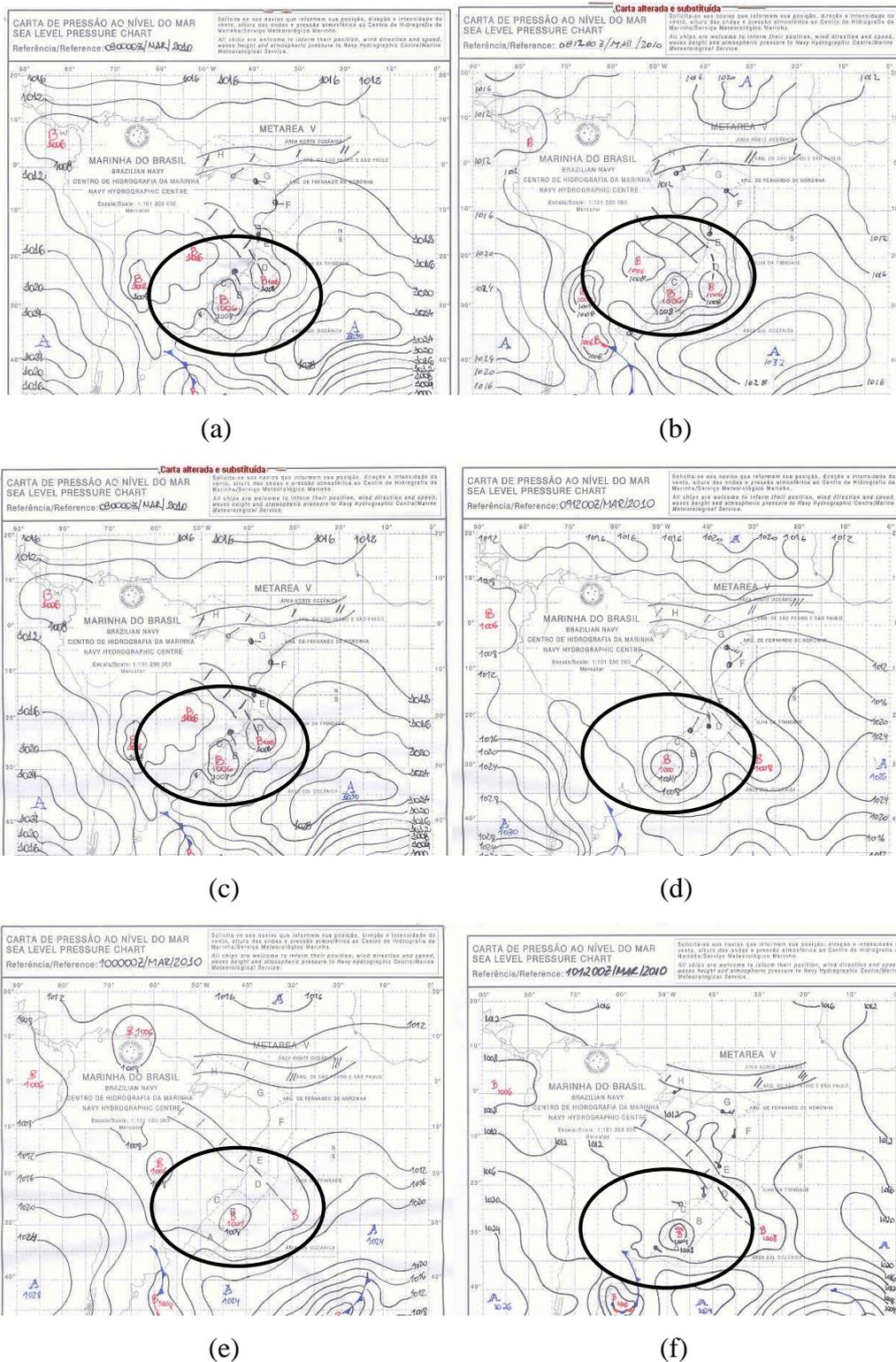
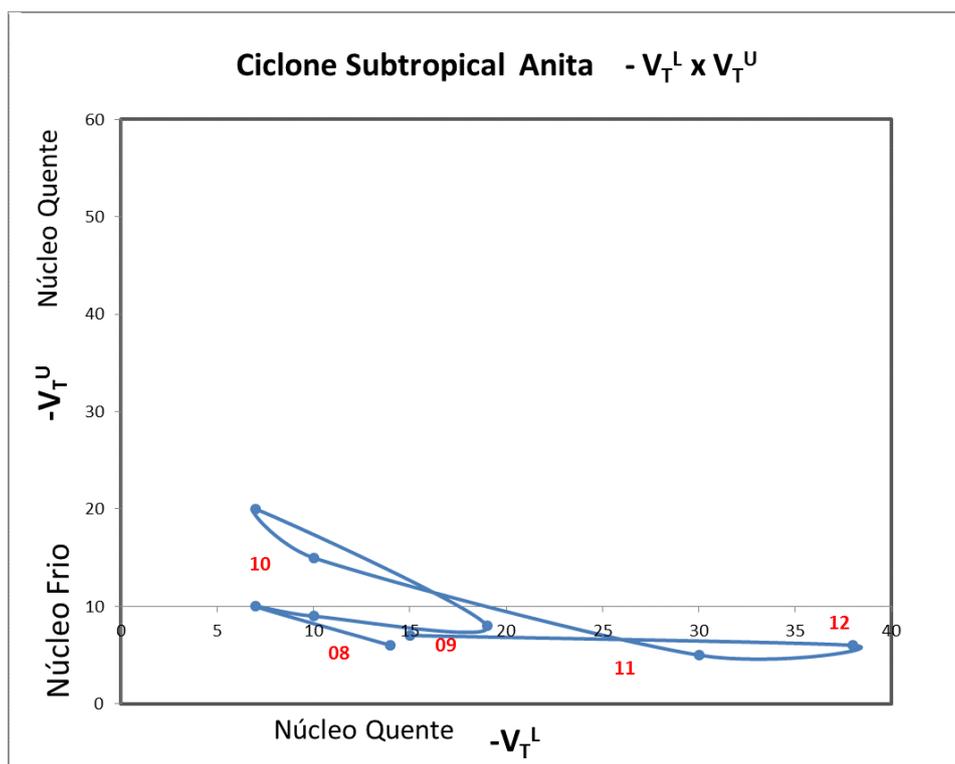
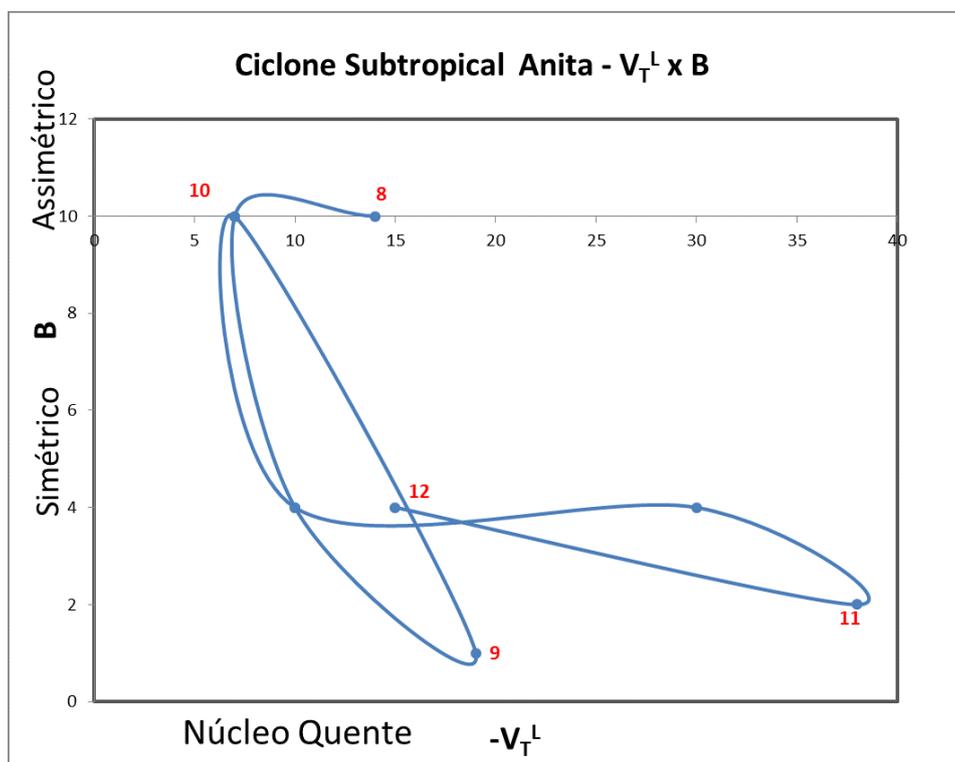


Figura 76: Cartas sinóticas de PNMM para: (a) dia 08 às 0000 UTC. (b) dia 08 às 1200 UTC. (c) dia 09 às 0000 UTC. (d) dia 09 às 1200 UTC. (e) dia 10 às 0000 UTC. (f) dia 10 às 1200UTC. Fonte: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>.



(a)



(b)

Figura 77: (a) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros $-V_T^L$ e $-V_T^U$ Ciclone Anita (b) Diagrama de Fase relacionando os parâmetros B e $-V_T^L$ Ciclone Anita. Fonte: Próprio.

5. CONCLUSÕES

A partir da análise de três ciclones subtropicais foi possível perceber que os resultados do SRDAS apresentaram boa representatividade do fenômeno, em todos os níveis e variáveis analisadas, sendo coerentes com as cartas sinóticas e imagens de satélites.

Os resultados de 2008 foram comparados com os resultados do artigo de Gozzo *et al.* (2014), o qual analisaram o mesmo ciclone, embora com uma metodologia diferente da usada neste trabalho, pois eles detectaram o ciclone pelo algoritmo de rastreamento em 00Z de 12 de janeiro de 2008, com duração de mais de 36 h, até 18Z de 13 de janeiro de 2008. Entretanto com o SRDAS o ciclone foi melhor detectado a partir de 00Z de 13 de janeiro de 2008.

Durante todo este tempo, o ciclone apresentou pequenos valores de B e V_T^U positivos, V_T^L negativo, colocando-o em baixos níveis com núcleo quente simétrico segundo o diagrama de fases.

Verificou-se com os resultados que a Advecção de Vorticidade não foi predominante no Caso de 2008 comparado aos resultados dos outros 2 ciclones.

Também verificou-se que a precipitação ficou de moderada a forte nos 3 fenômenos, conforme esperado para um ciclone subtropical. Ressaltando que a precipitação deva ser considerada como acumulada por 3 horas, para ser compatível com a média da precipitação horária das 3 horas anteriores do SRDAS.

Comprovou-se para todos os casos que os fatores importantes para a formação e manutenção dos ciclones subtropicais estavam presentes e alimentando o fenômeno. Nos três casos verificou-se um centro de baixa pressão (isóbaras fechadas), altos valores de TSM (acima de $26,5^\circ\text{C}$), disponibilizando calor e umidade. Esta umidade que favoreceu a condensação e liberou calor latente, retroalimentando os fenômenos. O encontro das correntes do Brasil e das Malvinas, indicou a influência do gradiente de TSM produzido pela confluência das mesmas, uma vez que amplificam os fluxos de calor ar-mar.

Jatos de altos níveis na região foram constatados no caso de 2010, o que sugeriu um cisalhamento do vento não muito forte, acarretando em uma estrutura menos vertical para este ciclone, já no caso de 2006 e 2008 constatou-se a presença de jatos de altos níveis, mas não exatamente sobre a região do fenômeno, e sim nas proximidades o que sugeriu uma frente fria associada aos mesmos.

O parâmetro B (indicado pelo gradiente de geopotencial) apresentou valores menores que 10, o que indicou estruturas mais verticais dos ciclones, apesar de ter sido constatado cisalhamento no caso de 2010, o que não descaracteriza um ciclone subtropical, já que o mesmo tem características tanto dos ciclones tropicais e dos ciclones extratropicais, principalmente nos níveis mais elevados.

As regiões estavam favoráveis à formação de ciclones a leste do cavado demonstrado pela advecção de vortacidade e enfatizando a importância deste suporte dinâmico.

No Caso de 2010 (Ciclone Anita) durante o desenvolvimento, os efeitos dos fluxos de calor em superfície e a instabilidade térmica junto com a disponibilidade de umidade, levaram a uma intensificação da circulação vertical e uma maior liberação de calor latente.

O vento térmico na camada superior (600 a 300 hPa) não apresentou alteração significativa para os casos de 2006 e 2008, porém apresentou uma variação mais expressiva em 2010 (Ciclone Anita), possivelmente devido à proximidade da frente fria, evidenciando um sinal de baroclinia. Todavia, em baixos níveis (900 e 600 hPa) o vento térmico apresentou-se quase nulo para os 3 casos, uma característica barotrópica.

Ainda, notou-se que nos três eventos (caso 2006, caso 2008 e caso 2010), as cartas sinóticas da MB nos horários de 00Z e 12Z de PNMM não mostraram um eventual ciclone subtropical e que o SRDAS conseguiu captar. Além disso, os campos anteriores a formação dos referidos ciclones subtropicais, mostraram que no ciclone subtropical de 2006, uma baixa pressão em superfície deu suporte para sua formação. Entretanto, para o caso de 2008, foi um cavamento das linhas de pressão em superfície (cavado) que deu suporte para formação do ciclone subtropical. Já para o caso de 2010 (ciclone subtropical Anita), sua formação se deu também por uma baixa pressão em superfície, muito parecido com o caso do ciclone subtropical de 2006. Para essas ocasiões, pode-se concluir que o SRDAS também mostrou bom desempenho em sua rodada.

Em relação aos diagramas de fase, pode-se concluir que de acordo com o SRDAS, em todos os eventos, mostrou que os ciclones subtropicais estudados, possuíam núcleos quentes em baixos níveis e os casos dos ciclones subtropicais de 2006 e 2010 (ciclone subtropical Anita) núcleos frios em altos níveis. Além disso, os casos dos ciclones subtropicais de 2006 e 2010 apresentaram em todo seu período uma estrutura bastante simétrica, conforme esperado em casos de ciclones subtropicais. Porém, para o caso do ciclone subtropical de 2008, ao longo de seu ciclo de vida, sua estrutura não ficou

totalmente simétrica, apresentando períodos de assimetria, ficando com isso, ligeiramente um pouco diferente dos outros casos estudados. Contudo, o caso de 2008 também está de acordo com características esperadas para ciclones subtropicais.

Para finalizar, vale ressaltar que o evento de 2008 apresentou um núcleo quente em toda a coluna, sendo mais aquecido nos níveis superiores do que em superfície, além de uma estrutura simétrica. O forte aquecimento nos níveis superiores indicou uma grande contribuição das nuvens convectivas e as suas respectivas liberações de calor latente na coluna atmosférica.

Desta forma, conclui-se que as simulações com o SRDAS apresentaram uma boa representatividade dos fenômenos estudados, apresentando uma ferramenta promissora para fenômenos atmosféricos sobre o oceano, uma área de estudo sempre muito necessitada de informações meteorológicas.

6. TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos, propõe-se fazer um estudo a partir de 2006 até hoje, com os dados acoplados ao SRDAS, para com estes resultados fazer um estudo estatístico da ocorrência de Ciclones Subtropicais na costa do Brasil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Rodolfo 2015. Disponível em: <www.meteobrasil.com.br/viewtopic.php?t=16048>. Acesso em: 30 de maio. 2016.

BARRETO MATHIAS, R.S. **Análise e classificação de ciclones utilizando diagramas de fase**: Conceitos e aplicação em previsão de tempo operacional. 2012.

BITENCOURT, D.P.; QUADRO, M.F.L.; GAN, M.A.; ACEVEDO, O.C.; FUENTES, M.V.; MUZA, M.N.; RODRIGUES, M.L.G. **Relating winds along the Southern Brazilian coast to extratropical cyclones**. Meteorological Applications (Print) , v. 18, p. 223-229, 2011.

BRAUN, A. J., 2009: **A comparison between South Atlantic and Tasman Sea subtropical storms**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Dept. of Meteorology, The Pennsylvania State University, University Park, PA.

CAVALCANTI, Iracema F. A.; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes; DIAS, Maria Assunção. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CORREIO DO POVO. **Ciclone vira tempestade subtropical e recebe o nome de Cari**. Correio do Povo, 2015. Disponível em: <<http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/Geral/2015/3/551036/Cliclone-vira-tempestade-subtropical-e-recebe-nome-de-Cari>>. Acesso em: 30 mai. 2016.

CPTEC MARINHA DO BRASIL Disponível em: <http://www.abaixodezero.com/viewtopic.php?t=16261> Acessado em 22 de outubro de 2017.

DUTRA, L. M., 2012: **Coclones subtropicais sobre o atlântico Sul: análise da estrutura dinâmica de eventos**. Apresentação de mestrado. São Paulo. SP.

EVANS J.L.; BRAUN, A. **A Climatology of Subtropical Cyclones in the South Atlantic**. *Journal of Climate*, v. 25, p. 7328-7340, 2012.

EVANS, J. L.; HART, R., E., 2003. **Objective Indicators of the Life Cycle Evolution of Extratropical Transition for Atlantic Tropical Cyclones**.

FERREIRA, Thaís. **O Brasil entrou na rota dos grandes ciclones mundiais?** *Revista Época*, 2007. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,EDR83655-5856,00.html>>. Acesso em: 30 mai. 2016.

FSU. **Meteorology - a brief history**: FSU, 2005 Disponível em: <<http://www.met.fsu.edu/orgs/explores/methist.html>> acesso em: 31 mai. 2016.

GAN, M. **Ciclogêneses e ciclones sobre a América do Sul**. 185 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos, 1992.

GAN, M. A. and RAO B. V., 1991: **Surface cyclogenesis over South America**. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 293-302.

GOZZO, L.F E R.P. da ROCHA, 2013: **Air-sea interaction processes influencing the development of a Shapiro-keyseer type cyclone over the subtropical South Atlantic Ocean**. *Pure and applied Geophysics*, 170(5), 917-934.

GOZZO, L.F., R.P. da ROCHA; M.S. REBOITA e S. SUGAHARA, 2014: **Subtropical Cyclones over the Southwestern South Atlantic: Climatological Aspects and Case Study**. *JClimate*, 27, 8543-8562.

GOZZO, L.F. **Ciclones subtropicais sobre o sudoeste do Atlântico Sul**: Climatologia e Fontes de Umidade São Paulo 2014.

GRAHAME, Nick. **The development of meteorology over the last 150 years as illustrated by historical weather charts**. Bracknell: National Meteorological Centre, 2000.

GUIA, C.V.F. **Análises das características sinóticas das trajetórias dos ciclones extratropicais que atuam na América do Sul e vizinhanças.** 120 p. (sid.inpe.br/mtecm19/2010/11.26.17.17-TDI). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011 Disponível em:<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38LS7UE>. Acesso em: 24 dez. 2017.

GUISHARD, M.P.; EVANS, J.L.; HART, R. E. **Atlantic Subtropical Storms. Part II: Climatology.** *Journal of Climate*, v. 22, p. 3574-3594, 2009.

HART, R.E. **Cyclone phase space: One method to diagnose current and forecast cyclone structure.** Apresentação no Encontro Internacional Sobre Ciclones do Atlântico Sul, 2008. Disponível em: <http://www.lpm.meteoro.ufrj.br/meeting/>. Acesso em: 8 jun. 2016.

HART, R. E.; EVANS, J. L., 2001. **Climatology of the Extratropical Transition of Atlantic Tropical Cyclones.** *J. Climate*.

HART, R. E., 2003. **A Cyclone Phase Space Derived from Thermal Wind and Thermal Asymmetry.** *Monthly Weather Review*.

HART, R. E.: **Hurricanes: A Primer on Formation, Structure, Intensity Change, and Frequency.** Ed: Jeff Kueter. Marshall Institute, 2006.

HART, R. E.: **Cyclone Phase Space: One method to diagnose current & forecast cyclone structure.** Apresentação no Encontro Internacional Sobre Ciclones do Atlântico Sul, 2008. Disponível em <http://www.lpm.meteoro.ufrj.br/meeting/>

HOSKINS, B.J.; HODGES, K.I. A new perspective on southern hemisphere storm track. **Journal of Climate**, v. 18, p. 4108- 4129, 2005.

JOYCE, ROBERT J.; Janowiak, John E. ; Xie, Pingping ; Arkin, Phillip A.. **NOAA CPC Morphing Technique ("CMORPH")**, 2004

Kanamitsu, M., K. Yoshimura, Y.-B. Yhang, and S.-Y. Hong (2010), **Errors of interannual variability and trend in dynamical downscaling of reanalysis**, J.

Geophys. Res., 115, D17115, doi:10.1029/2009JD013511.

LUCENA, A.F.P., SZKLO, A.S., SCHAEFFER, R., DUTRA, R.M. **A vulnerabilidade do sistema de energia elétrica à mudança climática no Brasil**, 2010.

MAKARIOS, EMMANUEL. **Wahine Disaster. A Tragedy Remembered**, 2003

MANNING, Peter K., **Metaphors of the field: varieties of organizational discourse**, **In Administrative Science Quarterly**, vol. 24, no. 4, December 1979.

MARCELINO, Emerson Vieira; OLIVEIRA, Isabela Pena Viana Marcelino de; RUDORFF, Frederico de Moraes. **Ciclone Catarina: danos e vulnerabilidade**. Divisão de Sensoriamento Remoto, 2005.

MARENGO J. A. **Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil**, 2007.

MARTINS, G. A. **Estudo de caso: uma reflexão sobre a aplicabilidade em pesquisas no Brasil**. **Revista de Contabilidade e Organizações**, v. 2, n. 2, p. 9-18, jan./abr., 2008.

MENEZES, W. e SILVA DIAS, P.L. **Um estudo do impacto das opções físicas do modelo RAMS na simulação numérica do ciclone Catarina**. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Fortaleza CE. Anais... Fortaleza, 2004.

MELLO, Maurício Granzotto ; Muza Michel Nobre; Quadro, Mário Francisco Leal. **Análise interdecadal e sazonal de ciclones extratropicais sobre a costa sul brasileira de 1957 a 2010**, 2015.

MURRAY, R.J.; SIMMONDS, I.: A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: Development and operation of the scheme. **Australian Meteorological Magazine**, v. 39, p. 155-166, 1991.

NATIONAL WEATHER SERVICE, 2011 Disponível em <<http://www.nhc.noaa.gov/archive/2011/>> Acessado em 03 de novembro de 2017.

NECCO, G. Behaviour of the cyclonic vortices in the south american region during fgge: cyclogenesis. (comportamiento de vortices ciclonicos en el area sudamericana durante el fgge: Ciclogenesis). Meteorologica., v. 8(1), p. 7{20, 1982.

NUNES, ANA M. B., **Satellite-enhanced dynamical downscaling for the analysis of extreme events**, American Geophysical Union, 2016.

PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY, 2004 Disponível em: <https://www.google.com.br/search?q=ciclone+sub+tropical+PENNSYLVANIA+STATE+UNIVERSITY,+2004&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwi47vyHneLXAhXLfpAKHQ7AkINg&biw=1366&bih=588> Acessado em Julho de 2017.

PIDWIRNY, M. **Atmospheric Pressure. Fundamentals of Physical Geography**, 2nd Edition. 2006. Disponível em: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7d.html>. Acesso em: 8 jun. 2016.

REBOITA, M. Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade. 316 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2008.

REBOITA M.S., NIETO R.N., GIMENO L., da ROCHA R.P., AMBRIZZI T., GARREAUD R., Krüger L. F. 2010b. **Climatological Features of Cutoff Low Systems in the Southern Hemisphere**. J. GEOPHYS. Res., 115. D17104, doi:10.1029/2009JD013251.

REBOITA, M.S.; IWABE, C.M.N.; ROSMERI, P.R.; AMBRIZZI, T. Análise de um ciclone semi-estacionário na costa sul do Brasil associado a bloqueio atmosférico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 4, p. 407-422, São Paulo, 2009.

ROSMAN, P. C. C., KLEIN, A. NEVES, C., MUEHE, D., CARVALHO, J. e ARAÚJO, M. (2009). **Vulnerabilidades da Zona Costeira Brasileira Às Mudanças Climáticas**. PENO/COPPE/UFR

ROTH, DAVID M., 2002: **A fifty year history of subtropical cyclones.** 25th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, P1.43

SATYAMURTY, P.; FERREIRA, C.; LEMES, M. Cyclonic vórtices over south america. Tellus., v. 42, p. 194{201, 1990.

SIMPSON, R. H., 1973: **The neutercanc – Small hybrid cyclone. Paper presented at the Eighth Technical Conference on Hurricanes Tropical Meteorology, Key Biscayne, Miami, Fla**

SIMPSON, R.H. Evolution of the Kona Storm: **A subtropical cyclone. Jourral of Meteorology**, v. 9. 1952.

STULL, Roland. **Practicalmeteorology an algebra based survey of atmospheric science. Vancouver:** the Universityof British Columbia, 2015.

SHAW, Napier; AUSTIN Elaine.**Manual of meteorology:** volume I - meteorology in history.Londres: Cambridge University Press, 1919.

Taylor, George; Hatton, Raymond R. **The 1962 Windstorm. The Oregon Weather Book: A State of Extremes.** ISBN 0-87071-467-8 Oregon State University Press, 1999.

ZEE, D. M. W. **Elevação do nível do mar e adaptação em grandes cidades costeiras do Brasil**, 2012.

<http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf> Acessado em 31 de outubro de 2017.

<<http://www.neutralizecarbono.com.br/blog/index.php/os-impactos-das-mudancas-climaticas-na-economia-brasileira/>> Acessado em 30 de outubro de 2017.

<<http://www.opetroleo.com.br/impacto-do-furacao-harvey-no-petroleo-e-pior-que-previsto/>> Acessado em 24 de outubro de 2017.

<<https://www.shipwreckmuseum.com/edmund-fitzgerald/>>. Acesso em: nov. 2017.

Site G1 - O Portal de Notícias da Globo. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2014/03/dez-anos-apos-o-furacao-catarina-moradores-relembra-tragedia.html>>. Acesso em: out. 2017.

Diário Catarinense, disponível em: <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2016/12/ciclone-de-ate-118-km-h-cao-destruicao-em-santa-catarina-8607371.html>>. Acesso em: out. 2017.