

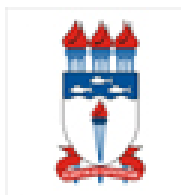
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

Nº de ordem: MET-UFAL-MS-052.

**DETERMINAÇÃO SINÓTICA DOS FATORES QUE FAVORECEM AS
INFLUÊNCIAS FRONTAIS SOBRE O ESTADO DE ALAGOAS**

CESAR DUARTE DA CRUZ

Maceió-Alagoas
Outubro-2008



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



**DETERMINAÇÃO SINÓTICA DOS FATORES QUE FAVORECEM AS
INFLUÊNCIAS FRONTAIS SOBRE O ESTADO DE ALAGOAS**

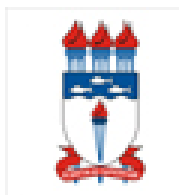
Por

CESAR DUARTE DA CRUZ

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. NATALIA FEDOROVA

Maceió-Alagoas
Outubro-2008



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



**DETERMINAÇÃO SINÓTICA DOS FATORES QUE FAVORECEM AS
INFLUÊNCIAS FRONTAIS SOBRE O ESTADO DE ALAGOAS**

CESAR DUARTE DA CRUZ

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

Maceió-Alagoas
Outubro-2008

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

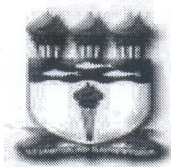
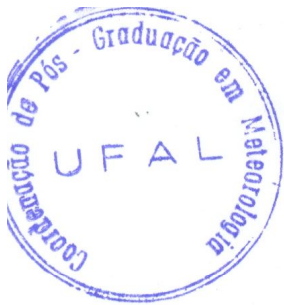
C957d Cruz, Cesar Duarte da.
Determinação sinótica dos fatores que favorecem as influências frontais sobre o estado de Alagoas / Cesar Duarte da Cruz. – Maceió, 2008.
117 f. : il., grafs., tabs.

Orientador: Natalia Fedorova.
Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2008.

Bibliografia: f. 110-117.

1. Meteorologia sinótica. 2. Ciclogênese. 3. Sistemas frontais. 4. Ondas Frontais. 5. Temperatura potencial equivalente. I. Título.

CDU: 551.555



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

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-052.

**“DETERMINAÇÃO SINÓTICA DOS FATORES QUE FAVORECEM AS
INFLUÊNCIAS FRONTAIS SOBRE O ESTADO DE ALAGOAS”**

CESAR DUARTE DA CRUZ

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

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof.^ª Dr.^ª Natália Fedorova
(Orientador)

Prof. Dr. Prakki Satyamurty
(Membro Externo – INPE)

Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion
(Membro)

**- Maceió – Al -
Outubro/2008**

- Aos meus pais, **Raymundo Expedito da Cruz (In memoriam)** e **Angela Maria Duarte da Cruz**, por fazerem de mim o homem que sou hoje.

- Aos meus filhos **Günther Sarmiento da Cruz** e **Weber Cesar de Oliveira da Cruz**, e sobrinhas **Virna Duarte da Cruz Cavalcante e Silva** e **Inah Duarte da Cruz Cavalcante e Silva**, por serem motivo de esperança e fé.

- Às minhas irmãs **Janine Duarte da Cruz**, **Aline Duarte da Cruz** e **Cristine Duarte da Cruz**, pelo aprendizado, companheirismo e confiança.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me dado saúde, sabedoria e força de espírito para alcançar mais essa vitória em minha vida.

À minha orientadora, Prof^ª. Dr^ª. Natalia Fedorova, pela paciente orientação, incentivo dedicação e sugestões, no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores do Instituto de Ciências Atmosféricas da UFAL, sobretudo ao Prof. Dr. Vladimir Levit, MsC. Marcos Antônio Maríngolo Lemes e ao Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion, pelo conhecimento fornecido durante os anos do Mestrado.

Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion e Prof. Dr. Prakki Satyamurty, pelos comentários, críticas e sugestões construtivas.

Aos meus pais, irmãs, filhos e sobrinhos, por ser a melhor família que eu poderia escolher.

Às minhas tias, Alaídes Cruz de Oliveira e Sulimar Cruz de Oliveira, pelos constantes conselhos e preocupação.

Ao casal, Allan Rodrigues Silva e Thalyta Soares dos Santos, pela atenção, preocupação e incentivo em um dos momentos mais difíceis da minha vida.

Aos amigos Bernardo Viana Mafra e família, Marco Aurélio Lessa Tenório Cavalcante, Jonathas Lessa Tenório Cavalcante, Marco Aurélio Marques Tenório Cavalcante e Eliana Maria Lessa Cavalcante, por terem me recebido e acolhido nessa cidade, além de darem todo apoio possível durante os momentos mais difíceis da minha vida.

Às tias gaúchas, Miriam Sônia Schwalm e Tania Maria Siqueira da Rosa, por terem me adotado como sobrinho e me apoiado com todo amor durante a fase mais difícil da minha vida.

Aos amigos Eliton Lima de Figueiredo, Márcio Henrique dos S. Silveira, João Vitor Maia Cavalcante, Bruno Miranda de Brito, Bruce Francisco Pontes da Silva, Paulo José dos Santos e Antônio Marcos Delfino de Andrade, pela ajuda e incentivo na realização deste trabalho.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), pela bolsa de estudo que, possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Finalmente, a todas aquelas pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para o êxito do meu trabalho.

MUITO OBRIGADO!

PENSAMENTO

“Todo ser Humano só é verdadeiramente livre quando nasce. À medida que o tempo passa, sem perceber, acabamos por perder, pouco a pouco, o que nos foi dado. Nossa Liberdade.”

Raymundo Expedito da Cruz (*In memoriam*)

Uma lição de verdadeiro Homem, Marido e Pai.

Acima de tudo, uma lição de Vida!

DA CRUZ, Cesar Duarte. DETERMINAÇÃO SINÓTICA DOS FATORES QUE FAVORECEM AS INFLUÊNCIAS FRONTAIS SOBRE O ESTADO DE ALAGOAS. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Natalia Fedorova. Maceió-AL: ICAT/UFAL, 2008. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de identificar os fatores que favorecem o deslocamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul (AS) e suas influências sobre o Estado de Alagoas (AL). Procurou-se encontrar padrões sinóticos que expliquem os mecanismos e processos atmosféricos que comandam o deslocamento das frentes para regiões tropicais, além de testar novas ferramentas que possibilitem a melhor identificação dos sistemas envolvidos nesses processos. Assim, foi feita a análise de 26 sistemas frontais que influenciaram direta ou indiretamente as condições de tempo sobre o Estado de AL, para três anos (2004 a 2006). Os casos foram divididos em 4 grupos (G), de acordo com as características similares encontradas entre os eventos. *G1* - passagem do sistema frontal, ou de sua extremidade, sobre o estado de AL; *G2* - banda de nebulosidade sobre o Estado de AL, organizada pela extremidade frontal sobre o Atlântico Tropical Sul (ATS); *G3* - atividades convectivas sobre o Estado de AL, organizadas pela extremidade frontal sobre o ATS e *G4* - passagem do sistema frontal, ou de sua extremidade, sobre o ATS, na mesma latitude da costa alagoana. As frentes foram identificadas por diversos métodos: sinótico clássico, dados de satélite e campos horizontais de temperatura potencial equivalente (θ_e) e advecção de temperatura potencial equivalente ($A\theta_e$). Foram utilizados dados de reanálise do modelo global NCEP/NCAR e imagens de satélite no canal infravermelho. Em geral, as frentes que chegaram até AL não estiveram associadas a eventos de “friagem”. Os eventos do *G1* foram encontrados em todas as estações do ano. Os casos do *G2* se concentraram durante as estações de inverno austral e início da transição quente. Os eventos do *G3* tenderam a ocorrer durante o fim da transição quente, verão austral e início da transição fria. Não houve eventos que satisfizessem as condições do *G4*. A sobreposição de vários fatores se torna importantes para as influências frontais em AL: regenerações frontais, novas ciclogêneses na frente principal, surgimento de frentes secundárias e possíveis oclusões instantâneas, interação da onda frontal analisada com outras ondas frontais, interação da extremidade frontal com perturbações ciclônicas sobre o continente (baroclínica nos meses de inverno e barotropical no verão) e corrente de jato posicionada ao norte da sua climatologia. De novembro a março, as frentes que organizaram atividades convectivas sobre AL estiveram associadas à interação da ZCAS e VCAN's. A atuação de uma Alta Barotropical de Núcleo Quente sobre a AS oferece restrição para o desenvolvimento da extremidade frontal na costa do Brasil, durante os meses de inverno. O acoplamento entre os trens de onda de escala sinótica em altos níveis, identificado por um fluxo meridional que conecta a saída da Corrente de Jato Polar com a entrada da Corrente de Jato Subtropical, permite a fusão de ondas frontais distintas em baixos níveis e a incursão de ar frio em direção ao equador, podendo provocar a regeneração das frentes e a formação de novos ciclones na família. Os campos de θ_e e $A\theta_e$ são eficientes para análise e identificação de sistemas frontais, devendo ser incorporados a previsão operacional do tempo. Com base nesses campos, foi proposto o modelo conceitual de desenvolvimento do ciclone baroclínico na região tropical.

Palavras-chave: Meteorologia sinótica, sistemas frontais, ciclogênese, ondas frontais, temperatura potencial equivalente.

DA CRUZ, Cesar Duarte. SYNOPTIC DETERMINATION OF THE CONDITIONS FOR FRONTAL INFLUENCES IN ALAGOAS, BRAZIL. Manager: Dr^a. Natalia Fedorova. Maceió-AL: ICAT/UFAL, 2008. Dissertation (Master in Meteorology).

ABSTRACT

The objective of this work is to identify the factors that favors the movement of frontal systems over South America (SA) and their influences in the state of Alagoas (AL), Brazil and determine the synoptic patterns characteristic of the penetration events of fronts into the Tropics, besides testing new diagnostic tools to describe these systems and others. Twenty six frontal systems that direct or indirectly influenced the weather conditions over AL for the 2004 – 2006 period were analyzed. The cases were sorted out in four groups (G) according to the similar characteristics among the events. They were: *G1* – passage of the frontal system or its extremity over AL; *G2* – cloud band over AL, organized by the frontal tip over the Southern Tropical Atlantic (STA); *G3* – convective activity over AL, due to the frontal tip over STA and *G4* – passage of the frontal system or its tip over STA at the same latitude of the AL coast. The fronts were identified using different methods: classical, satellite imagery, equivalent potential temperature (θ_e) fields and advection of equivalent potential temperature ($A\theta_e$). The global model NCEP/NCAR Reanalysis data and infra-red images were used. In general, the fronts that reach AL are not associated with “*friagem*” events. The *G1* events were found in all seasons of the year. The *G2* cases were concentrated during Southern Hemisphere (SH) winter and onset of the transition to warmer months. The *G3* events occur during the end of the transition to warmer months, SH summer and onset of the transition to colder months. No event fell in *G4*. The superposition of several factors is important to characterize the frontal influences in AL: frontal regeneration ahead of the main front, development of secondary fronts and possible instantaneous occlusion, interaction of the analyzed frontal with other frontal waves, interaction of the frontal tip with cyclonic perturbations over the continent (of baroclinic nature during winter months and of barotropic nature during summer months) and jet stream positioned to the north of its climatological position. The fronts responsible for convective activity over AL, from November to March, are associated with the interaction of the Southern America Convergence Zone and one Upper Air Cyclonic Vortex. The presence of warm - cored barotropic high pressure over SA inhibits the development of the frontal tip over the Brazilian coast during the winter months. The coupling between the upper air wave train of synoptic scale (identified by the meridional flux linking the exit of Polar Jet Stream to the entrance of the Subtropical Jet Stream) allows the merging of different frontal waves in low levels and the incursion of cold air equatorward, being responsible for the frontal regeneration and the formation of new cyclones in the family. The θ_e and $A\theta_e$ fields are sufficient for the analyses and identification of the frontal systems, and should be part of an operational weather forecast suite. Based on these fields a conceptual model for the development of baroclinic cyclone in the Tropics is presented.

Key words: Synoptic meteorology, frontal systems, cyclogenesis, frontal waves, equivalent potential temperature.

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

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	IV
AGRADECIMENTOS	V
PENSAMENTO	VI
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABELAS	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS	XIX
1- INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 - Considerações Gerais sobre Sistemas Frontais	3
2.2 - Ciclones Frontais ou Baroclínicos	4
2.3 - Frente Secundária, Vórtice de Ar Frio e Oclusão Instantânea	6
2.4 - Ciclone Térmico ou Barotrópico	9
2.5 - Alta da Bolívia	11
2.6 - Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis	12
2.7 - Zona de Convergência da América do Sul	13
2.8 - Diversidade de Métodos para Identificação de Frentes	14
2.9 - Ondas de Frio na AS	16
2.10 - Convecção Tropical sobre a AS e a Chegada de Sistemas Frontais ao NEB	19
3 - MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 - Região de Estudo	23
3.1.1 - A América do Sul	23
3.1.2 - A Região Nordeste do Brasil e o Estado de Alagoas	24
3.2 - Dados	25
3.2.1 - Dados de Reanálise	25
3.2.2 - Imagens de Satélite	26

	26
3.3 - Metodologia	
3.3.1 - Escolha e Agrupamento dos Casos	26
3.3.2 - Parâmetros e Campos Utilizados	28
3.3.3 - Identificação das Zonas Frontais	30
3.3.4 - Advecção de Temperatura Potencial Equivalente	32
3.3.5 - Identificação dos Fatores	33
4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1 - Atuação de Sistemas Frontais sobre o NEB e Avaliação da Revista Climanalise no Período Estudado	40
4.2 - Divisão Sazonal dos Eventos	43
4.3 - Avaliação dos Fatores Analisados	45
4.3.1 - Considerações Gerais	59
4.4 - Estudo de Caso: A Passagem de uma Extremidade Frontal Sobre AL	60
4.4.1 - Esquema Inicial para Análise do Evento	60
4.4.2 - Análise Sinótica para o Dia 26/04/2005	63
4.4.2.1 - Análise em 925hPa	63
4.4.2.2 - Análise em 850hPa	67
4.4.2.3 - Análise em 500hPa	70
4.4.2.4 - Análise em 200hPa	72
4.4.3 - Processos Observados entre os Dias 27 e 29/04/2005	74
4.4.3.1 - Análise do dia 27/04 em 850hPa	74
4.4.3.2 - Análise do dia 27/04 em 200hPa	76
4.4.3.3 - Análise do dia 28/04 em 925hPa	78
4.4.3.4 - Análise do dia 28/04 em 200hPa	82
4.4.3.5 - Análise do dia 29/04 em 850hPa	84
4.4.3.6 - Análise do dia 29/04 em 200hPa	86
4.4.4 - A Nova Onda Frontal e suas Influências sobre o Brasil em 30/04/2005	87
4.4.4.1 - Análise do dia 30/04 em 850hPa	87
4.4.4.2 - Análise do dia 30/04 em 200hPa	91
	93

4.4.5 - Evolução do Sistema 3 no dia 01/05/2005	
4.4.5.1 - Análise do dia 01/05 em 850hPa	93
4.4.6 - Extremidade Frontal sobre o Estado de AL no Dia 02/05/2005	96
4.4.6.1 - Análise do dia 02/05 em 850hPa	96
4.4.6.2 - Análise do dia 02/05 em 200hPa	100
4.4.7 - Modelo Conceitual para Evolução Ciclônica Analisada	102
5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	105
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 -** Sistema Frontal em evolução e seção transversal das frentes fria (esquerda) e quente (direita). Linhas inteiras: isóbaras (hPa).
 FONTE: VAREJÃO-SILVA (2001)..... 4
- Figura 2 -** Modelo Conceitual Norueguês para evolução dos ciclones frontais no HN (Bjerknes, 1921; Bjerknes e Solberg, 1922): (I) perturbação na onda, (II) e (III) estreitamento do setor quente, (IV) oclusão.
 FONTE: NEIMAN e SHAPIRO (1993)..... 5
- Figura 3 -** Modelo conceitual alternativo para evolução dos ciclones frontais no HN (Shapiro e Keyser, 1990): (I) perturbação na onda, (II) fratura frontal, (III) frente em forma de T e frente curvada atrás, (IV) frente em forma de T e exclusão quente. Acima: Pressão ao nível médio do mar (linhas sólidas), frentes (negrito) e nebulosidade (sombreado). Abaixo: Temperatura (linhas sólidas), correntes de ar frio e quente (setas cheias e tracejadas, respectivamente).
 FONTE: NEIMAN e SHAPIRO (1993)..... 6
- Figura 4 -** Desenho esquemático de um vórtice no ar frio posicionado em um cavado na retaguarda da frente principal, no HS.
 FONTE: Adaptada para o HS de BUSINGER e REED (1989, p. 138)..... 7
- Figura 5 -** Esquemática de três seqüências básicas para o desenvolvimento de vórtices observados através de imagens de satélite: **A)** desenvolvimento de nuvem vírgula inteiramente dentro do ar frio; **B)** desenvolvimento de uma oclusão instantânea; **C)** desenvolvimento de uma onda frontal. (I) região de forte convecção, (II) banda de nuvens em decaimento e (III) banda de nuvem convectiva, emergindo com uma banda de nuvem frontal.
 FONTE: adaptada de BROWNING (1986), citado por BONATTI (1988)..... 9
- Figura 6 -** Localização aproximada da Baixa do Chaco (BCH) e da Baixa no Norte da Argentina (BNA). Os contornos sombreados indicam a topografia, com isolinhas de elevações maiores que 500m.
 FONTE: SELUCHI *et al.* (2003)..... 10
- Figura 7 -** Isóbaras com intervalos de 3 hPa, os símbolos são os usuais. (a) e (b) para o verão, 26 e 27 de fevereiro de 2000 e (c) e (d) para o inverno, 05 e 06 de julho de 2000.
 FONTE: adaptada de SELUCHI *et al.* (2003)..... 11
- Figura 8 -** Esquema de formação para o VCAN do tipo Palmer clássico sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul.
 FONTE: KOUSKY e GAN (1981)..... 13

Figura 9 -	Modelo conceitual para invasões de ar frio sobre a AS. As setas escuras representam advecção de ar frio, as claras advecção de ar quente em baixos níveis. As linhas representam superfícies isobáricas. A frente fria é mostrada de acordo com as convenções. Fonte: adaptada de GARREAUD (2000).....	17
Figura 10 -	Esquema típico de formação de faixa de nebulosidade convectiva (I), distribuição mensal de sistemas frontais que penetram nas bandas de latitude (II) e distribuição mensal do número de sistemas frontais que organizaram convecção tropical (III) nas bandas de latitude a,b,c e d. Fonte: Adaptada de Oliveira (1986), citado por ANDRADE (2005).....	20
Figura 11 -	Mapa da região estudada. Fonte: http://histgeo.ac-aix-marsellie.fr	23
Figura 12 -	Mapa da região nordeste do Brasil. Fonte: IBGE.....	24
Figura 13 -	Esquema para representação das frentes.....	32
Figura 14 -	Identificação da frente fria pelo campo de $A\theta_e$, juntamente com o campo de pressão ao nível médio do mar, no dia 26/04/2005, às 18UTC. AN é a advecção negativa e a AP é a advecção positiva.....	32
Figura 15 -	Áreas para localização dos vórtices baroclínicos no momento em que a onda frontal começa atuar na AS.....	33
Figura 16 -	Representação das áreas em que foram observadas o aparecimento do máximo secundário de vorticidade ciclônica.....	34
Figura 17 -	Área de atuação dos ciclones frontais sobre o Oceano Atlântico Sul, no momento em que a ultima onda frontal entra na AS.....	34
Figura 18 -	Áreas em que foram observadas pequenas perturbações ciclônicas se propagando meridionalmente durante os eventos estudados.....	35
Figura 19 -	Áreas para localização das perturbações ciclônicas sobre a AS que interagiram com os ciclones extratropicais sobre o Atlântico.....	35
Figura 20 -	Áreas para avaliação do posicionamento das novas ciclogêneses ocorridas na frente principal, durante a análise dos eventos.....	36
Figura 21 -	Áreas para localização dos anticlones pós-frontais a leste dos Andes...	37

Figura 22 -	Tipos de fluxos bifurcados encontrados durante as análises dos eventos. a) Tipo 1 e b) Tipo 2.....	38
Figura 23 -	Área de identificação das perturbações ciclônicas em 300hPa.....	38
Figura 24 -	Exemplo de interação entre as CJS e a CJP observada na avaliação dos eventos.....	39
Figura 25 -	Seqüência de imagens de satélite para o período do evento, com ilustração esquemática representativa da evolução dos processos analisados. a)26/04-12UTC, b)26-18UTC, c)27/04-12UTC, d)28/04-03UTC, e)28-09UTC, f)28-12UTC, g)28-18UTC, h)29/04-15UTC, i)29-18UTC, j)30/04-09UTC, l)30-18UTC, m)01/05-12UTC, n)01-18UTC, o)02/0512UTC e p)02-18UTC. Fonte: CPTEC/INPE.....	62
Figura 26 -	Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 12UTC do dia 26/04/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 925hPa. Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.	64
Figura 27 -	Campos meteorológicos para 925hPa, com representação do sistema frontal, no dia 26/04/2005, às 12UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 700-1000hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores). Fonte dos dados: NCEP/NCAR.....	67
Figura 28 -	Campos meteorológicos sobrepostos a carta de geopotencial em 850hPa, para o dia 26/04/2005, às 12UTC,: a) linhas de corrente (em preto) e vorticidade relativa (em cores), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores). Fonte dos dados: NCEP/NCAR.....	68
Figura 29 -	Campos meteorológicos para o dia 26/04/2005, às 12UTC, sobrepostos ao geopotencial em 500hPa: a) linhas de corrente (em azul) e vorticidade relativa (em cores), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores). Fonte dos dados: NCEP/NCAR.....	71
Figura 30 -	Sobreposição de campos meteorológicos para 200hPa, no dia 26/04/2005, às 12UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores). Fonte dos dados: NCEP/NCAR.....	73

- Figura 31 -** Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 12UTC do dia 27/04/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 850hPa.
Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR..... 75
- Figura 32 -** Sobreposição de campos meteorológicos em 200hPa para o dia 27/04/2005, às 12UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR..... 77
- Figura 33 -** Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 18UTC do dia 28/04/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 925hPa.
Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR..... 79
- Figura 34 -** Campos meteorológicos para 925hPa, com representação do sistema frontal, no dia 28/04/2005 às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 700-1000hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR..... 81
- Figura 35 -** Sobreposição de campos meteorológicos em 200hPa, para o dia 28/04/2005, às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR..... 83
- Figura 36 -** Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 18UTC do dia 29/04/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 850hPa.
Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR..... 85
- Figura 37 -** Sobreposição de campos meteorológicos em 200hPa para o dia 29/04/2005, às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR..... 87
- Figura 38 -** Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 12UTC do dia 30/04/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 850hPa.
Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR..... 89

- Figura 39 -** Campos meteorológicos para 850hPa, com representação do sistema frontal, no dia 30/04/2005, às 12UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 700-1000hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR..... 90
- Figura 40 -** Sobreposição de campos meteorológicos em 200hPa para o dia 30/04/2005, às 12UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR..... 92
- Figura 41 -** Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 18UTC do dia 01/05/2005: (a) PNM (em amarelo), (b) θ_e (em cores), (c) $A\theta_e$ (em cores) e (d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 850hPa.
Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR..... 94
- Figura 42 -** Campos meteorológicos para 850hPa, com representação do sistema frontal, no dia 01/05/2005, às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 700-1000hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR..... 42
- Figura 43 -** Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 18UTC do dia 02/05/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 850hPa.
Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR..... 98
- Figura 44 -** Campos meteorológicos para 850hPa, com representação do sistema frontal, no dia 02/05/2005, às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 700-1000hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR..... 100
- Figura 45 -** Sobreposição de campos meteorológicos em 200hPa para o dia 02/05/2005, às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR..... 102
- Figura 46 -** Modelo conceitual para evolução do ciclone baroclínico, mostrado na baixa troposfera da região tropical. Campo de pressão, de $A\theta_e$ e frentes (acima) e campo de θ_e (abaixo): (I) disparo ciclogênico; (II) perturbação na onda; (III) estreitamento do setor quente; (IV) oclusão e (V) fratura das zonas frontais..... 103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Principais características dos vórtices de ar frio, baseadas nos vários estudos. FONTE: Adaptada de BONATTI (2004).....	8
Tabela 2 -	Frequência da passagem dos sistemas frontais sobre o litoral do Brasil em 2004, 2005 e 2006. A região do NEB é apresentada em negrito. Fonte: Revista Climanálise.....	40
Tabela 3 -	Casos de sistemas frontais selecionados para o estudo, relação eventos/mês e agrupamento com relação a características similares entre os eventos. Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.....	42
Tabela 4 -	Distribuição mensal, sazonal e anual dos eventos selecionados para o estudo. Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.....	43
Tabela 5 -	Anomalias trimestrais de TSM sobre o Pacífico Equatorial, região de El Niño 3.4 (5°N - 5°S, 120° - 170°W), com base no período de 1971-2000. Fonte dos dados: CPC/NOAA.....	44
Tabela 6 -	Distribuição sazonal em função das características similares encontradas entre os eventos. Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.....	45
Tabela 7 -	Distribuição espacial dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cuja extremidade foi observada sobre o estado de AL (G1). Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.....	46
Tabela 8 -	Distribuição temporal dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cuja extremidade foi observada sobre o estado de AL (G1). Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.....	47
Tabela 9 -	Distribuição espacial dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cujas imagens de satélite apresentaram uma banda de nebulosidade sobre AL, sem a caracterização da zona frontal nos campos analisados (G2). Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.....	48
Tabela 10 -	Distribuição temporal dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cujas imagens de satélite apresentaram uma banda de nebulosidade sobre AL, sem a caracterização da zona frontal nos campos analisados (G2). Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.....	49

Tabela 11 -	Distribuição espacial dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cuja extremidade, sobre o Atlântico Tropical, organizou atividades convectivas sobre AL (G3). Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.....	50
Tabela 12 -	Distribuição temporal dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cuja extremidade, sobre o Atlântico Tropical, organizou atividades convectivas sobre AL (G3). Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS

θ_e	Temperatura Potencial Equivalente
A	Área
Aθ_e	Advecção de Temperatura Potencial Equivalente
AB	Alta da Bolívia
ABNQ	Alta Barotrópica de Núcleo Quente
AL	Alagoas
AS	América do Sul
BC	Baroclínico
BT	Barotrópico
CJP	Corrente de Jato Polar
CJS	Corrente de Jato Subtropical
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CT	Ciclone Térmico
D	Dias
DA	Dias Antecedentes
DL	Deslocamento
DT	Dia do Término
E	Leste
ENE	Leste-Nordeste
ESE	Leste-Sudeste
F	Fator
FS	Frente Secundária
G	Grupo
GrADS	Grid Analysis and Display
GOES	Satélite Meteorológico Geostacionário
HS	Hemisfério Sul
IA	Inverno Austral
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
METEOSAT	Satélite Meteorológico Geoestacionário da Agência Espacial Européia

N	Norte
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NEB	Nordeste do Brasil
NE	Nordeste
NNE	Norte-Nordeste
NNW	Norte-Noroeste
NW	Noroeste
OA	Onda Anterior
OAVθ_e	Onda com Altos Valores de Temperatura Potencial Equivalente
OBVθ_e	Onda com Baixos Valores de Temperatura Potencial Equivalente
OI	Oclusão Instantânea
OP	Onda Posterior
OR	Orientação
PNM	Pressão ao Nível do Mar
Q	Quantidade
S	Sul
SE	Sudeste
SSE	Sul-Sudeste
SW	Sudoeste
T	Tipo
TD	Tempo de Duração
TF	Transição Fria
TQ	Transição Quente
VA	Verão Austral
VCAN	Vórtice Ciclônico em Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência da América do Sul
W	Oeste
WNW	Oeste-Noroeste
WSW	Oeste-Sudoeste

1 - INTRODUÇÃO

Sistemas Frontais são distúrbios transitórios de alta frequência, com atuação mais comum sobre América do Sul (AS), que, na maioria das vezes, geram fortes alterações nas condições de tempo. A trajetória das frentes apresenta um deslocamento preferencial de oeste para leste, do Oceano Pacífico para o Atlântico, e pode sofrer influência da orografia, como no caso da Cordilheira dos Andes (SELUCHI *et al.*, 1998). Geralmente possuem orientação noroeste-sudeste, podendo afetar toda AS e até mesmo cruzar a linha do equador.

Quando as frentes frias entram na AS podem adquirir deslocamento para leste, modificando o tempo no sul do continente, ou para norte (nordeste), modificando o tempo em todo o continente sul americano (GEMIACKI, 2005). Especificamente, no segundo caso, chegam, freqüentemente, até as latitudes tropicais com intensidade considerável (LEMOS e DE CALBETE, 1996).

Lemos e De Calbete (1996) concluíram que o deslocamento dos sistemas frontais está associado ao escoamento ondulatório de grande escala e a intensificação ou dissipação está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, como as Regiões Sul e Sudeste, são frontogenéticas, de forma que as frentes podem se formar ou se intensificar (SATYAMURTY e MATTOS 1989).

Oliveira (1986) fez uma climatologia das frentes frias para o período de 1975 a 1984 onde constatou que as frentes, freqüentemente, modulavam a convecção tropical durante o verão austral, sobretudo entre as latitudes de 20°S e 35°S. Signorini (2001) sugeriu que a interação das frentes com o ciclone térmico sobre o continente provoca uma intensificação da extremidade frontal.

Lemos e De Calbete (1996), Justi e Silva Dias (2002), Cavalcanti e Kousky (2003), dentre outros, mostraram que a frequência de frentes frias diminui com o decréscimo da latitude e que suas passagens estão diretamente ligadas às mudanças de tempo nas regiões afetadas. As alterações do tempo, geralmente, estão associadas com precipitação, queda de temperatura e mudanças na direção e intensidade do vento que, algumas vezes, representam fenômenos adversos, causando diversos prejuízos à sociedade como um todo.

Em algumas ocasiões, a identificação das frentes não é simples, podendo gerar confusões com relação ao seu posicionamento. Os principais métodos que, constam na

literatura, se baseiam em imagens de satélite e campos de diferentes variáveis meteorológicas, representando principalmente campos béricos, térmicos e identificadores de umidade.

Os estudos já realizados, referentes a atuação de sistemas frontais sobre o NEB, consistiram, principalmente, em investigar a frequência de incursão mensal, sazonal e anual, tomando-se, geralmente, o setor sul da Bahia como representativo de toda a região (KOUSKY, 1979; OLIVEIRA, 1986; LEMOS e DE CALBETE, 1996; ANDRADE, 2005, entre outros). Pré supor que toda região do NEB sofre influências frontais da mesma forma que os resultados apresentados por esses autores é um erro gravíssimo que deve ser reconsiderado através de novos estudos para outros setores da região.

Esse trabalho teve o objetivo de analisar os fatores que favorecem o deslocamento dos sistemas frontais sobre a AS e suas influências sobre o Estado de Alagoas (AL). Especificamente, teve a finalidade de encontrar padrões sinóticos que expliquem os mecanismos e processos atmosféricos que levam as frentes a se deslocar em regiões tropicais da costa do Brasil, além de testar novas ferramentas que possibilitem melhorar a identificação dos sistemas envolvidos nesses processos. Os resultados obtidos podem contribuir para previsões meteorológicas mais precisas, não só na região estudada, como em todo território nacional.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos algumas definições e trabalhos relativos a estudos de sistemas frontais e seus efeitos sobre a América do Sul (AS) e Brasil.

2.1 - Considerações Gerais sobre Sistemas Frontais

As zonas frontais podem ser definidas por regiões com alta assimetria na forma, com fortes ventos e fortes gradientes de temperatura (HOLTON 1979). Também existem outras definições bem difundidas na literatura, indicando que esses sistemas são altamente baroclínicos e apresentam perturbações na velocidade do vento com a altura (SAUCIER, 1955; PETTERSEN, 1956; PALMEN E NEWTON, 1969; MEDINA, 1976 e DEFANT e MORTH, 1978). Newton *et al.* (1972) fizeram um estudo climatológico no qual explicaram que, na prática, essas estipulações são restritivas. Então, apresentaram uma definição mais ampla, que é a seguinte: uma estreita zona hiperbaroclínica separando massas relativamente barotrópicas.

Os sistemas frontais são constituídos de uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície denominado ciclone ou vórtice frontal (Figura 1). Segundo Fedorova (1999), quando o ar frio está avançando e substituindo o ar quente, a zona frontal é chamada de frente fria. Do contrário, quando o ar quente se desloca e substitui o ar frio, define-se uma frente quente. Se nenhuma das massas de ar avança sobre a outra, a frente é dita estacionária.

Existe, ainda, o processo da oclusão, ou frente oclusa, que acontece quando frentes quentes e frias se alternam sucessivamente, formando chuvas leves e contínuas por vários dias no mesmo local. Nesse caso, atuam três massas de ar, com ar mais quente estando entre duas massas de ar mais frio, podendo a frente oclusa ser quente ou fria (FEDOROVA, 1999).

Como duas massas de ar distintas se movimentam independentemente, cada uma delas alterará a outra, de modo que a interação de ambas promove a formação característica de uma onda, razão pela qual Bowditch (1977) usou a expressão *onda frontal*. A onda frontal é a deformação horizontal do tipo ondular nos baixos níveis, comumente associada a um máximo de circulação ciclônica no escoamento próximo, que pode evoluir para um ciclone ou uma frente (OLIVEIRA *et al.*, 2001).

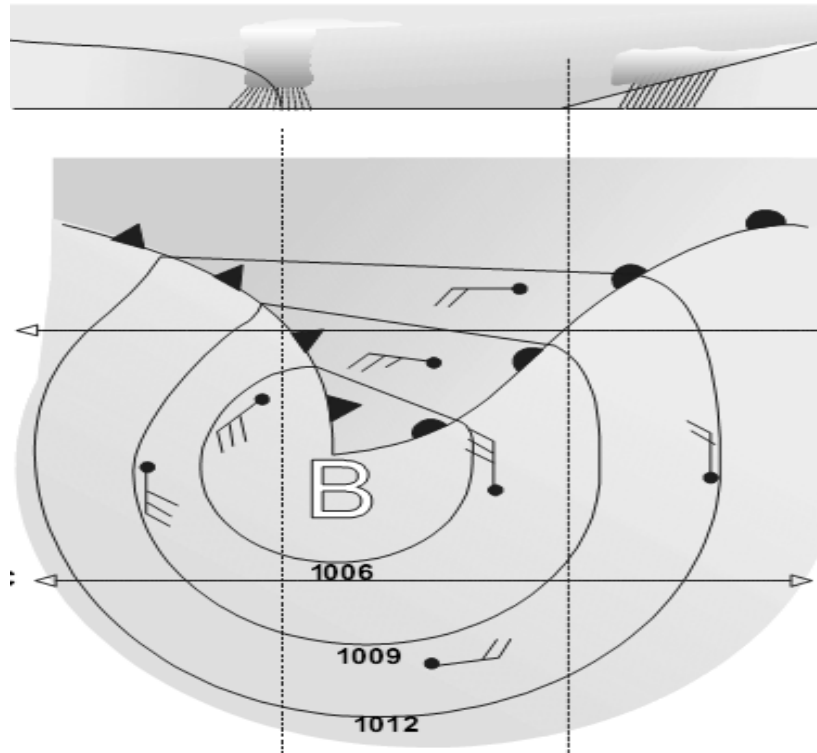


Figura 1 - Sistema Frontal em evolução no HS e seção transversal das frentes fria (esquerda) e quente (direita). Linhas inteiras: isóbaras (hPa).
 FONTE: VAREJÃO-SILVA (2001).

2.2 - Ciclones Frontais ou Baroclínicos

Entre 1920 e 1930, T. Bergeron, J. Bjerknes e H. Solberg introduziram o conceito de massas de ar e frentes (SCHULTZ *et al.*, 1998 e FEDOROVA, 2001). O primeiro modelo conceitual ciclônico, mais realístico, foi descrito por Bjerknes (1919), sendo mais tarde aperfeiçoado por Bjerknes e Solberg (1922). O Modelo Ciclônico Norueguês introduziu o conceito de *Teoria da Frente Polar*, indicando que os ciclones extratropicais se desenvolvem numa onda de pequena amplitude, resultante da instabilidade na frente polar, chegando ao estágio de oclusão (Figura 2). Em seu decaimento, torna-se um vórtice embebido dentro do ar frio. Resumidamente, esse modelo consiste em um sistema ciclônico composto de uma massa de ar frio e uma massa de ar quente. O ar frio forma uma rampa e eleva o ar quente. A distribuição típica de nuvens e a precipitação podem, então, ser explicadas como resultado do resfriamento adiabático do ar quente ascendendo sobre as frentes quente e fria (FEDOROVA, 2001).

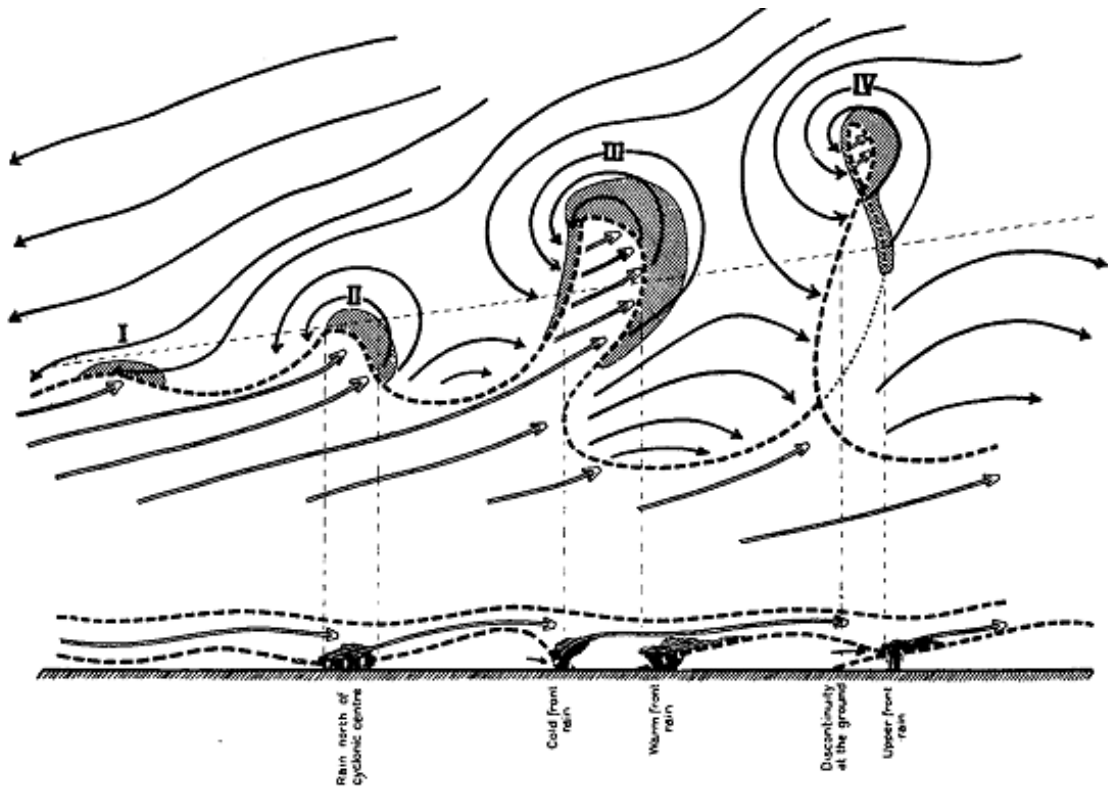


Figura 2 - Modelo Conceitual Norueguês para evolução dos ciclones frontais no NH (Bjerknes, 1921; Bjerknes e Solberg, 1922): (I) perturbação na onda, (II) e (III) estreitamento do setor quente, (IV) oclusão.
 FONTE: NEIMAN e SHAPIRO (1993).

Sutcliffe (1947) propôs o modelo de desenvolvimento de ciclones e anticiclones, estabelecendo que a advecção de vorticidade negativa no nível de não-divergência (HS) e o aquecimento entre a superfície e o nível de não-divergência são os dois principais mecanismos que contribuem para a ciclogênese em superfície.

No final do século XX, muitas pesquisas apresentaram a possibilidade de várias estruturas e evoluções de ciclones frontais (BROWNING, 1990; SHAPIRO E KEYSER, 1990; EVANS *et al.*, 1994; SMIGIELSKI E MOGIL, 1995; BOSART, 1998, citados por SCHULTZ *et al.*, 1998). Uma detalhada revisão bibliográfica sobre modelos de ciclones frontais foi elaborada por Shultz *et al.* (1998), obtendo dois grupos principais. O primeiro foi caracterizado por ciclones alongados meridionalmente e frentes frias dominantes (melhor explicados pelo modelo norueguês). O segundo apresentou ciclones alongados zonalmente com frentes quentes dominantes (melhor explicado pelo modelo de Shapiro-Keyser). A Figura 3 mostra a evolução do ciclone frontal pelo modelo de Shapiro-Keyser.

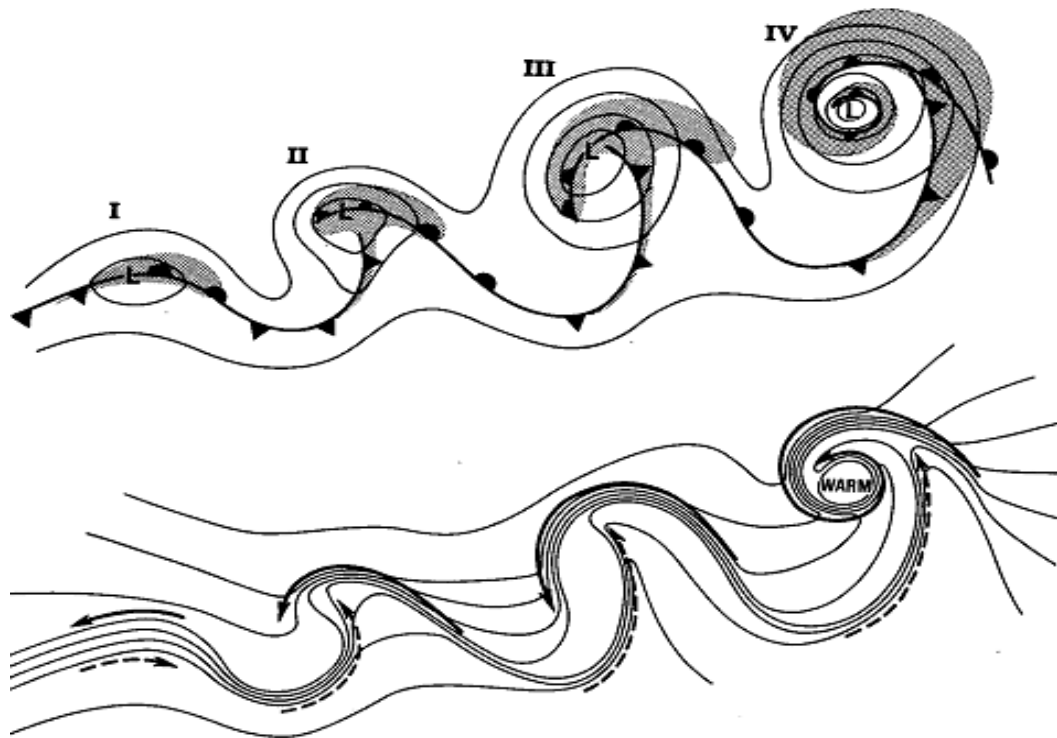


Figura 3 - Modelo conceitual alternativo para evolução dos ciclones frontais no HN (Shapiro e Keyser, 1990): (I) perturbação na onda, (II) fratura frontal, (III) frente em forma de T e frente curvada atrás, (IV) frente em forma de T e exclusão quente. Acima: Pressão ao nível médio do mar (linhas sólidas), frentes (negrito) e nebulosidade (sombreado). Abaixo: Temperatura (linhas sólidas), correntes de ar frio e quente (setas cheias e tracejadas, respectivamente).
 FONTE: NEIMAN e SHAPIRO (1993).

2.3 - Frente Secundária, Vórtice de Ar Frio e Oclusão Instantânea

As frentes secundárias possuem comprimentos horizontais de centenas de quilômetros e são observadas nos baixos níveis da atmosfera, com duração de 24 a 48 horas. São localizadas na retaguarda do ciclone e podem ser identificadas através de zonas de convergência nas linhas de corrente próximo da superfície. Nas frentes secundárias, não são observadas zonas frontais em altos níveis da atmosfera e nem corrente de jato (FEDOROVA, 1999).

A estrutura da frente secundária parece muito com a da frente fria que se desloca rapidamente, sendo observadas chuvas esparsas. Essas frentes se formam na retaguarda do ciclone, no cavado bórico, depois da oclusão do ciclone (FEDOROVA, 1999).

Os vórtices no ar frio são sistemas essencialmente baroclínicos que se desenvolvem na corrente de ar polar. Podem se formar em uma massa de ar barotrópica, apresentando uma linha de máxima curvatura ciclônica nas isóbaras em superfície sem possuir características térmicas de uma frente (REED, 1979). A Figura 4 mostra a localização desses vórtices na periferia de um vórtice maior, inteiramente dentro do ar frio.

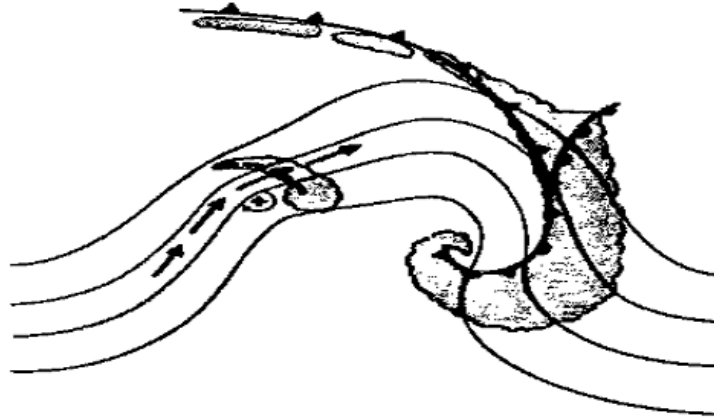


Figura 4 - Desenho esquemático de um vórtice no ar frio posicionado em um cavado na retaguarda da frente principal, no HS.
 FONTE: Adaptada para o HS de BUSINGER e REED (1989, p. 138).

Segundo Reed (1979) e Businger e Hobbs (1987), a maioria dos vórtices ciclônicos de ar frio se desenvolvem sobre os oceanos durante o inverno. Sobre a AS, sua formação ocorre preferencialmente nas estações de transição, nas vizinhanças do Paraguai, norte da Argentina, Uruguai e sul do Brasil, apresentando propagação de oeste para leste (BONATTI e RAO, 1987). Originam-se nos baixos níveis, em áreas com acentuada baroclinia, forte aquecimento e convecção intensificada, nas proximidades dos limites frontais pré-existentes e no lado de forte cisalhamento ciclônico das correntes de jato troposféricas superiores.

A formação de um vórtice ciclônico de ar frio é precedida por uma região com aumento da convecção, devido a forte curvatura ciclônica, uma bem desenvolvida corrente de jato na troposfera média e superior (a condição necessária para instabilidade barotrópica é normalmente satisfeita), ao aquecimento em baixos níveis e à taxa de variação vertical da temperatura instável até o nível de 500mb.

Diversos autores (HARLEY, 1960; HARROLD e BROWNING, 1969; MULLEN, 1979; RASMUSSEN, 1979; REED, 1979; LOCATELLI *et al.*, 1982; BONATTI, 1988; BONATTI e RAO, 1987) indicaram que a instabilidade baroclínica úmida,

instabilidade baroclínica modificada pela liberação de calor latente, instabilidade condicional do segundo tipo, (*Conditional Instability of the Second Kind*, CISK), e a esteira transportadora quente são alguns dos mecanismos que, combinados ou sozinhos, explicam a formação e/ou desenvolvimento das nuvens vírgula. As principais características dos vórtices de ar frio podem ser observadas na Tabela 1, resultado dos diversos estudos elaborados pelos autores mencionados (DERECZYNSKI, 1995):

Tabela 1 - Principais características dos vórtices de ar frio, baseadas nos vários estudos.
 FONTE: Adaptada de BONATTI (2004)

Nomenclatura:	- nuvem vírgula (invertida no HS) - vórtice de ar frio - vórtice em corrente de ar polar - baixa polar
Regiões de formação na América do Sul:	Paraguai, norte da Argentina, Uruguai e sul do Brasil
Escala horizontal:	500 a 1500 km
Tempo de duração:	2 dias
Estação do ano:	inverno
Velocidade de deslocamento para leste:	8 ms ⁻¹
Mecanismo gerador:	- instabilidade baroclínica úmida - instabilidade baroclínica modificada pela liberação de calor latente - CISK - esteira transportadora quente - ciclogênese à jusante dos Andes
Centro do vórtice:	Frio
Nível de formação:	Médios e inferiores

Frentes secundárias e vórtices no ar frio podem evoluir para uma oclusão instantânea, onde ocorre a associação entre a banda de nuvens associada ao cavado polar e a banda de nuvens associada com a frente polar, produzindo um sistema de nuvens na forma de lambda (BONATTI, 1988). Figura 5 mostra três seqüências básicas para o desenvolvimento de vórtices através das imagens de satélite.

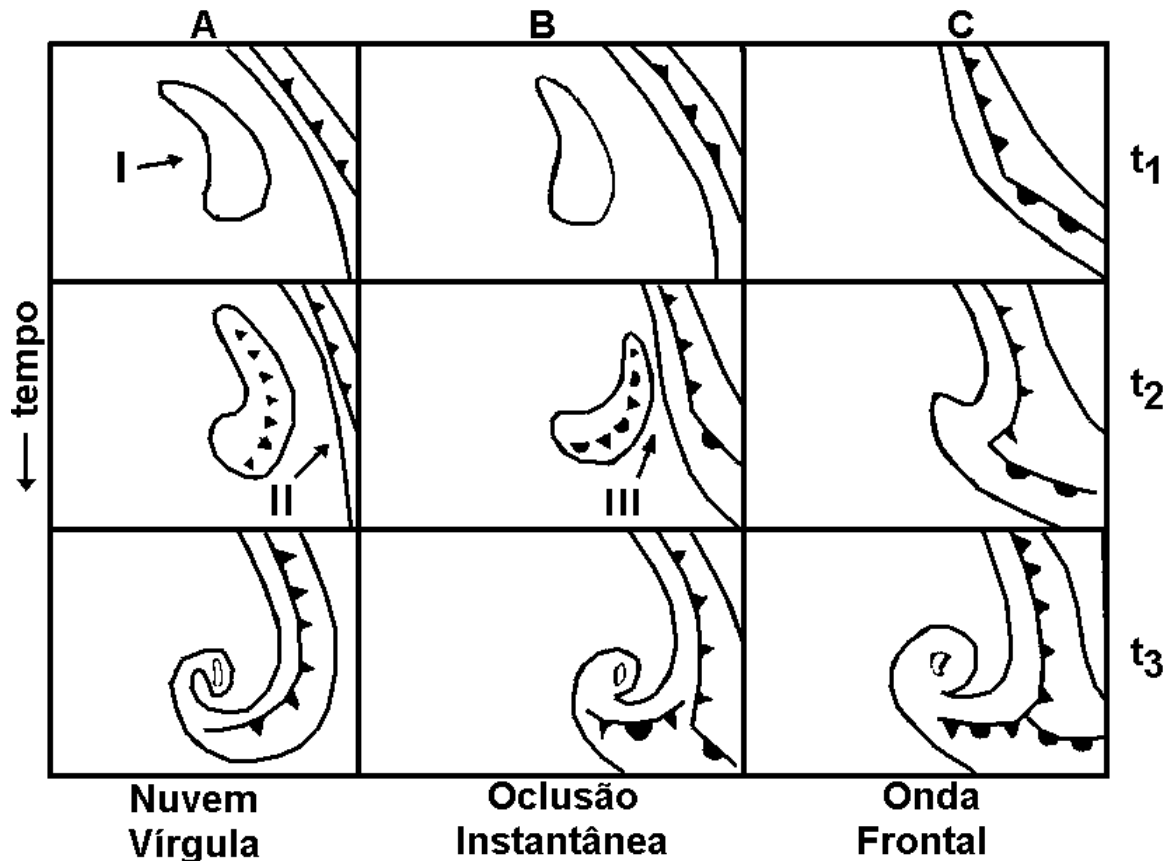


Figura 5 - Esquemática de três seqüências básicas para o desenvolvimento de vórtices observados através de imagens de satélite: **A)** desenvolvimento de nuvem vírgula inteiramente dentro do ar frio; **B)** desenvolvimento de uma oclusão instantânea; **C)** desenvolvimento de uma onda frontal. (I) região de forte convecção, (II) banda de nuvens em decaimento e (III) banda de nuvem convectiva, emergindo com uma banda de nuvem frontal.

FONTE: adaptada de BROWNING (1986), citado por BONATTI (1988).

2.4 - Ciclone Térmico ou Barotrópico

Uma baixa com núcleo quente ao nível do mar irá enfraquecer com a altura, podendo passar a ser uma alta nos níveis superiores. Esse tipo de ciclone é observado somente nos baixos níveis, quando o aquecimento próximo da superfície é maior que em outras regiões, podendo ser chamado de ciclone quente, ciclone térmico, ciclone local ou ciclone de baixos níveis (FEDOROVA, 2001).

A Baixa do Chaco é um sistema de baixa pressão termo-orográfico localizado entre o Paraguai e a Bolívia. Esse sistema tem papel importante na circulação em baixos níveis, sendo bem definida durante o verão (LICHTENSTEIN, 1989), devido ao saldo positivo de radiação solar (SELUCHI e MARENGO, 2000).

Hoffmann (1975), citado por Seluchi *et al.* (2003), analisou detalhadamente os mapas de superfície e mostrou a existência de dois centros de baixa pressão separados, o primeiro se localiza na região do Chaco e o segundo fica no noroeste da Argentina. A localização dos centros é apresentada na Figura 6.

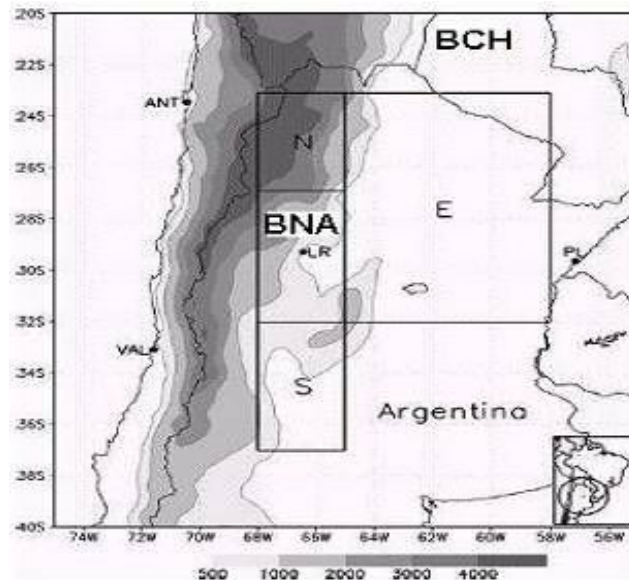


Figura 6 - Localização aproximada da Baixa do Chaco (BCH) e da Baixa no Norte da Argentina (BNA). Os contornos sombreados indicam a topografia, com isolinhas de elevações maiores que 500m.
 FONTE: SELUCHI *et al.* (2003).

Ao estudar a interação entre a extremidade frontal e o ciclone térmico sobre o continente, Signorini (2001) observou que a passagem da extremidade da frente no sul do Brasil é intensificada pela presença de um ciclone térmico no norte da Argentina.

Dois casos de ciclone térmico no norte da Argentina (verão/inverno) foram estudados por Seluchi *et al.* (2003). No verão, as mudanças de pressão foram claramente dominadas por uma variação na espessura da camada 600-900 hPa. No inverno, esse sistema foi bem identificado pela altura geopotencial no nível de 600 hPa. Uma forte variabilidade na espessura define a característica térmica desse sistema. Na Figura 7, vêem-se dois casos de interação entre a baixa no noroeste da Argentina e a extremidade dos sistemas frontais.

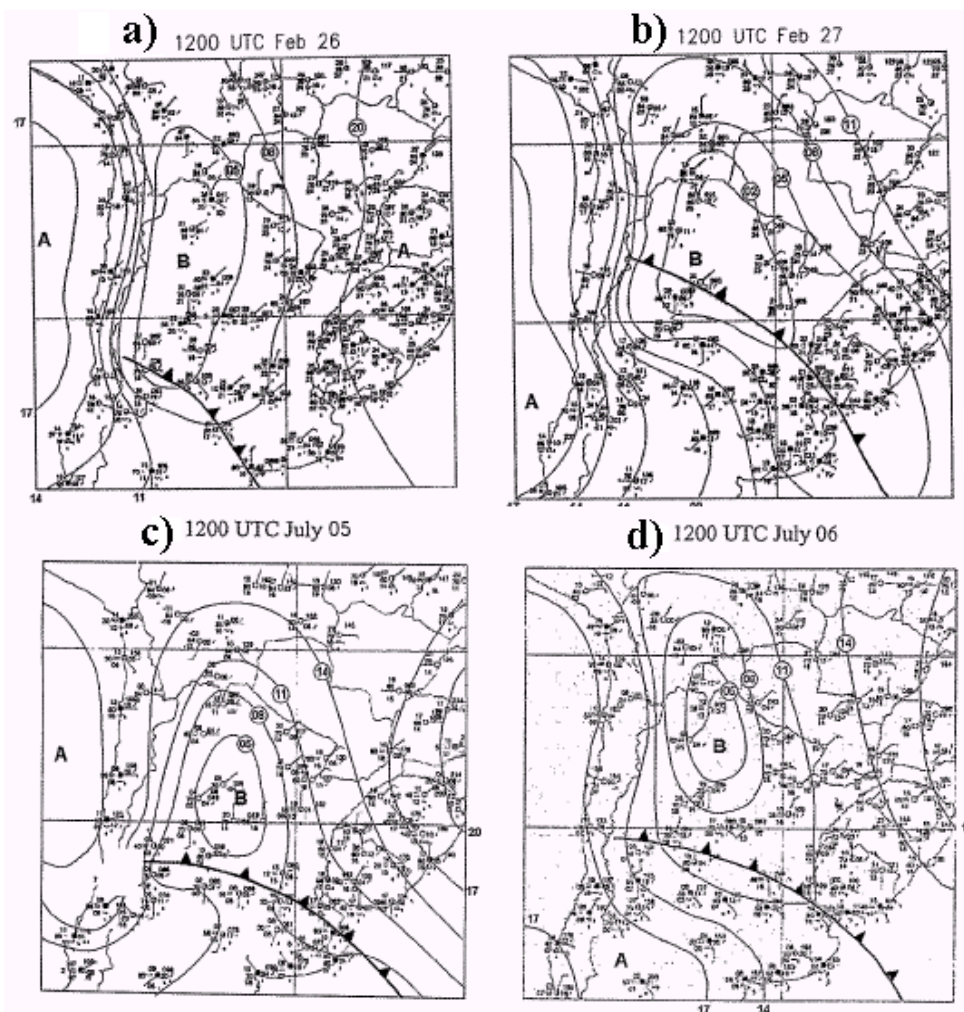


Figura 07 - Isóbaras com intervalos de 3 hPa, os símbolos são os usuais. (a) e (b) para o verão, 26 e 27 de fevereiro de 2000 e (c) e (d) para o inverno, 05 e 06 de julho de 2000. FONTE: adaptada de SELUCHI *et al.* (2003).

2.5 - Alta da Bolívia

Durante a primavera, verão e outono, há o surgimento de uma circulação anticiclônica em altos níveis chamada de Alta da Bolívia (AB) (SIGNORINI, 2001 e SELUCHI *et al.*, 2003), cuja origem é associada à liberação de calor latente (FIGUEROA *et al.*, 1995). Essa alta em níveis superiores está associada ao ciclone barotrópico em superfície.

De acordo com Gan (1993), a formação da AB ocorre devido ao prévio aquecimento do continente e, por consequência, também da troposfera, provocando queda da pressão local. Assim, surgem os movimentos convectivos em função da instabilidade atmosférica, favorecendo a formação de nuvens, as quais liberam calor latente, gerando

aquecimento e expansão do ar, formando a AB em altos níveis. Ferreira (1995) concluiu que a AB estava ligada a processos térmicos e dinâmicos como: forte aquecimento da superfície (calor sensível), convergência de umidade vinda da Amazônia (em baixos níveis), movimentos verticais ascendentes, formação de nuvens convectivas, precipitação e a conseqüente liberação do calor latente que gera a intensificação da circulação da AB.

Segundo Kousky e Kayano (1994), a baixa quente, associada à AB, se posiciona sobre a Bolívia no verão, sobre o oeste da Amazônia em outubro e se desloca para região central da Amazônia em abril.

Procurando uma possível conexão entre a circulação em altos níveis e a AB, Carvalho (1989) verificou que existe uma conexão direta entre a intensidade da AB e o cavado em seu flanco nordeste. Quando esse cavado é intensificado, forma-se um vórtice ciclônico de altos níveis. A intensidade da convecção está diretamente relacionada a AB.

2.6 - Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN's) são sistemas de escala sinótica, com circulação fechada que se formam na alta troposfera, podendo ser observados de 200hPa até 500hPa (KOUSKY e GAN, 1981). São caracterizados por baixas frias e, geralmente, apresentam um centro bem mais frio que a periferia, nos níveis superiores. Sua gênese e desenvolvimento apresentam características termodinâmicas que diferem de um lugar para outro. O lado leste apresenta maior formação de nebulosidade, produzindo chuva e fenômenos adversos. No centro são observados movimentos de ar subsidente, o que aumenta pressão em superfície e inibe a formação de nuvens. Destacam-se dois tipos de vórtices, conforme sua origem de formação: do tipo Palmén e do tipo Palmer (FRANK, 1970)

- VCAN de Palmén: formam-se quando “bolsões” de ar frio, associados com extensos cavados no ar superior, se desprendem e são confinados no lado da corrente média dos ventos de oeste (PALMÉN, 1949). Tem sua origem nas latitudes subtropicais, surgindo mais comumente no outono, inverno e primavera, raramente ocorrendo no verão.

- VCAN de Palmer: formam-se em latitudes tropicais, principalmente durante os meses de verão e raramente durante o inverno (PALMER, 1951). Não são originados pelo mesmo processo do vórtice do tipo Palmén, pois aparecem, primeiramente, em latitudes tropicais e não envolvem ar polar em nenhum de seus estágios. (PALMÉN e NEWTON, 1969).

Kousky e Gan (1981) sugeriram que a penetração de sistemas frontais induz a formação de VCAN's, especialmente nas baixas e médias latitudes. Nessas ocasiões, ocorre a amplificação da crista associada à AB e, conseqüentemente, do cavado corrente abaixo, formando, em última instância, um vórtice ciclônico sobre o Atlântico. Quando a frente fria avança sobre as regiões subtropicais, ocorre advecção de ar quente na sua vanguarda em baixos níveis (lado leste), podendo amplificar a crista em níveis superiores e, conseqüentemente, o cavado pré-existente. Esse processo de formação pode ser observado na Figura 8.

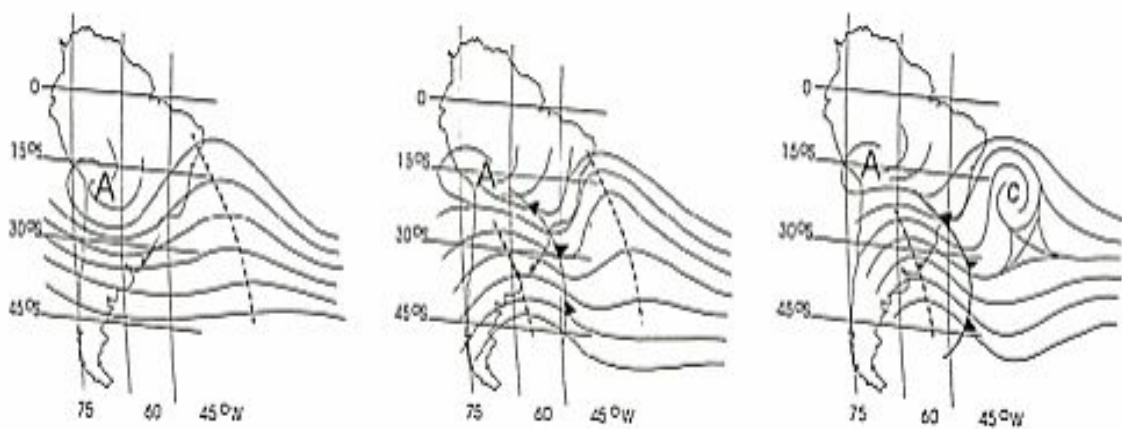


Figura 8 - Esquema de formação para o VCAN do tipo Palmer clássico sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul.
FONTE: KOUSKY e GAN (1981).

2.7 - Zona de Convergência da América do Sul

A Zona de Convergência da AS (ZCAS) é, convencionalmente, definida como uma faixa persistente, pelo menos 4 dias seguidos, de nebulosidade e precipitação, com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde o sul da região Amazônica até o Atlântico Sul-Central (QUADRO, 1994). É freqüentemente observada em imagens de satélite durante o verão austral.

Kodama (1993) caracterizou a ZCAS como uma forte convergência de umidade, frontogênese nos campos de temperatura potencial equivalente e a geração de instabilidade convectiva, associadas a um jato subtropical em altos níveis. Segundo Rivero (1991), os Andes possuem um importante papel para formação da ZCAS, favorecendo a formação da

faixa de nebulosidade convectiva, em conjunto com a convecção sobre a Amazônia e o Brasil Central.

A ZCAS reflete uma interação entre os sistemas tropicais e extratropicais, sendo identificada pela convergência de umidade na baixa troposfera, penetração de ar frio ao sul da banda de nebulosidade, presença de um cavado a leste da Cordilheira dos Andes (associado a movimentos ascendentes e orientado na direção noroeste-sudeste em 500 hPa), presença da AB em altos níveis e um cavado sobre a região Nordeste do Brasil e, em determinadas situações, um vórtice ciclônico e uma faixa de vorticidade anticiclônica em altos níveis (KODAMA, 1992; QUADRO, 1994; SANCHES e SILVA DIAS, 1996).

A formação da ZCAS depende tanto de forçantes locais quanto remotas. Localmente, a formação da ZCAS está associada com a convecção na Região Amazônica e Brasil Central e com a disponibilidade de umidade e baroclinia (FIGUEROA *et al.*, 1995) que são determinantes para sua ocorrência. Aparentemente, as influências remotas, tal como a convecção na Zona de Convergência do Pacífico Sul, modulam o início, duração e localização da ZCAS. Estudos mostraram que as Zonas de Convergência Sub-Tropicais aparecem somente quando duas condições de grande escala são satisfeitas: as existências do escoamento de ar quente e úmido em baixos níveis, em direção às altas latitudes, e de um jato subtropical em altos níveis, fluindo em latitudes subtropicais. De acordo com Barros *et al.* (2000), a configuração da temperatura da superfície do mar (TSM) pode ser importante para o seu posicionamento e intensidade, embora não seja um fator fundamental em sua formação. A influência das TSM do Atlântico na ZCAS ainda não é muito conhecida.

2.8 - Diversidade de Métodos para Identificação de Frentes

As frentes fria, quente e oclusa nem sempre são de fácil identificação. Com o surgimento dos livros de Petterssen (1940, 1956) e o artigo sobre frontogênese de Miller (1948), as zonas frontais foram caracterizadas pelo valor absoluto do gradiente horizontal de um escalar como a temperatura potencial. Hoje, os principais métodos, como o de Fedorova e Carvalho (2000), identificam frentes através das informações sumárias obtidas pelos dados de satélite e de diferentes campos, como pressão, linhas de corrente, temperatura, espessura, laplaciano da pressão, umidade e outros.

Na Literatura, foram encontrados diferentes critérios para análise frontal como, por exemplo:

- Pettersen (1956) determinou que, no campo de pressão, as frentes fossem localizadas em um cavado associado a um ciclone baroclínico extratropical, apresentando elevados gradientes nos campos de temperatura e/ou espessura.
- Parmenter (1976) analisou frentes se baseando somente em imagens de satélite.
- Kousky (1979) considerou a passagem frontal através da mudança na direção do vento para sul e uma variação na média diária da temperatura do bulbo úmido de 2 graus;
- Oliveira (1986) utilizou como critério para identificação de frentes uma banda de nebulosidade que se estendia desde a costa do continente até a região amazônica, para avaliar a interação de sistemas frontais com a convecção tropical.
- Bakst e Fedorova (1993) elaboraram um método automático para identificação de zonas frontais através dos dados de satélite geoestacionário nos canais infravermelho e vapor d'água.
- Smith *et al.* (1995) definiram um eixo de máxima vorticidade relativa para identificação das frentes.
- Fedorova e Carvalho (2000) identificaram a zona frontal em diversos campos. A linha da frente coincide com o eixo do cavado bórico no campo de pressão, com forte gradiente no campo de temperatura, convergência próxima a zona frontal no campo de vento e alta umidade nas proximidades da frente fria.
- Koch e Mitchem (2003) usaram imagens de satélite, análise isentrópica, perfis verticais e imagens de radar para estudar uma frente quebrada ou “split”.
- Andrade e Cavalcanti (2004) avaliaram as passagens frontais, considerando a queda de temperatura em 925 hPa, mudança na componente meridional do vento em 925 hPa e aumento da pressão ao nível médio do mar, no intervalo de dois dias.
- Souza e Nechet (2004) utilizaram o critério de mudança na direção do vento e queda na temperatura para estudar a influência de um sistema frontal na Amazônia Oriental.
- Da Cruz *et al.* (2008) identificaram uma frente através de imagens de satélite e dos campos horizontais de temperatura potencial equivalente e advecção de temperatura potencial equivalente, indicando que o posicionamento da frente é encontrado entre as áreas de advecção negativa e positiva, apresentando forte gradiente de temperatura potencial equivalente.

2.9 - Ondas de Frio na AS

O entendimento sobre os processos vinculados a entrada de massas de ar frio sobre a AS são de extrema importância, pois podem gerar fortes crises no tocante da saúde pública e significativas perdas econômicas, principalmente do ponto de vista agrícola (GARREAUD, 2000; LUPO *et al.*, 2001 e BEU E AMBRIZZI, 2004). Geadas, associada a essas penetrações, provocam perdas irreversíveis nas lavouras (MARENGO *et al.*, 1997, citado por VERA *et al.*, 2002). Os danos à lavoura de café, causados pela friagem intensa de julho de 1975 (GIRARDI, 1983), foram tão grandes que o Brasil perdeu a liderança de exportação desse produto naquela época.

Durante o inverno, o sul da Amazônia sofre forte influência de frentes frias que ocasionam bruscas alterações nas condições meteorológicas, causando uma diminuição da temperatura e umidade do ar e modificando as características ambientais. Esse fenômeno é conhecido localmente como “*friagem*” (FISCH, 1995). Trabalhos anteriores descreveram friagem como sendo uma forte entrada de ar frio vindo do sul, o qual penetra dentro dos trópicos e afeta a Amazônia (SERRA e RASTIBONA, 1941).

Garreaud (2000) fez uma climatologia, utilizando uma série contendo 17 anos de dados, onde descreveu a estrutura média e dinâmica das ondas de frio, para o inverno e verão. Poucas flutuações na temperatura e pressão foram encontradas nos episódios de verão. Contudo, a entrada de ondas de frio, nessa estação, tem sido relacionada com bandas de aumento da convecção e precipitação. Quedas de temperatura são comumente observadas durante os eventos de inverno, podendo ocorrer geadas.

O modelo conceitual proposto por Garreaud (2000) explica como ocorre a incursão de ar frio na AS (Figura 9). A Figura 9a mostra um vento geostrófico de sul, entre a alta e a baixa células de pressão, produzindo resfriamento em baixos níveis ao longo da costa leste da AS e mais para norte do continente, abaixo de 25°S. Estudos de surgimento de frio têm um maior impacto sobre o lado leste do continente, sendo enfatizado o rápido desenvolvimento de um ciclone à superfície sobre o Atlântico sudoeste. Nesses casos, o fluxo de sul, ao longo do flanco oeste da baixa, produz forte advecção fria sobre o centro da Argentina e o sul do Brasil. Contudo, o fluxo de baixos níveis é totalmente bloqueado pelos Andes subtropicais, principalmente para ageostrófico, fluxo paralelo ao terreno e represando o ar frio (Figura 9b). O ar frio move-se, então, até baixas latitudes (Figura 9c).

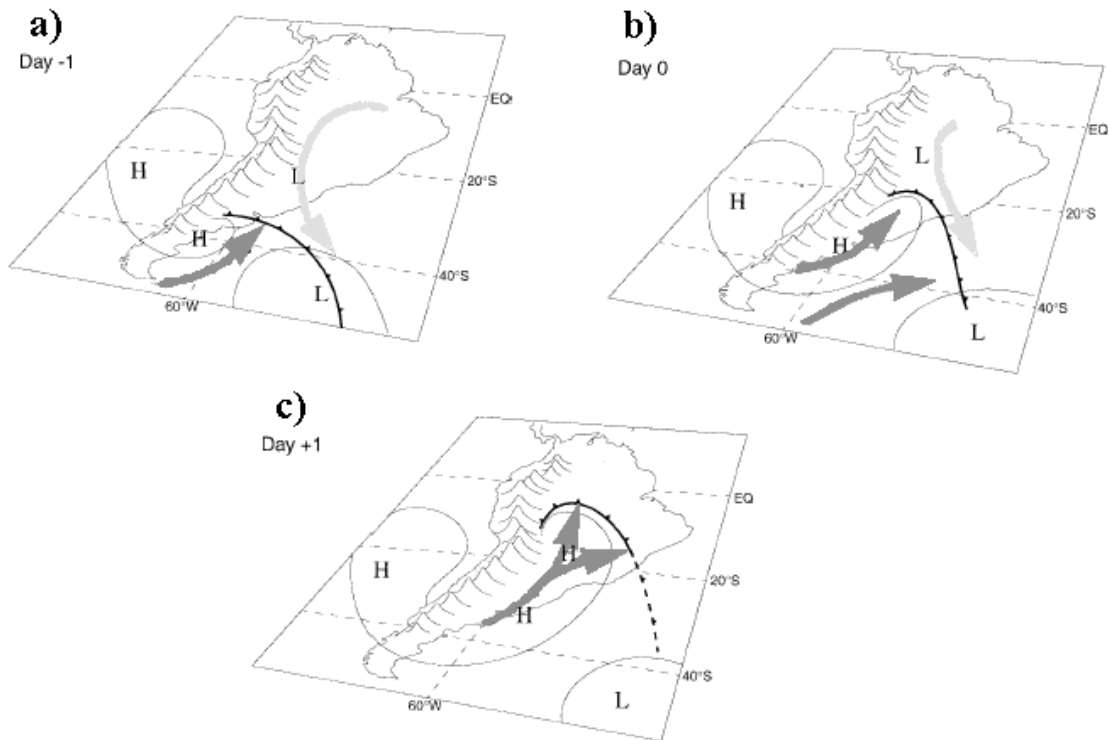


Figura 9 - Modelo conceitual para invasões de ar frio sobre a AS. As setas escuras representam advecção de ar frio, as claras advecção de ar quente em baixos níveis. As linhas representam superfícies isobáricas. A frente fria é mostrada de acordo com as convenções.
Fonte: adaptada de GARREAUD (2000).

Fortes ocorrências de ondas de frio resultam da interação entre uma perturbação ciclônica que se propaga meridionalmente para o equador e uma perturbação ciclônica em altos níveis em direção leste, localizada em latitudes subtropicais. Atrás das frentes frias, o ar frio é forçado a fluir em direção ao equador pelo leste dos Andes (VERA E VIGLIAROLO, 2000).

Uma climatologia das ondas de frio, de 1992 a 1996, foi elaborada por Lupo *et al.* (2001), concluindo que as ondas de frio são mais comuns durante o inverno e a primavera (74% dos casos). Estão associadas com a ocorrência de fortes anticiclones e a passagem de ciclones em superfície, podendo penetrar profundamente no continente sul-americano, as ondas de frio atingem latitudes subtropicais e, eventualmente, até tropicais. Dinamicamente, esses eventos estão associados à advecção da temperatura e vorticidade.

Beu e Ambrizzi (2004) estudaram dois casos para a primavera de 2002, concluindo que a presença e posicionamento de ondas de escala sinótica foram determinantes para as alterações do ambiente em latitudes subtropicais e tropicais, decorrentes da atuação do

par ciclone/anticiclone na AS. Além disso, a intensidade do ciclone não é fundamental para a ocorrência de friagens.

Todos os estudos, apresentados nesses trabalhos, dão como resultado, para uma onda de frio, a atuação de um par ciclone frontal e anticiclone pós-frontal. Ambrizzi e Pezza (1999) analisaram a associação entre ondas de frio e a propagação de ciclones extratropicais na região da América do Sul. As ondas transientes de ar superior, as frentes e os centros de pressão da superfície devem ser vistos como componentes de um mesmo sistema sinótico.

Baseando-se em vários estudos, foi apresentada uma síntese sobre a atuação de frentes e incursões de ar frio na região tropical da AS:

- Parmenter (1976) observou um vórtice frontal bem definido localizado na costa do Chile. Dois dias após, surge a intensificação de um máximo secundário de vortacidade ao longo da costa sul do Atlântico;

- Virji e Kousky (1983) mostraram uma situação de bloqueio ocorrendo em médias e altas latitudes na faixa latitudinal do Brasil. O campo de linha de corrente apresentou um fluxo dividido sobre o leste do Pacífico, com a parte norte do fluxo passando sobre o norte do Chile e centro do Brasil e a parte sul passando sobre o sul da AS, verificando-se velocidades acima de 40 m/s. O fluxo do tipo onda parece ter sido fundamental para penetração do ar frio para região tropical;

- Oliveira (1986) identificou a presença de um cavado em 200 e 850 hPa com inclinação horizontal para noroeste;

- Vera e Vigliarolo (2000) observaram uma fraca perturbação ciclônica em baixos níveis (850 hPa) se propagando para norte-nordeste à sotavento dos Andes e uma perturbação ciclônica em altos níveis (300 hPa) se movendo para leste sobre os Andes. Foi identificada a interação entre uma perturbação ciclônica na parte central do continente e um ciclone extratropical localizado no Atlântico sul;

- Para Garreaud (2000), a circulação de grande escala em médios níveis é caracterizada por uma onda longa em latitudes médias, com um cume imediatamente para oeste dos Andes. Corrente abaixo, passa sobre o leste da AS e o sudeste do Atlântico, exibindo uma amplificação antes e durante o estágio maduro da incursão de ar frio;

- Lupo *et al.* (2001) determinaram que a advecção de ar frio em 850 hPa e advecção de vortacidade potencial positiva no noroeste da Argentina são fatores importantíssimos;

- Para Beu e Ambrizzi (2004), a presença e o posicionamento de ondas de escala sinótica foi um dos fatores determinantes para as alterações do ambiente em latitudes

subtropicais e tropicais decorrente da atuação do par ciclone- anticiclone na AS. Observaram um amplo cavado e um extenso núcleo de vortacidade ciclônica sobre o Oceano Pacífico, em 500 hPa. Com o deslocamento desse cavado para leste, a AS fica sobre a influência de uma componente de ventos de sul.

2.10 - Convecção Tropical sobre a AS e a Chegada de Sistemas Frontais ao NEB

A maneira pela qual os sistemas das latitudes médias provocam a organização da atividade convectiva tropical ainda não é bem entendida. Uma rara penetração frontal que cruzou a linha do equador foi estudada por Parmenter (1976). A chegada de fortes sistemas frontais, vindos do HN, nas baixas latitudes implica em injeção de ar frio nas regiões tropicais, suprimindo a atividade convectiva na região do Caribe e fazendo ressurgir a atividade convectiva noturna no norte e no centro do Brasil.

Através de imagens de satélite, Kousky e Ferreira (1981) observaram o aumento da atividade convectiva associado a sistemas de latitudes médias que penetram em latitudes baixas sobre o Brasil. Concluíram que distúrbios associados com flutuações de pressão, geralmente, se propagam na direção leste e nordeste.

Segundo Kousky e Virji (1982), a existência de uma forte frente fria parece ser importante e pode contribuir para aumentar a convergência nos baixos níveis, tendo o mesmo efeito que a divergência em altos níveis, o que intensifica a convecção.

Oliveira (1986) fez um estudo climatológico sobre a interação entre sistemas frontais e a convecção tropical, utilizando uma série de dados de 1974 a 1984. Foram definidos 4 padrões para modulação da convecção tropical (Figura 10). A forma de faixas de nebulosidade convectiva é organizada pela interação entre os sistemas frontais e a convecção tropical. No verão, uma frente, ao interagir com a convecção na Amazônia em presença da Alta da Bolívia e da Baixa do Nordeste, torna-se quase-estacionária, contribuindo significativamente para o regime de precipitação no sudeste.

Os sistemas frontais, que organizam extensas faixas de nebulosidade convectiva, com intensa precipitação, possuem penetração meridional no continente. Estão associados a cavados de ar superior (200 hPa) e em baixos níveis, com inclinação horizontal para noroeste, os quais produzem forte advecção de ar frio para o interior do continente e subsidência atrás da frente em toda a coluna atmosférica, resultando em uma região de céu claro. Por outro lado, forma-se uma zona de confluência em baixos níveis (850 hPa), onde se verifica

advecção de ar quente e convergência em baixos níveis na extremidade da frente. A faixa de nebulosidade convectiva está associada à divergência nos altos níveis e a movimentos verticais ascendente em 500hPa. O deslocamento do sistema frontal para latitudes mais baixas é acompanhado pela formação de movimento ascendente no cavado, com orientação preferencial noroeste-sudeste (OLIVEIRA, 1986).

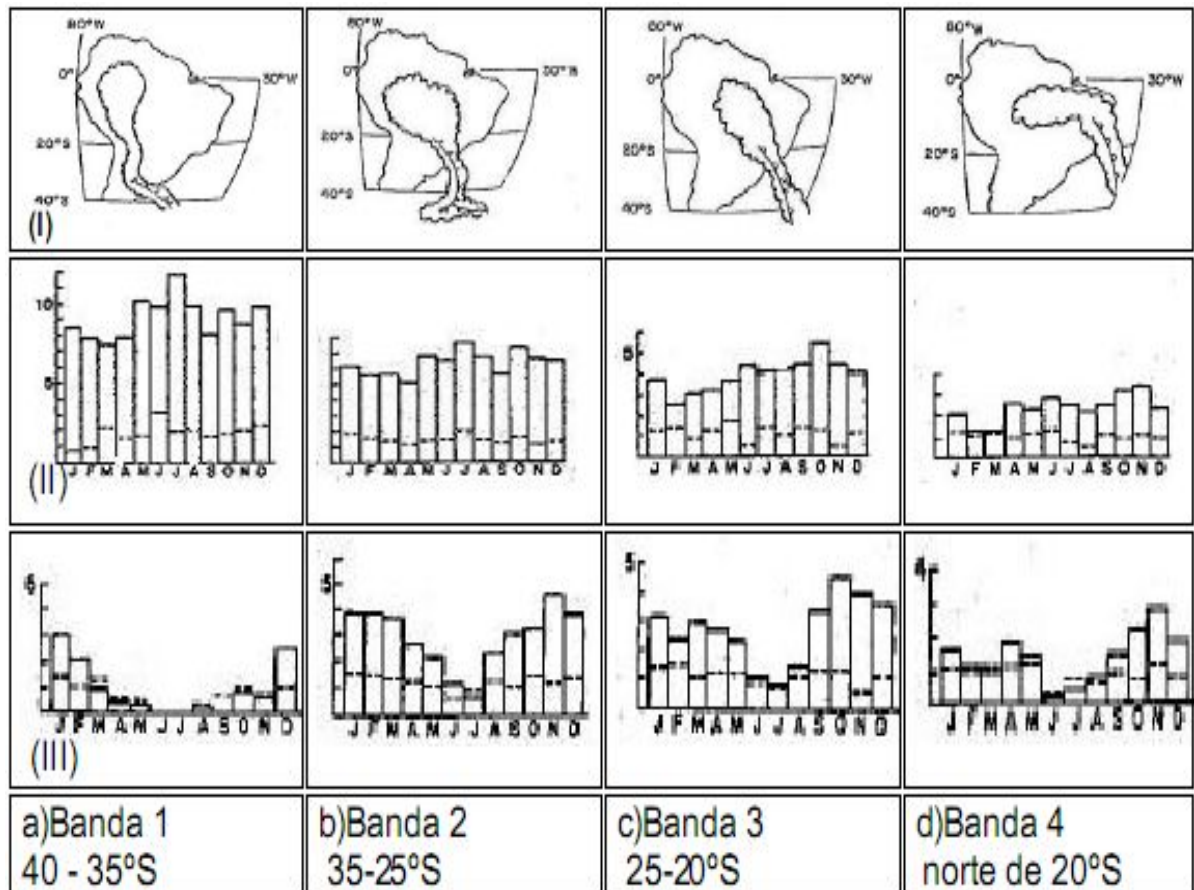


Figura 10 - Esquema típico de formação de faixa de nebulosidade convectiva (I), distribuição mensal de sistemas frontais que penetram nas bandas de latitude (II) e distribuição mensal do número de sistemas frontais que organizaram convecção tropical (III) nas bandas de latitude a,b,c e d.

Fonte: Adaptada de Oliveira (1986), citado por ANDRADE (2005).

Ferreira *et al.* (2004) também observou uma significativa interação envolvendo sistemas frontais e atividades convectivas no sudoeste da Amazônia. Souza e Nechet (2004) estudaram a influência frontal na Amazônia Oriental. O sistema frontal influenciou o tempo nessa região juntamente com a Zona de Convergência Intertropical e sistemas locais.

Um acontecimento atípico, em fevereiro de 1980, foi estudado Molion et al. (2006). Os autores concluíram que quando os sistemas frontais do HN chegam à região equatorial, sobre o oeste da África e Atlântico Norte, podem interagir com os sistemas frontais do HS, posicionados na costa do Sudeste brasileiro. Nessas condições, a interação contribuiria para concentração de atividades convectivas na faixa latitudinal entre 6°S – 12°S, com direção E-W, cobrindo as principais bacias da margem direita dos rios Solimões e Amazonas. A presença de uma extensa massa de ar seco, do lado equatorial de 9°S, mantém o noroeste da AS desprovido de nebulosidade. Essa massa de ar seco poderia ter sido causada pela penetração de uma crista pós-frontal sobre o norte da América do Sul.

Siqueira (2003) fez um estudo sobre a propagação meridional da convecção sobre a AS, definindo três tipos:

Tipo 1 - Mais freqüente durante a primavera austral e o verão, contribuindo para pelo menos 37 % e 32 % da variabilidade total interdiurna da convecção durante essas estações do ano, respectivamente. Afirmou que a passagem de uma frente fria sobre o sudeste da AS, avançando para norte com a convecção até o centro da AS, o sul do Nordeste da AS e a região Amazônica, é o principal padrão espacial de variabilidade convectiva expresso pelas imagens médias e pelas análises por Componentes Principais Complexas aplicadas aos campos de nuvem para o tipo 1.

Tipo 2 - Esse tipo tem a maior freqüência de ocorrência durante o verão austral e contribui para, no mínimo, 16 % da variabilidade total interdiurna da convecção nessa estação. Concluiu que a passagem de uma frente fria sobre o sudeste da AS, nos primeiros dias de ocorrência dos eventos, acompanhada de uma banda de nebulosidade convectiva quasi-estacionária estendendo-se da região Amazônica até o Oceano Atlântico sul, para períodos maiores que três dias, é o principal padrão espacial de variabilidade encontrado, estando associado com a formação da ZCAS.

Tipo 3 - É consideravelmente mais freqüente durante o inverno austral e contribui para, pelo menos, 50 % da variabilidade total interdiurna da convecção sobre a AS durante essa estação. Os sistemas frontais que pouco interagem com a convecção tropical na AS e exibem propagação quasi-estacionária (em relação à direção meridional) com a convecção sobre os subtrópicos e/ou latitudes médias, caracterizam o terceiro tipo de propagação meridional da convecção identificado sobre o continente.

Gemiacki (2005) estudou detalhadamente a passagem de dois sistemas frontais sobre a AS, durante a estação seca do NEB. No primeiro evento, a frente influenciou as condições de tempo em toda AS, chegando até Alagoas (AL). No segundo, a frente teve um deslocamento zonal, modificando o tempo apenas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Os principais resultados obtidos para chegada do sistema frontal em AL foram:

- O ciclone frontal, associado à frente fria, estava ao sul de 60°S quando a onda frontal começou atuar na AS;
- Houve uma interação entre o cavado frontal e um ciclone térmico no norte da Argentina;
- Ocorreu o surgimento de duas frentes secundárias, seguidas por duas oclusões instantâneas;
- Nova ciclogênese na frente principal que estava sobre o Atlântico, próxima à 30°S, intensificando a frente principal;
- Presença e interação entre a corrente de jato subtropical (CJS) e a corrente de jato polar (CJP), com eixo em torno de 25°S e 55°S, respectivamente;
- Deslocamento da AB para leste, chegando até o oeste da região NEB;
- O ciclone, que surgiu no Atlântico, se deslocou para sudeste.

A penetração de sistemas frontais do Hemisfério Norte em latitudes equatoriais, sobre o Atlântico Norte ou sobre o Continente Africano, principalmente em anos de La Niña, no período de novembro-abril, e a penetração de sistemas frontais do Hemisfério Sul em latitudes equatoriais sobre o Atlântico Sul, no período de maio-agosto, são os principais mecanismos causadores das Perturbações Ondulatórias nos Alísios (SILVA e MOLION, 2002). Da Cruz et al. (2006) mostraram que restos frontais podem interagir com essas perturbações nos Alísios, gerando sistemas baroclínicos atípicos chamados de Vórtices Ciclônicos de Baixos Níveis (VCBN).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Região de Estudo

A região de estudo compreende toda AS e suas adjacências. Circundada pelos Oceanos Pacífico e Atlântico Sul, tal região se estende de 30°N a 60°S, entre as longitudes de 0° e 90°W.

3.1.1 - A América do Sul

A AS é composta por Brasil, Suriname, Guiana, Venezuela, Colômbia, Equador, Peru, Bolívia, Paraguai, Uruguai, Argentina e Chile, totalizando 12 países, além de um Departamento Ultramarino da França, conhecido como Guiana Francesa (Figura 11). Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE – site: www.ibge.gov.br), a AS possui uma extensão territorial de 17.815.562 Km² e uma população total de 384.736.107 habitantes.



Figura 11 - Mapa da região estudada.
Fonte: <http://histgeo.ac-aix-marsellie.fr>

3.1.2 - A Região Nordeste do Brasil e o Estado de Alagoas

Segundo o IBGE, a região do NEB possui uma extensão territorial de 1.561.177,8 km² (correspondente a 18,33% da área total do Brasil) e uma população de 51.534.406 habitantes (representando 28% da população brasileira). É constituída pelos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, totalizando nove estados (Figura 12). Possui um clima tropical com três períodos chuvosos bem definidos. No leste do Nordeste (Zona da Mata e Agreste), a estação chuvosa compreende os meses entre abril e agosto. A porção setentrional (região do semi-árido) apresenta sua quadra chuvosa entre fevereiro e maio. Na parte sul (oeste e centro-sul do Estado da Bahia, extremo sul do Maranhão e sul do Piauí), o principal período chuvoso estende-se de outubro a março.

O Estado de Alagoas (AL) é o principal alvo deste estudo e está localizado no leste da região, limitado entre os paralelos 8°45'S e 10°30'S e entre os meridianos de 35°09'W e 38°14'W (Figura 12). Possui um clima tropical e temperatura média anual de 24°C (SILVA, 2002).



Figura 12 - Mapa da região nordeste do Brasil.
Fonte: IBGE.

3.2 - Dados

Em grande parte do globo, é comum a dificuldade de encontrar séries de dados que possibilitem a elaboração de pesquisas científicas com grande cobertura espacial e temporal. A precariedade e a má distribuição das redes de estações meteorológicas em superfície, a baixa utilização de radiossondas para aquisição dos dados de ar superior e a grande extensão dos oceanos, são fatores determinantes para inexistência de séries consistentes. Felizmente, novas fontes de dados como a geração de campos globais em pontos de grade através de modelos de reanálises (ex: NCEP/NCAR e o ECMWF), imagens de satélites, radares meteorológicos e outras ferramentas advindas do sensoriamento remoto, possibilitam contornar tais problemas.

Para elaboração dessa pesquisa, foram utilizados dados derivados dos produtos de Reanálise dos modelos globais NCEP/NCAR e imagens de satélite no espectro infravermelho. Uma descrição dos conjuntos de dados é apresentada nas seções a seguir.

3.2.1 - Dados de Reanálise

Para elaboração dos campos meteorológicos utilizados neste estudo, foram utilizados dados do arquivo de Reanálises do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) / *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), através do site <http://www.cdc.noaa.gov>. Trata-se de um modelo *estado da arte*, com dados gerados em uma resolução T062L28. Operacionalmente, o modelo espectral global faz truncamento triangular de 42 ondas na coordenada horizontal, representando uma grade regular de $1,875^\circ \times 1,875^\circ$ (~210 x 210km), e utiliza 28 camadas na coordenada vertical. Os dados de saída são interpolados para uma grade com espaçamento de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ lat / lon (~280km, somando um total de 144 x 37 pontos de grade na horizontal). Contem 17 níveis de pressão na vertical (entre 1000hPa e 10hPa). Uma descrição mais detalhada pode ser encontrada em Kalnay *et al.* (1996) e Kistler *et al.* (2001).

Foram utilizados conjuntos de dados, contendo informações em quatro horários sinóticos (00, 06, 12 e 18 UTC), para os anos de 2004, 2005 e 2006. As variáveis utilizadas foram:

- pressão ao nível médio do mar (PNM, em Pa);
- umidade relativa (UR, em %) para 925, 850, 700, 500, 300hPa;
- geopotencial (ϕ , em mgp) para 925, 850, 700, 500, 300 e 200hPa;
- temperatura (T, em K) para superfície, 925, 850, 700, 500, 300 e 200hPa;
- vento zonal (u, em ms^{-1}) para superfície, 925, 850, 500, 300 e 200hPa;
- vento meridional (v, em ms^{-1}) para superfície, 925, 850, 500, 300 e 200hPa.

3.2.2 - Imagens de Satélite

Foram utilizados mosaicos de imagens dos satélites GOES-10 e METEOSAT, no canal espectral infravermelho (canal 4 entre 10,2 e 11,2 μm e 10,8 μm , respectivamente). Essas imagens abrangem toda região territorial da AS e da África. As imagens foram obtidas em todos horários disponíveis para o período entre janeiro de 2004 e dezembro de 2006, através do site <http://www.cptec.inpe.br/satélite> mantido pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

3.3 - Metodologia

3.3.1 - Escolha e Agrupamento dos Casos

Inicialmente, foi realizada a identificação de todos os sistemas frontais que atuaram sobre a AS no período entre 1º de janeiro de 2004 e 31 de dezembro de 2006. Tal identificação teve como base a análise subjetiva das imagens de satélite e, em seguida, uma verificação através da Revista Climanálise. Disponível no site <http://www.cptec.inpe.br/climanalise> (CPETC/INPE), a revista mensal descreve o comportamento de sistemas frontais e frontogêneses que ocorreram no Brasil.

Para compreender melhor os fatores que influenciam a chegada de sistemas frontais a região do NEB, os eventos selecionados foram divididos em grupos. Primeiramente, uma divisão em função das características similares encontradas entre os eventos e, posteriormente, uma divisão sazonal, ou seja, por estações do ano.

Os eventos, que possuíram características semelhantes de nebulosidade sobre a região do NEB, foram reunidos, *a priori*, utilizando, como critério, as mesmas condições para escolha dos eventos. Os critérios adotados e seus respectivos agrupamentos seguiram a seguinte lógica:

Grupo 1 (G1): Passagem do sistema frontal, ou de sua extremidade, sobre o estado de AL;

Grupo 2 (G2): Banda de nebulosidade sobre o estado de AL, organizada pela extremidade frontal, localizada sobre o Atlântico Tropical Sul;

Grupo 3 (G3): Atividades convectivas sobre o estado de AL, organizadas pela extremidade frontal, localizada sobre o Atlântico Tropical Sul;

Grupo 4 (G4): Passagem do sistema frontal sobre o Atlântico Tropical Sul, ou de sua extremidade, na mesma latitude da costa alagoana e sem influenciar as condições de tempo sobre o Estado.

Em função das características citadas, foram selecionados 26 casos para o estudo. Esses sistemas atuaram sobre a AS e representaram peculiaridades de diferentes sistemas frontais, como: origem das massas de ar, local de formação das frentes, intensidade dos sistemas, trajetória, deslocamento, interação com outros sistemas.

Seqüencialmente, a divisão sazonal agrupou eventos que tiveram sua ocorrência observada nas seguintes estações:

- Verão austral (VA) - D, J, F;
- Inverno austral (IA) - J, J, A;
- Estação de transição fria ou outono austral (TF) - M, A, M;
- Estação de transição quente ou primavera austral (TQ) - S, O, N.

A separação se faz necessária visto que mudanças sazonais no escoamento de grande escala predizem condições diferentes para se determinar as causas da chegada de sistemas frontais sobre o NEB.

3.3.2 - Parâmetros e Campos Utilizados

A seguir foi feita uma descrição dos parâmetros meteorológicos que foram usados para analisar as características dos sistemas frontais:

- Advecção horizontal de temperatura (AT):

$$AT \equiv -\mathbf{V}_H \cdot \nabla_H T = -\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right)$$

onde:

AT - advecção de temperatura (K/s);

u - componente zonal do vetor vento (m/s);

v - componente meridional do vetor vento (m/s).

- Temperatura potencial equivalente (θ_e), segundo Bolton (1980):

$$\theta_e = T_K \left(\frac{1000}{p}\right)^{0,2894(1-0,28 \times 10^{-3}r)} \exp\left[\frac{3,376}{T_{lcl}} - 0,00254r(1 + 0,81 \times 10^{-3}r)\right]$$

onde:

θ_e - temperatura potencial equivalente (K);

T_K - temperatura absoluta (K);

r - razão de mistura (g kg^{-1});

T_{lcl} - temperatura no nível de condensação por levantamento (K), pela

expressão:

$$T_{lcl} = \frac{1}{\frac{1}{T_d - 56} + \frac{\ln(T_K - T_d)}{800}} + 56$$

T_d é a temperatura do ponto de orvalho.

- Advecção horizontal de temperatura potencial equivalente ($A\theta_e$):

$$A\theta_e \equiv -\mathbf{V}_H \cdot \nabla_H \theta_e = -\left(u \frac{\partial \theta_e}{\partial x} + v \frac{\partial \theta_e}{\partial y}\right)$$

onde:

$A\theta_e$ - advecção de temperatura potencial equivalente (K/s);

u - componente zonal do vetor vento (m/s);

v - componente meridional do vetor vento (m/s).

- Espessura ($\delta\Phi$):

$$\delta\Phi \equiv \Phi_1 - \Phi_0 = R \ln \left(\frac{p_0}{p_1} \right) \bar{T}$$

onde:

$\delta\Phi$ - espessura da camada (m);

Φ_1 - geopotencial no nível 1 (m);

Φ_0 - geopotencial no nível 0 (m);

R - constante dos gases para o ar seco (J/kg*K);

p_0 - pressão no nível 0 (Pa);

p_1 - pressão no nível 1 (Pa).

- Componente vertical da vorticidade relativa (ζ):

$$\zeta = \mathbf{k} \cdot (\nabla \times \mathbf{V}) = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

onde:

ζ - vorticidade relativa (10^{-4} s^{-1});

u - componente zonal do vetor vento (m/s),

v - componente meridional do vetor vento (m/s).

O software *Grid Analysis and Display System* (GrADS), versão 1.8SL11 (DOTY, 2001), foi utilizado para visualizar os campos. Através da análise das figuras, foi possível observar as propriedades e características das zonas frontais, das massas de ar envolvidas e de outros sistemas que favoreceram o deslocamento das frentes até o NEB.

3.3.3 - Identificação das Zonas Frontais

A análise das zonas frontais é um dos pontos de maior confusão para o meteorologista operacional, especialmente quando se interpretam os mesmos utilizando resultados de modelos globais. Não podendo ser identificadas por uma carta isoladamente, é preciso uma verificação simultânea de sua existência através de vários campos. Assim, a interpretação de um meteorologista é de fundamental importância para identificar a região de atuação das frentes e seus efeitos sobre as condições de tempo presente.

Neste estudo, foram empregados métodos clássicos e bem difundidos na literatura para identificação e análise dos sistemas frontais. Esses métodos foram apresentados por Petterssen (1940, 1956), Bluestein (1993), Smith *et al.* (1995) e Fedorova e Carvalho (2000). Na prática, verificaram-se as características das zonas frontais observadas em cada um dos diferentes campos aqui utilizados:

- Pressão → cavado do ciclone baroclínico;
- Espessura → região com notório gradiente;
- Linhas de corrente → confluência ao longo do cavado bórico;
- Vorticidade relativa → eixo de máxima vorticidade ciclônica;
- Advecção de temperatura → região entre a advecção fria e a advecção quente.

Dessa forma, foi possível complementar a distribuição dos casos entre os grupos G1, G2, G3 e G4. A complementação do agrupamento se deu da seguinte maneira:

- G1:** A zona frontal sobre AL foi identificada na imagem de satélite e em, pelo menos, um dos campos analisados.
- G2:** Os campos não mostraram a existência de uma zona frontal sobre AL. Pela imagem de satélite, foi identificada uma banda de nebulosidade pouco ativa, organizada pela extremidade frontal situada sobre o Atlântico Tropical Sul.
- G3:** Os campos não mostraram existência de uma zona frontal sobre AL. Pela imagem de satélite, foram identificadas atividades convectivas, organizadas pela extremidade frontal situada sobre o Atlântico Tropical Sul.
- G4:** A extremidade frontal foi observada sobre o Atlântico Tropical Sul, na mesma latitude da costa alagoana, sem interferir nas condições de tempo sobre o Estado. Sistema identificado através das imagens de satélite ou em, pelo menos, um dos campos utilizados.

Além da identificação das zonas frontais com o uso dos métodos clássicos, procurou-se avaliar outros campos que, em geral, não são utilizados pelos centros de previsão operacional do tempo. Assim, através de tais campos, a posição frontal ficou caracterizada da seguinte forma:

- Campo horizontal de $\theta_e \rightarrow$ claro gradiente, apresentando uma onda com altos valores de θ_e ($OAV\theta_e$) na vanguarda e outra com baixos valores de θ_e ($OBV\theta_e$) na retaguarda;
- Campo de $A\theta_e \rightarrow$ região entre a advecção negativa e a advecção positiva de θ_e .

Para representar as posições frontais, utilizou-se uma representação policromática. A frente fria foi representada pela cor azul, onde o azul escuro representa a frente no campo de pressão e o azul claro identifica a frente fria em outros campos, como linhas de corrente, advecção de θ_e e imagens de satélite. A frente quente foi mostrada por uma linha na cor vermelha. A frente secundária e a frente fria em dissipação foram apresentadas por uma linha na cor azul escuro tracejada. A Figura 13 mostra o esquema de cores atribuídas.



Figura 13 - Esquema para representação das frentes.

3.3.4 - Advecco de Temperatura Potencial Equivalente

Foi dada ênfase às análises do campo de $A\theta_e$. O enfoque dado a essa ferramenta  motivado pela sua capacidade de identificar, com alto grau de excelência, os processos ciclogenticos e o posicionamento das zonas frontais. Da Cruz *et al.* (2008), mostraram que, se comparado ao campo clássico de adveccão de temperatura, a identificação do ciclones extratropicais e de suas frentes principais são otimizadas com o uso desse campo, principalmente nas regiões tropicais.

A localização de uma frente fria, bem definida no campo de pressão, pode ser vista na vanguarda de uma adveccão negativa e retaguarda de uma adveccão quente. Sua posição aproximada  na transição entre a área de adveccão negativa e a área de adveccão positiva. Um exemplo da identificação da frente principal fria pode ser visto na Figura 14.

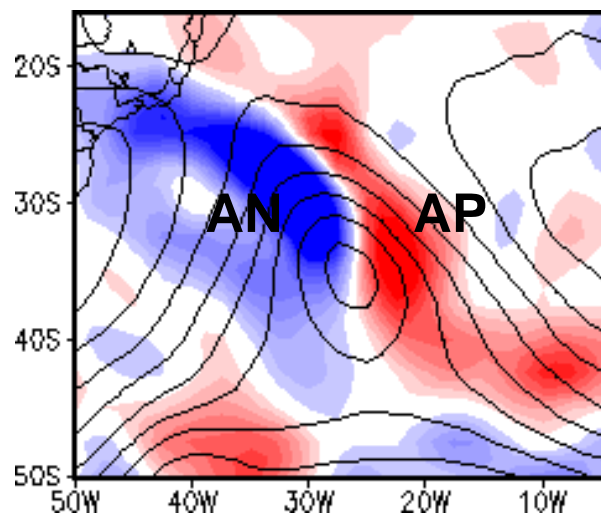


Figura 14 - Identificação da frente fria pelo campo de $A\theta_e$, juntamente com o campo de pressão ao nível médio do mar, no dia 26/04/2005, às 18UTC. AN  a adveccão negativa e a AP  a adveccão positiva.

3.3.5 - Identificação dos Fatores

Para cada evento, o período analisado teve início no momento em que a última onda frontal começou a atuar sobre o continente, dias antes de influenciar o tempo em AL. As análises se estenderam até seus efeitos não serem mais percebidos sobre o mesmo.

Considerando as situações sinóticas presentes em baixos, médios e altos níveis, procurou-se identificar qual, ou quais, fatores foram mais relevantes para o deslocamento meridional de sistemas frontais sobre a AS e sua chegada ao Estado de AL. Utilizando figuras compostas por campos bariométricos, térmico, de umidade e de circulação, juntamente com suas sobreposições sobre imagens de satélite, foi possível identificar o papel de cada fator e as características de nebulosidade associada a certas variações nos campos.

A fim de reportar as informações referentes ao conteúdo descrito acima, foram elaboradas tabelas contendo todos os resultados encontrados para cada fator analisado, de forma espacial e temporal. Assim, foi possível organizar, descrever e comparar os processos físicos atmosféricos relacionados a cada evento, além de determinar em quais situações um ou outro fator foi mais significativo. Os fatores analisados em baixos, médios e altos níveis, a metodologia para o preenchimento das tabelas e os campos utilizados para suas identificações são apresentados a seguir:

- Baixos Níveis:

Fator 1 (F1) – Foram definidas três áreas de localização (A) para existência de um vórtice frontal bem definido na costa do Chile (PARMENTER, 1976), apresentadas na Figura 15. Foram utilizadas imagens de satélite e campos de PNM, espessura da camada 700 – 1000 hPa, linhas de corrente, vorticidade relativa, geopotencial, θ_e , AT e $A\theta_e$ em 925 e 850 hPa.

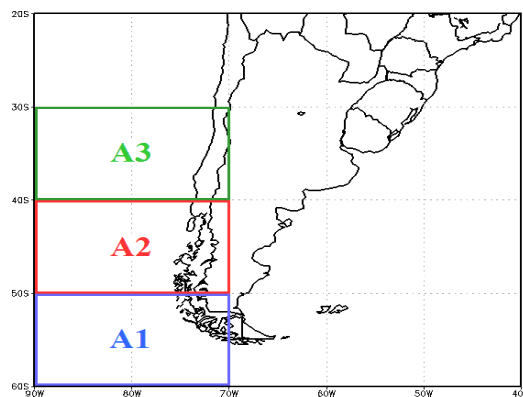
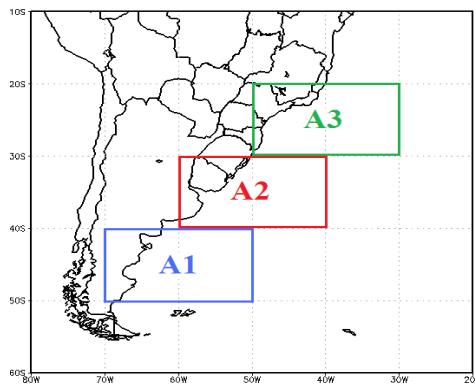


Figura 15 - Áreas para localização dos vórtices baroclínicos no momento em que a onda frontal começa a atuar na AS.

Fator 2 (F2) – Parmenter (1976) observou o surgimento de um máximo secundário de vorticidade ciclônica ao longo da costa sudeste da AS, ocorrendo dois dias após o vórtice frontal na costa chilena. As áreas (A), determinadas para esse reaparecimento, são mostradas na Figura 16, juntamente com o intervalo de tempo decorrente entre os Fatores 1 e 2. Para isso, foram visualizados os campos de vorticidade relativa em 925 e 850hPa.

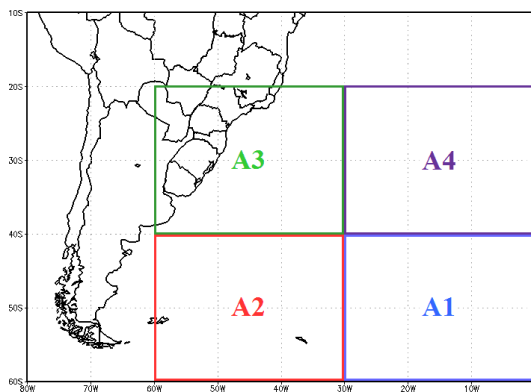


Dias (D) decorrentes entre os fatores 1 e 2:

0 → inexistente;
 1 → 1 dia depois;
 2 → 2 dias;
 .
 .
 .
 N → N dias.

Figura 16 - Representação das áreas em que foram observadas o aparecimento do máximo secundário de vorticidade ciclônica.

Fator 3 (F3) – A quantidade (Q) e o posicionamento dos ciclones que atuavam sobre o Oceano Atlântico Sul, no momento em que a onda frontal entrou na AS, foram definidos de acordo com as áreas (A), mostradas na Figura 17. Foram consideradas imagens de satélite e campos de PNM, espessura da camada 700 – 1000 hPa, linhas de corrente, vorticidade relativa, geopotencial, θ_e , AT e $A\theta_e$ em 925 e 850 hPa.



Quantidades (Q):

0 → inexistente;
 1 → um ciclone;
 2 → dois ciclones;
 .
 .
 .
 N → N ciclones.

Figura 17 - Área de atuação dos ciclones frontais sobre o Oceano Atlântico Sul, no momento em que a última onda frontal entra na AS.

Fator 4 (F4) – Para fraca perturbação ciclônica em 850hPa, movimentando-se na direção ENE a sotavento dos Andes (VERA e VIGLIAROLO, 2000), estipularam-se duas áreas de ocorrência (A), indicadas na Figura 18. O número de dias antecedentes a chegada da frente em AL (DA), também pode ser visto nessa Figura. O deslocamento (DL) foi caracterizado de acordo com os pontos cardeais, colaterais e sub-colaterais. Foram utilizadas imagens de satélite e campos de PNM, vorticidade relativa e linhas de corrente em 850hPa.

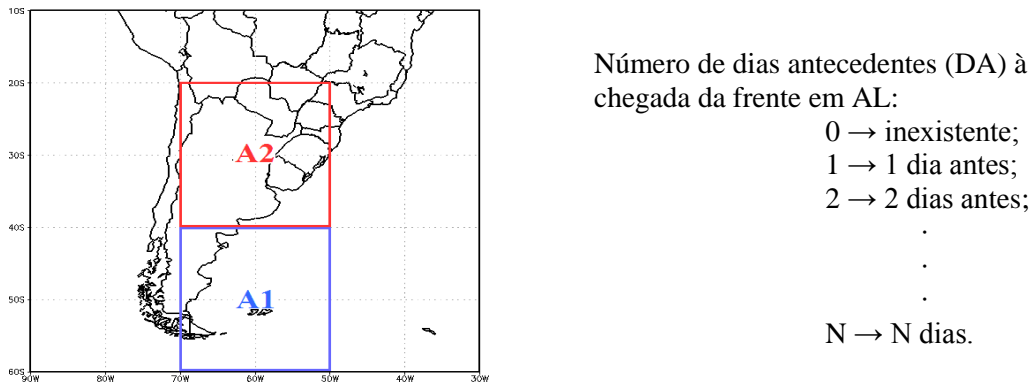


Figura 18 - Áreas em que foram observadas pequenas perturbações ciclônicas se propagando meridionalmente durante os eventos estudados.

Fator 5 (F5) – As interações entre uma perturbação ciclônica sobre a AS e um ciclone extratropical sobre o Atlântico Sul (VERA e VIGLIAROLO, 2000), foram associadas às áreas (A) apontadas na Figura 19, sendo acrescentada a sigla BT para perturbação barotrópica e BC para baroclínica. Também, são indicadas a quantidade (Q) de interações observadas e o número de dias que antecedeu a chegada de frente em AL (DA). O algarismo 0 representa a inexistência desse Fator. Para isso, foram observadas imagens de satélite e campos de PNM, espessura da camada 700 – 1000 hPa, linhas de corrente, vorticidade relativa, geopotencial, θ_e , AT e $A\theta_e$ em 925 e 850 hPa.

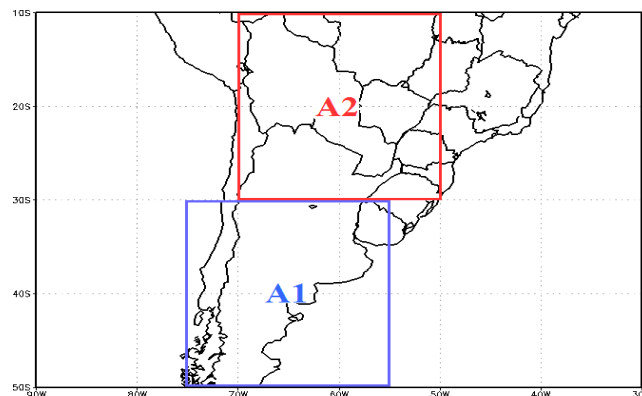


Figura 19 - Áreas para localização das perturbações ciclônicas sobre a AS que interagiram com os ciclones extratropicais sobre o Atlântico.

Fator 6 (F6) – No que se refere às advecções de ar frio em 850hPa (LUPO *et al.*, 2001), foram estipulados dois tipos: T1 para advecções frias se estendendo sobre o continente e T2 para advecções frias restritas ao sistema em si. Foram avaliados os campos de advecção de temperatura em 850hPa.

Fator 7 (F7) – Para novas ciclogêneses na frente principal, foram definidas as três áreas (A) indicadas na Figura 20. Além disso, foram reportados o número de ciclogêneses ocorridas, quantidade (Q) e o número de dias que antecedeu a chegada da frente em AL (DA). Foram utilizadas imagens de satélite, PNM, espessura da camada 700 – 1000 hPa, linhas de corrente, vorticidade relativa, geopotencial, θ_e , AT e $A\theta_e$ em 925 e 850 hPa.

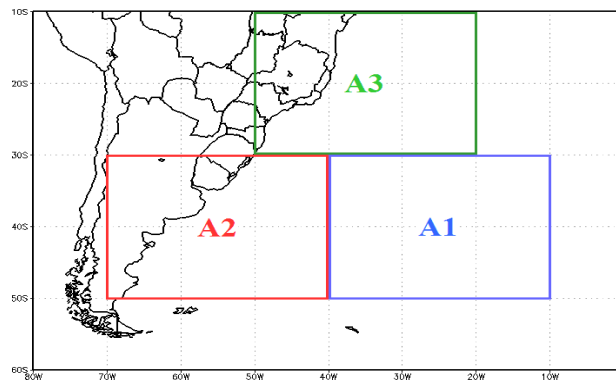


Figura 20 - Áreas para avaliação do posicionamento das novas ciclogêneses, ocorridas na frente principal, durante a análise dos eventos.

Fatores 8 (F8) – O surgimento de frentes secundárias (FS), ou vórtices no ar frio, e ocorrência de oclusões instantâneas (OI) foram indicados de acordo com as quantidades (Q) associadas à onda frontal analisada. Somente para oclusões instantâneas, foi avaliado o número de dias que precedeu a chegada da frente em AL (DA). Para identificação, foram utilizadas imagens de satélite e campos de PNM, espessura da camada 700 – 1000 hPa, linhas de corrente, vorticidade relativa, geopotencial, θ_e , AT e $A\theta_e$ em 925 e 850 hPa.

Fatores 9 (F9) – As interações com os restos frontais, deixados pela onda anterior (OA) e/ou com a onda posterior (OP), foram indicadas com os algarismos 1, quando houve, e 0, quando não houve, sendo informado, também, número de dias que antecedeu a chegada da frente em AL (DA). Fez-se o uso das imagens de satélite e dos campos de PNM, espessura da camada 700 – 1000 hPa, linhas de corrente, vorticidade relativa, geopotencial, θ_e , AT e $A\theta_e$ em 925 e 850 hPa.

Fator 10 (F10) – O estabelecimento dos anticiclones pós-frontais a leste do Andes ocorreu em uma das áreas (A) indicadas na Figura 21. Seu deslocamento (DL) foi caracterizado de acordo com os pontos cardeais, colaterais e sub-colaterais. O tempo decorrente entre o surgimento do anticiclone e a chegada da frente em AL também foi avaliado (dias antecedentes, DA). Foram analisadas imagens de satélite, campos de PNM, linhas de corrente, vorticidade relativa e geopotencial em 925hPa.

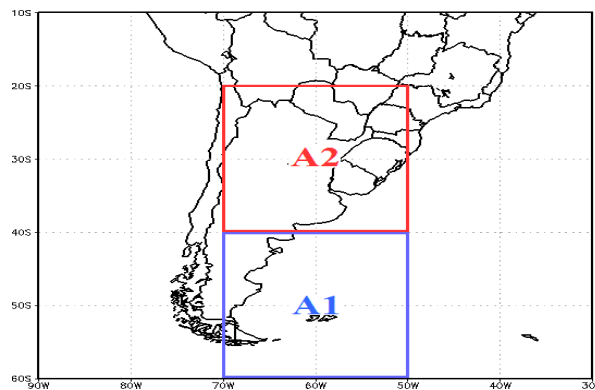


Figura 21 - Áreas para localização dos anticiclones pós-frontais a leste dos Andes.

- Médios Níveis:

Fator 11 (F11) – Beu e Ambrizzi (2004), observaram um amplo cavado com extenso núcleo de vorticidade ciclônica sobre o Oceano Pacífico, deslocando-se para leste e deixando a AS sobre influência de uma componente de ventos de sul. Foram definidos dois tipos de configuração. O tipo 1 (T1) mostra o cavado e a componente de sul se deslocando desde o Pacífico, enquanto o tipo 2 (T2) mostra essa configuração se formando a leste do Andes. Foram utilizados os campos de geopotencial, linhas de corrente e vorticidade em 500hPa.

- Altos níveis:

Fator 12 (F12) – Segundo Virji e Kousky (1983), o campo de linhas de corrente mostra um fluxo dividido sobre o leste do Pacífico, com uma parte do fluxo sobre o norte do Chile e centro do Brasil e outro ramo sobre a parte sul da AS. A Figura 22 apresenta os tipos de fluxo dividido (T1 e T2) que foram reportados na tabela, indicando 1 se existiu e 0 se não existiu. Foi indicado o tempo de duração desse fluxo (TD) e quantos dias o seu término

precedeu a chegada das frentes em AL (DA). Foram utilizadas linhas de corrente para 200hPa.

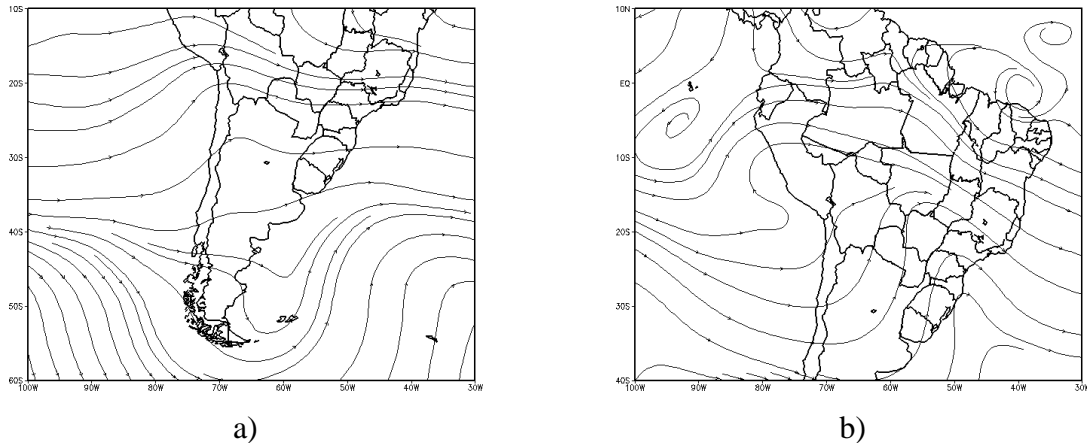


Figura 22 - Tipos de fluxos bifurcados encontrados durante as análises dos eventos. a) Tipo 1 e b) Tipo 2

Fator 13 (F13) – O fluxo do tipo onda, apresentado por Virji e Kousky (1983), foi analisado de duas maneiras. O tipo 1 mostrou o fluxo atuando até o norte de 20°S (T1) e, o tipo 2, ao sul dessa latitude (T2). Além disso, foi avaliado o número de dias que o surgimento dessa configuração precedeu a chegada da frente em AL (DA). Foram avaliados os campos de linhas de corrente e geopotencial em 500 e 200hPa.

Fator 14 (F14) – Em latitudes subtropicais, Vera e Vigliarolo (2000) identificaram uma perturbação ciclônica se propagando para ENE na região dos Andes, em 300hPa. A Figura 23 indica a área (A) que tais perturbações foram localizadas, sendo atribuído 1 para ocorrência e 0 para não ocorrência. Foi indicado, também, o número de dias que antecedeu a chegada da frente em AL (DA) e os deslocamentos (DL). Foram considerados os campos de vorticidade relativa, geopotencial e linhas de corrente em 300hPa.

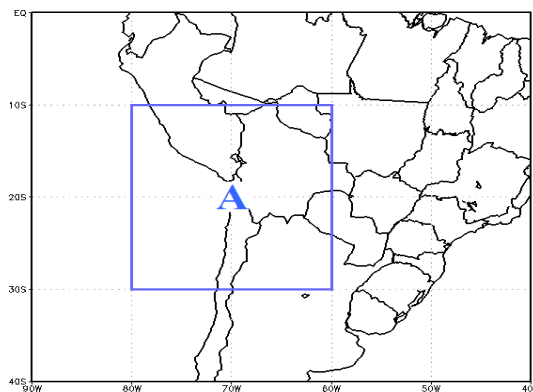


Figura 23 - Área de identificação das perturbações ciclônicas em 300hPa.

Fator 15 (F15) – A presença de um cavado em 200hPa, com inclinação horizontal para NW (OLIVEIRA 1986), foi avaliada, levando-se em consideração dois tipos de observação. O tipo 1 (T1) apresenta esse cavado chegando a atuar ao norte de 20°S, enquanto o tipo 2 (T2) atua somente até 20°S. Foram analisados os campos de geopotencial, linhas de corrente e vorticidade em 200hPa.

Fator 16 (F16) – As interações e acoplamentos entre as CJS e CJP podem ocorrer da maneira apresentada na Figura 24, sendo conferido 1 para ocorrência e 0 para não ocorrência. Também, foi indicado o tempo de duração desses acoplamentos (TD) e quantos dias o seu término precedeu a chegada das frentes em AL (DA). Foram considerados os campos de linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa.

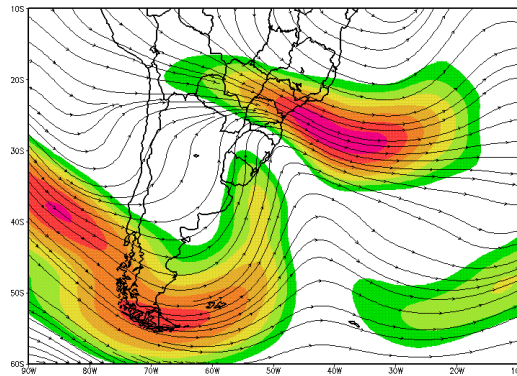


Figura 24 - Exemplo de interação entre as CJS e a CJP observada na avaliação dos eventos.

Fator 17 (F17) – O deslocamento da AB (DL), em relação ao seu posicionamento inicial e final durante o evento, também foi adicionado à tabela, sendo apresentado através dos pontos cardeais colaterais e sub-colaterais. Foram utilizados campos de linhas de corrente e vorticidade relativa em 200hPa.

Fator 18 (F18) – O posicionamento e a orientação da entrada da CJS, no momento em que a frente chegou a AL, foram avaliados de duas maneiras. O tipo 1 mostrou a entrada da CJS ao norte de 20°S (T1) e o tipo 2 ao sul dessa latitude (T2). As orientações (OR) foram colocadas de acordo com os pontos cardeais, colaterais e sub-colaterais. Foram utilizados campos de linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa.

Fator 19 (F19) – O deslocamento (DL) da alta barotrópica de núcleo quente (ABNQ) sobre a AS foi avaliada da mesma forma que a AB, sendo descrito através dos pontos cardeais, colaterais e sub-colaterais. A ABNQ é um sistema profundo de alta pressão, apresentando circulação anticiclônica até a tropopausa e movimentos subsidentes em toda região de atuação. Foram utilizados campos de linhas de corrente e vorticidade relativa em 200hPa.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Atuação de Sistemas Frontais sobre o NEB e avaliação da Revista Climanálise no Período Estudado

Uma relação dos sistemas frontais, que atuaram sobre o litoral brasileiro durante os três anos estudados, é apresentada na Tabela 2. Os valores mostrados representam as totalidades e médias para esse período.

Tabela 2 - Frequência da passagem dos sistemas frontais sobre o litoral do Brasil em 2004, 2005 e 2006. A região do NEB é apresentada em negrito.

Fonte: Revista Climanálise.

	lat(°)	lon(°)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total	%
Maceió-AL	9,68	35,68	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1
Aracaju-SE	10,93	37,05	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	1	5	2,5
Salvador-BA	12,93	38,55	1	1	0	2	3	2	3	1	1	2	1	1	18	9
Ilhéus-BA	14,80	39,05	2	2	1	4	7	3	4	3	3	5	3	2	39	20
Caravelas-BA	17,68	39,30	4	3	3	7	7	5	5	4	5	6	5	2	56	28
Vitória-ES	20,30	40,30	5	5	8	7	8	7	6	5	6	6	8	7	78	39
Campos-RJ	21,80	41,30	5	7	9	10	8	6	8	8	9	7	8	8	93	47
Cabo Frio-RJ	22,93	42,05	6	9	9	10	11	6	7	8	11	11	9	8	105	53
Rio de Janeiro-RJ	22,93	43,18	5	10	9	12	12	7	8	11	13	12	11	10	120	60
Ubatuba-SP	23,43	45,05	5	11	9	11	14	7	10	11	13	14	10	11	126	63
Santos-SP	23,93	46,30	7	12	10	11	11	9	10	13	12	12	11	11	129	65
Iguape-SP	24,68	47,55	9	12	9	11	12	12	11	11	13	13	10	10	133	67
Paranagua-PR	25,55	48,55	9	10	11	9	10	11	10	12	10	13	10	10	125	63
Florianópolis-SC	27,55	48,55	8	9	9	10	12	10	11	10	12	13	10	12	126	63
Torres-RS	29,30	49,68	7	8	8	8	11	11	11	10	11	11	9	11	116	58
Porto Alegre-RS	30,05	51,18	7	8	7	5	8	12	11	8	11	10	7	10	104	52
Rio Grande-RS	32,05	52,05	8	4	5	3	7	11	7	4	10	7	7	9	82	41
S.Vitória do Palmar	33,55	53,30	5	3	1	1	3	7	3	3	6	8	5	3	48	24
total de frentes			13	13	14	18	20	20	16	19	18	20	15	14	200	

Sob a ótica da Revista Climanálise, do total de duzentas frentes que passaram sobre a área territorial brasileira, 56 atuaram na região do NEB. Em média, 1,5 sistemas frontais chegaram todos os meses a essa região, sendo pouco variável de ano para ano. Nesse período, as passagens frontais foram mais frequentes em abril, maio e outubro, com totais de sete, sete e seis eventos, respectivamente. Foram menos frequentes em fevereiro e março, com três eventos cada, e dezembro com dois. As penetrações frontais chegaram a latitudes mais baixas nos meses de maio, junho, outubro e dezembro, totalizando cinco eventos. Esse total representa 8,9% da quantidade de frentes que chegaram ao NEB e 2,5% do total que atuaram sobre o Brasil. Dos cinco, apenas dois chegaram, de fato, ao Estado de Alagoas, ou seja, 3,5%

do total que chegaram ao NEB. A extremidade frontal alcançou AL em maio e dezembro de 2005.

Através da análise subjetiva das imagens de satélite, conjugadas com a interpretação dos campos meteorológicos em baixos níveis, foram selecionados 26 casos de sistemas frontais que se deslocaram para região tropical e influenciaram a condição de tempo sobre o Estado de AL. A Tabela 3 mostra a relação dos eventos escolhidos para o estudo e o primeiro agrupamento dos casos em função das similaridades, levando em conta os critérios descritos nos itens 3.3.1 e 3.3.3.

Os resultados da metodologia empregada mostram sete ocorrências em 2004, sete em 2005 e doze em 2006. Foram identificados seis eventos pertencentes ao G1, onde se observou, através da imagem de satélite e por, pelo menos, um campo avaliado em baixos níveis, que a extremidade frontal passou sobre o Estado de AL. Composto o G2, foram encontrados sete eventos, onde se observou apenas uma banda de nebulosidade através da imagem de satélite e a não caracterização de uma zona frontal nos campos analisados. Outros treze eventos formaram o G3, situação na qual foram observadas atividades convectivas sobre AL, organizadas pela extremidade frontal sobre o oceano. Não foram encontrados eventos que satisfizessem as condições do G4. Assim, parecem ser inexistentes as situações em que sistemas frontais apresentam sua extremidade sobre o Oceano Atlântico na mesma latitude da costa alagoana.

Com relação a identificação e monitoramento de sistemas frontais sobre o Brasil, os resultados indicaram que o número de passagens frontais sobre AL está sendo subestimado, em função da metodologia utilizada pela Revista Climanálise. Com o procedimento empregado neste estudo, totalizou-se a passagem de seis extremidades frontais sobre o Estado, sendo um valor bem acima dos dois encontrados através da revista. Dois eventos aconteceram em 2004, o primeiro no dia 18 de janeiro e outro no dia 24 de julho. Para ambos, a Climanálise informa a chegada das frentes até Salvador, nos dias 18 de janeiro e 21 de julho, respectivamente. Em 2005, os resultados se mostraram de acordo com os da Revista. Os dois eventos ocorridos naquele ano foram identificados através dos dois métodos, sendo um no dia 02 de maio e o outro no dia 04 de dezembro. No segundo, notou-se uma defasagem de dois dias. Pela Climanálise, a frente chegou em AL no dia 06 de dezembro. Por último, em 2006, ocorreram mais duas passagens frontais, no dia 17 de maio e 21 de outubro. A Climanálise indicou que tais frentes avançaram até Aracaju, nos dias 15 de maio e 22 de outubro, respectivamente.

Tabela 3 - Casos de sistemas frontais selecionados para o estudo, relação eventos/mês e agrupamento com relação as características similares entre os eventos.

Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR

ANO	MÊS	EVENTOS	CASO	PERÍODO DE ANÁLISE (dias)
2004	JANEIRO	1	C1*	07 - 18 JAN (12)
	FEVEREIRO	1	C2	24 - 29 FEV (06)
	JUNHO	1	C3	31 MAI - 06 JUN (07)
	JULHO	1	C4	12 - 24 JUL (13)
	AGOSTO	1	C5	04 - 10 AGO (07)
	OUTUBRO	1	C6	29 SET - 09 OUT (11)
	NOVEMBRO	1	C7	12 - 21 NOV (10)
2005	JANEIRO	1	C8	07 - 14 JAN (08)
	FEVEREIRO	1	C9*	05 - 15 FEV (11)
	MAIO	1	C10	26 ABR - 02 MAI (07)
	JULHO	1	C11	03 - 09 JUL (07)
	SETEMBRO	1	C12	14 - 20 SET (07)
	NOVEMBRO	1	C13	21 - 28 NOV (08)
	DEZEMBRO	1	C14	26 NOV - 05 DEZ (10)
2006	MARÇO	3	C15	06 - 12 MAR (07)
			C16	23 - 28 MAR (06)
			C17	26 MAR - 01 ABR (07)
	ABRIL	2	C18	06 - 11 ABR (06)
			C19	10 - 22 ABR (13)
	MAIO	2	C20	08 - 17 MAI (10)
			C21	19 - 27 MAI (09)
	JUNHO	1	C22	28 MAI - 04 JUN (08)
	AGOSTO	1	C23	24 - 31 AGO (08)
	OUTUBRO	2	C24*	13 - 21 OUT (09)
C25			21 - 29 OUT (09)	
DEZEMBRO	1	C26	29 NOV - 10 DEZ (12)	
TOTAL	21 meses	26 casos		228 dias

	ATRIBUIÇÃO	GRUPOS	TOTAL
		G1	06
		G2	07
		G3	13
		G4	0

* A mesma onda frontal influenciou mais de uma vez o estado de tempo sobre AL

4.2 - Divisão Sazonal dos Eventos

Avaliando a distribuição sazonal dos eventos selecionados e mostrados na Tabela 4, pode se constatar que, durante todo ano, os sistemas frontais influenciaram direta ou indiretamente as condições de tempo sobre o Estado de AL. Quando analisado os totais para o período de estudo, é possível notar uma distribuição bem uniforme ao longo do ano. Foram conferidas seis influências frontais nas estações de verão e inverno austrais, com outras seis na estação de transição quente. Já na estação de transição fria, ocorreram oito casos.

Tabela 4 - Distribuição mensal, sazonal e anual dos eventos selecionados para o estudo.
Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR

		2004	2005	2006	TOTAL MENSAL	TOTAL ESTAÇÃO
VERÃO AUSTRAL	DEZ	0	1	1	2	6
	JAN	1	1	0	2	
	FEV	1	1	0	2	
TRANSIÇÃO FRIA	MAR	0	0	3	3	8
	ABR	0	0	2	2	
	MAI	0	1	2	3	
INVERNO AUSTRAL	JUN	1	0	1	2	6
	JUL	1	1	0	2	
	AGO	1	0	1	2	
TRANSIÇÃO QUENTE	SET	0	1	0	1	6
	OUT	1	0	2	3	
	NOV	1	1	0	2	
TOTAL		7	7	12	26	

Mesmo baseado em apenas três anos de dados, os resultados mostrados estão de acordo com os obtidos por Kousky (1979). Na ocasião, após avaliar dez anos de dados (1961-1970), o autor concluiu que as frentes frias e seus resíduos atuam no sul da Bahia o ano todo, com maior frequência entre março e dezembro. Por vezes, afetam os totais de precipitação no norte o Ceará.

De fato, AL também sofre a influência de sistemas frontais durante todo ano, com menor frequência se comparado ao sul da Bahia e com algumas variações bem significativas entre um ano e outro. Esse resultado está de acordo com os estudos de Oliveira (1986), Lemos e De Calbete (1996), Justi e Silva Dias (2002) e Cavalcanti e Kousky (2003), que indicaram uma queda da frequência de frentes frias com o decréscimo da latitude. As quantidades mensais contidas na Tabela 4 demonstram claramente as alterações anuais na distribuição sazonal dos casos. As estações de verão e inverno austrais, bem como a de transição quente, apresentaram uma uniformidade bem evidente, com quantidade de eventos pouco variável de

ano para ano. Porém, uma clara variação é percebida na estação de transição fria (MAM), onde sete dos oito eventos ocorreram em 2006, ou seja, quase sua totalidade.

A Tabela 5 apresenta anomalias trimestrais da temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Equatorial (região de El Niño 3.4), baseadas no período de 1971-2000.

Tabela 5 - Anomalias trimestrais de TSM sobre o Pacífico Equatorial, região de El Niño 3.4 (5°N - 5°S, 120° - 170°W), com base no período de 1971-2000.

Fonte dos dados: CPC/NOAA

ANO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2003	1.2	0.9	0.5	0.1	-0.1	0.0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.4
2004	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8
2005	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.2	-0.1	-0.4	-0.8
2006	-0.8	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.2	1.1
2007	0.8	0.4	0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.5	-0.8	-1.1	-1.2	-1.4

O que se pode notar são anomalias negativas começando no final de 2005 (OND), se estendendo até a transição fria de 2006 (FMA), com valores que chegam -0.8°C. Em geral, a atmosfera leva em torno de 45 dias para responder uma variação significativa. Assim, a maior quantidade de eventos encontrados na estação de transição fria de 2006 deve estar ligada a essa variabilidade encontrada nas águas do Pacífico. Segundo Fedorova e Carvalho (2000), as frentes frias, que incursionam na AS durante a configuração do fenômeno El Niño, tendem a permanecer atuantes nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (entre 40°S e 20°S), favorecendo para o aumento de precipitação nessas regiões (Fedorova *et al.*, 2007). Em contrapartida, em anos de configuração do fenômeno La Niña, ocorre o enfraquecimento do Jato Subtropical, o qual favorece para o rápido deslocamento das frentes frias pelas regiões Sul e Sudeste do Brasil, contribuindo para o seu deslocamento até o litoral dos Estados da Bahia, Sergipe e Alagoas (FUNCEME, 2007).

Se por um lado é importante entender com que frequência os sistemas frontais interferem nas condições de tempo sobre o Estado de AL, por outro, torna-se necessário avaliar quantas dessas influências se devem à passagem da extremidade frontal sobre ou nas proximidades da região. Assim, a Tabela 6 apresenta uma distribuição sazonal dos eventos agrupados de acordo com as características similares encontradas (G1, G2 e G3), tornando possível tais avaliações.

Tabela 6 - Distribuição sazonal em função das características similares encontradas entre os eventos.

Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR

	G1	G2	G3	TOTAL ESTAÇÃO
VERÃO AUSTRAL	2	0	4	6
TRANSIÇÃO FRIA	2	0	6	8
INVERNO AUSTRAL	1	5	0	6
TRANSIÇÃO QUENTE	1	2	3	6
TOTAL	6	7	13	26

Foram observados eventos do G1 em todas as estações, sendo mais frequentes no verão austral e na transição fria, com duas ocorrências cada. Em relação ao grupo G2, parece haver uma preferência maior pelas estações de inverno austral e início da transição quente. Mais claramente pela primeira, onde aparecem cinco casos. Por fim, a ocorrência de eventos do G3 tende ligeiramente para o fim da transição quente, verão austral e início da transição fria, onde foram identificados seis, quatro e três casos, respectivamente.

O fato da maior parte dos eventos do G2 estarem contidos na estação de inverno austral e de não ocorrerem eventos do G3 na mesma estação, está diretamente ligado às variações sazonais na dinâmica do escoamento de grande escala. Entre o final da estação de transição fria e o início da transição quente (Maio-Outubro) a superfície continental sofre um resfriamento devido à declinação do sol para o Hemisfério Norte, fazendo com que a Alta Subtropical do Atlântico Sul se aproxime da AS, inibindo as convecção sobre o continente. Já entre o final da estação de transição quente e início da transição fria (Novembro-Março) o continente começa a se aquecer, gerando regiões com baixas pressões em superfície e divergência em altos níveis, favorecendo o aumento das atividades convectivas e conseqüentemente o maior número de eventos do G3.

4.3 - Avaliação dos Fatores Analisados

Nessa seção, serão descritos os principais resultados encontrados nas tabelas elaboradas para os grupos G1, G2 e G3. Primeiramente, foram apresentadas as tabelas contendo todas informações adquiridas em função dos fatores analisados. Posteriormente, foi apresentada uma breve discussão para cada fator.

Os resultados encontrados para distribuição espacial e temporal dos fatores avaliados no G1 podem ser vistos nas Tabelas 7 e 8, respectivamente. As Tabelas 9 e 10 apresentam as distribuições para o G2. Em seguida, foram apresentadas as Tabelas 11 e 12, referentes às distribuições para o terceiro grupo, G3.

Tabela 7 - Distribuição espacial dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cuja extremidade foi observada sobre o Estado de AL (G1). Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR								
Baixos Níveis								
EVENTO		C1	C14	C10	C20	C4	C24	
MÊS		JAN	DEZ	MAI	MAI	JUL	OUT	
F1	A	1	1	3	1	2	2	
F2	A	1	1	3	1	1	1	
F3	Q	1	2	1	2	2	1	
	A	2	1-2	4	4-1	1-2	1	
F4	A	2	2	2	0	1	0	
	DL	NE	NE	ENE	0	E	0	
F5	A	1	2	0	0	2	2	
	BT	1	1	0	0	0	0	
	BC	0	0	0	0	1	1	
F6	T	T2	T1	T2	T2	T1	T1	
F7	Q	3	3	1	1	1	2	
	A	2-3-3	2-2-3	3	2-1	2	2-3	
F8	Q	FS	0	1	0	1	3	2
		OI	0	0	0	0	2	2
F9	OA	1	1	1	1	1	1	
	OP	1	1	1	1	1	1	
F10	A	1	1	2	1	1	2	
	DL	NE	NE	E	NE	ENE	E	
Médios Níveis								
F11	T	T1	T2	T1	T2	T1	T1	
Altos Níveis								
F12	T1	0	0	1	1	1	0	
	T2	0	0	0	0	0	0	
F13	T	T2	T1	T1	T1	T1	T2	
F14	A	1	1	1	0	1	1	
	DL	E	ESE	E	0	E	SE	
F15	T	T2	T1	T1	T1	T1	T2	
F16		1	1	1	1	1	0	
F17	DL	E	E	W	0	0	E	
F18	T	T2	T2	T1	T1	T1	T2	
	OR	NW-SE	N-S	NW-SE	NW-SE	NW-SE	W-E	
F19	DL	0	0	0	0	S	0	
ESTAÇÃO		VA		TF		IA	TQ	

Tabela 8 - Distribuição temporal dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cuja extremidade foi observada sobre o Estado de AL (G1).

Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR

Baixos Níveis									
EVENTO		C1	C14	C10	C20	C4	C24		
MÊS		JAN	DEZ	MAI	MAI	JUL	OUT		
F2	D	2	2	3	7	2	2		
F4	DA	7	6	4	0	10	0		
F5	DA	8	5	0	0	7	6		
F7	Q	DA	9-6-1	7-5-2	2	7-4	10	7-4	
F8	Q	DA	OI	0	0	0	0	6-1	2-1
F9	DA	OA	7	6	3	6	8	5	
		OP	7	7	3	6	9	7	
F10	DA	4	5	3	7	8	5		
Altos Níveis									
F12	TD	T1	0	0	84hs	78hs	54hs	0	
		T2	0	0	0	0	0	0	
	DA	T1	0	0	4	6	5	0	
		T2	0	0	0	0	0	0	
F13	DA	9	5	3	6	8	6		
F14	DA	6	7	4	0	6	6		
F16	TD	96hs	84hs	114hs	192hs	120hs	0		
	DT	1	2	0	0	0	0		
DURAÇÃO		12	10	7	10	13	9		
ESTAÇÃO		VA		TF		IA	TQ		

Tabela 9 - Distribuição espacial dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cujas imagens de satélite apresentaram uma banda de nebulosidade sobre AL, sem a caracterização da zona frontal nos campos analisados (G2).

Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR

Baixos Níveis									
EVENTO		C3	C5	C11	C22	C23	C6	C12	
MÊS		JUN	JUL	JUL	JUN	AGO	OUT	SET	
F1	A	2	3	1	2	1	0	1	
F2	A	3	2	0	2	2	1	0	
F3	Q	3	2	2	3	1	2	1	
	A	1-2-4	1-3	2-2	1-2-3	1	1-2	4	
F4	A	2	0	1	1	0	1	0	
	DL	E	0	NE	NE	0	NE	0	
F5	A	0	1	0	0	2	0	0	
	BT	0	0	0	0	1	0	0	
	BC	0	1	0	0	0	0	0	
F6	T	T2	T1	T1	T2	T1	T2	T2	
F7	Q	1	2	1	1	2	1	1	
	A	3	2-2	3	2	2-3	2	2	
F8	Q	FS	3	2	0	1	1	3	1
		OI	1	1	0	1	0	3	1
F9	OA	1	0	1	1	0	1	1	
	OP	1	0	1	1	1	1	0	
F10	A	2	1	2	2	2	2	2	
	DL	E	NE	E	E	E	E	E	
Médios Níveis									
F11	T	T2	T1	T1	T2	T1	T2	T1	
Altos Níveis									
F12	T1	1	0	0	1	1	1	1	
	T2	1	0	0	0	0	1	1	
F13	T	T1	T2	T1	T1	T2	T1	0	
F14	A	0	1	0	1	0	1	0	
	DL	0	ESE	0	ESE	0	ENE	0	
F15	T	T1	T2	T2	T1	T2	0	0	
F16		1	1	1	1	1	1	1	
F17	DL	0	0	0	0	0	E	0	
F18	T	T1	T2	T2	T1	T2	T1	T1	
	OR	NW-SE	WNW-ESE	NW-SE	NW-SE	SW-NE	NNW-SSE	WNW-ESE	
F19	DL	0	W	W	SE	SW	0	ESE	
CAMPO OBSERVADO		0	A θ_e	A θ_e	0	A θ_e	0	A θ_e	
ESTAÇÃO		IA					TQ		

Tabela 10 - Distribuição temporal dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cujas imagens de satélite apresentaram uma banda de nebulosidade sobre AL, sem a caracterização da zona frontal nos campos analisados (G2).

Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR

Baixos Níveis										
EVENTO		C3	C5	C11	C22	C23	C6	C12		
MÊS		JUN	JUL	JUL	JUN	AGO	OUT	SET		
F2	D	3	2	0	2	2	2	0		
F4	DA	6	0	5	7	0	7	0		
F5	DA	0	6	0	0	4	0	0		
F7	Q	DA	3	6-2	4	4	5-1	6	5	
F8	Q	DA	OI	1	1	0	1	0	4-3-1	1
F9	DA	OA	4	0	4	6	0	7	5	
		OP	4	0	4	6	4	9	0	
F10	DA	3	5	5	3	4	6	4		
Altos Níveis										
F12	TD	T1	72hs	0	0	24hs	36hs	108hs	96hs	
		T2	84hs	0	0	0	0	78hs	54hs	
	DA	T1	4	0	0	4	5	4	2	
		T2	0	0	0	0	0	3	1	
F13	DA	4	6	4	4	5	5	0		
F14	DA	0	4	0	4	0	5	0		
F16	TD	60hs	84hs	120hs	72hs	72hs	114hs	96hs		
	DT	1	3	0	0	1	4	1		
DURAÇÃO		7	7	7	8	8	11	7		
ESTAÇÃO		IA					TQ			

Tabela 11 - Distribuição espacial dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cuja extremidade, sobre o Atlântico Tropical, organizou atividades convectivas sobre AL (G3).
Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR

Baixos Níveis															
EVENTO		C2	C8	C9	C26	C15	C16	C17	C18	C19	C21	C7	C13	C25	
MÊS		FEV	JAN	FEV	DEZ	MAR	MAR	MAR	ABR	ABR	MAI	NOV	NOV	OUT	
F1	A	1	1	3	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	
F2	A	1	0	1	2	1	0	1	2	1	0	1	1	2	
F3	Q	2	2	3	1	2	2	1	2	3	2	2	3	1	
	A	1-3	1-2	1-2-3	2	2-3	1-3	2	2-4	1-2-3	2-4	1-3	1-2-3	1	
F4	A	0	2	2	2	0	1	0	2	2	0	1	1	1	
	DL	0	ENE	NE	NE	0	NE	0	NE	NE	0	NE	ENE	NE	
F5	A	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	
	BT	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
	BC	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	
F6	T	T2	T2	T2	T2	T2	T1	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	
F7	Q	2	2	2	2	2	1	2	1	3	1	1	2	1	
	A	2-3	1-3	2-3	2-3	2-3	1	2-2	3	2-1-3	1	2	2-1	2	
F8	Q	FS	0	2	0	2	2	1	1	1	2	1	1	3	1
		OI	0	2	0	1	0	1	0	0	1	1	0	2	0
F9	OA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	OP	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
F10	A	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	
	DL	E	E	E	ENE	E	E	NE	E	NE	NE	SE	ESE	E	
Médios Níveis															
F11	T	T2	T2	T2	T2	T1	T1	T1	T2	T1	T1	T1	T1	T1	
Altos Níveis															
F12	T1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	
	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
F13	T	T1	T1	T1	T2	T2	T2	T2	T2	T1	T1	T2	T2	T1	
F14	A	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	
	DL	0	0	0	0	0	ENE	0	ENE	SE	ENE	ESE	ESE	0	
F15	T	T1	T1	T1	T2	T2	T2	T2	T2	T1	T1	T2	T2	T1	
F16		1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	
F17	DL	W	S	W	E	E	E	E	E	ESE	NE	ESE	E	WSW	
F18	T	T1	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T1	T1	T2	0	T2	
	OR	NW-SE	NW-SE	SW-NE	NW-SE	NW-SE	NW-SE	NW-SE	SW-NE	NW-SE	NW-SE	NW-SE	0	NW-SE	
CAMPO OBSERVADO		0	0	0	0	0	0	0	0	0	A θ_e	0	0	A θ_e	
ESTAÇÃO		VA				TF					TQ				

Tabela 12 - Distribuição temporal dos fatores avaliados para o grupo de sistemas frontais cuja extremidade, sobre o Atlântico Tropical, organizou atividades convectivas sobre AL (G3). Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR

Baixos Níveis																
EVENTO		C2	C8	C9	C26	C15	C16	C17	C18	C19	C21	C7	C13	C25		
MÊS		FEV	JAN	FEV	DEZ	MAR	MAR	MAR	ABR	ABR	MAI	NOV	NOV	OUT		
F2	D	2	0	3	3	2	0	2	2	4	0	4	2	4		
F4	DA	0	5	5	5	0	4	0	3	7	0	6	4	8		
F5	DA	3	5	5	8	3	3	3	3	7	5	5	3	4		
F7	Q	DA	3-1	4-3	9-3	8-3	4-0	2	5-3	2	7-3-1	5	5	5-2	3	
F8	Q	DA	OI	0	4-1	0	6	0	1	0	0	3	3	0	4-2	0
F9	DA	OA	1	5	5	7	3	4	3	3	4	6	7	6	3	
		OP	0	1	7	10	0	0	4	4	7	1	4	4	5	
F10	DA	3	5	6	7	3	3	4	3	6	6	3	4	4		
Altos Níveis																
F12	TD	T1	48hs	0	0	0	0	0	0	24hs	48hs	72hs	50hs	0	36hs	
		T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108hs	0	0	0	
	DA	T1	3	0	0	0	0	0	0	4	1	3	3	0	7	
		T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
F13	DA	2	7	10	3	6	5	5	4	10	8	2	7	6		
F14	DA	0	0	0	0	0	4	0	4	8	6	4	4	0		
F16	TD	84hs	90hs	0	0	60hs	0	96hs	0	108hs	132hs	0	0	0		
	DT	0	2	0	0	0	0	2	0	2	3	0	0	0		
DURAÇÃO		6	8	11	12	7	6	7	6	12	9	10	8	9		
ESTAÇÃO		VA				TF					TQ					

Fator 1(F1): *vórtice frontal bem definido na costa do Chile.*

Os resultados, para os eventos encontrados no G1, indicaram que houve uma ligeira predominância para observação de vórtices frontais bem definidos nas áreas 1, no verão e transição fria, e 2, no inverno e transição quente (Tabela 7). Para o G2 não foi encontrado um padrão que possibilite indicar alguma predominância (Tabela 9). Já o G3, mostra uma clara tendência a observação desse fator na área 1 (Tabela 11).

Fator 2 (F2): *surgimento de um máximo secundário de vorticidade ciclônica ao longo da costa da AS.*

Pode se constatar que, para todos os grupos, raramente a ocorrência desse fator é observada na área 3. Para o G1, foi identificado que o surgimento do máximo secundário de vorticidade ocorre, preferencialmente, na área 1, sendo observado 2 dias após a identificação do vórtice frontal na costa do Chile, F1 (Tabelas 7 e 8). Para o G2, a área preferencial é a 2, ocorrendo, também, 2 dias após o F1 (Tabelas 9 e 10). Com relação ao G3, foram encontradas a existência desse fator nas áreas 2 e 1, com o tempo decorrente entre F1 e F2 variando entre 2 e 4 dias (Tabelas 11 e 12). Os resultados do F1 e F2 estão em conformidade com os encontrados por Parmenter (1976).

Fator 3 (F3): *quantidade e posicionamento dos ciclones que atuavam sobre o Oceano Atlântico Sul, no momento em que a onda frontal entrou na AS.*

Para o G1, predominou a existência de 1 ou 2 ciclones frontais sobre o Atlântico Sul. Essa observação foi feita no momento em que a onda frontal analisada começou sua entrada na AS (Tabela 7). O G2 mostrou que não há uma predominância nesse fator, podendo ser observados de 1 a 3 vórtices frontais (Tabela 9). O G3 apresentou ligeira tendência a identificação de 2 ciclones, seguido, igualmente, pela observação de 1 ou 3 sistemas (Tabela 11). Avaliando o posicionamento dos ciclones sobre o Atlântico, observou-se que não houve um padrão, podendo ser observados em qualquer uma das áreas descritas. Somente no G1 verificou-se a não existência desse fator na área 3.

Fator 4 (F4): fraca perturbação ciclônica em 850hPa, a sotavento dos Andes.

No G1, foram encontradas perturbações ciclônicas a leste dos Andes, com localização preferencial na área 2. O deslocamento dessas perturbações foi, em geral, para NE, surgindo em um período de 4 a 10 dias antes da chegada da frente em AL (Tabelas 7 e 8). Para o G2, essas perturbações predominaram na área 1, possuindo, também, deslocamentos para NE. O surgimento ocorreu entre 5 e 7 dias antes do evento (Tabelas 9 e 10). Não foi observado um padrão predominante em termos de localização para o G3, sendo observadas tanto na área 1 como na 2. Os deslocamentos foram os mesmos, para NE, identificados em um período de 3 a 7 dias antecedentes ao evento (Tabelas 11 e 12).

Fator 5 (F5): interações entre uma perturbação ciclônica sobre a AS e um ciclone extratropical sobre o Atlântico Sul.

Geralmente, ocorrem interações entre uma perturbação ciclônica sobre a AS e um ciclone extratropical sobre o Atlântico. Vera e Vigliarolo (2000), Signorini (2001) e Seluchi *et al.* (2003) demonstraram esse tipo de interação em seus estudos. Para o G1 e G3, essas interações estiveram associadas a área 2, ocorrendo entre 5 e 8 dias antes da chegada da frente ao estado de AL, no primeiro grupo (Tabelas 7 e 8), e entre 3 e 8 dias no segundo (Tabelas 11 e 12). Para o G2, não foram encontrados nenhum tipo de interação. Ficou claro que, durante os meses de inverno, final da estação de transição quente e início da transição fria, as perturbações sobre a AS são BC e interagem com os ciclones sobre o oceano. No restante, ocorreram interações com perturbações BT. Esse padrão já era esperado, visto que, durante os meses de inverno, a passagem dos anticiclones pós-frontais força a entrada de ar frio para o norte, logo a leste dos Andes, interagindo com o fluxo de ar quente e úmido vindo da Amazônia. Isso cria uma instabilidade baroclínica sobre a região da área 2 (Figura 19), que, posteriormente, interage com o vórtice frontal sobre o oceano. Já no verão, é observado o surgimento das massas de ar tropical continental no sul da área 2, em função do aquecimento continental causado pela posição do sol no Hemisfério Sul. Em geral, as baixas térmicas são formadas nessa região e estão associadas com a AB em altos níveis.

Fator 6 (F6): advecções de ar frio em 850hPa.

As advecções de ar frio em 850hPa ocorreram tanto do tipo 1 quanto do tipo 2 para o G1 e o G2 (Tabelas 7 e 9). Essa condição mostrou que a chegada de sistemas frontais na região do NEB não está ligada diretamente a eventos de friagem, visto que nessas condições ocorre forte advecção de ar frio sobre o continente, chegando até a região sul da Amazônia. Para o G3 foi notória a predominância de advecções de ar frio ligados somente ao sistema principal analisado, ou seja, do tipo 2 (Tabela 11).

Fator 7 (F7): novas ciclogêneses na frente principal.

Em se tratando de novas ciclogêneses na frente principal, o G1 apresentou um número de 3 ciclogêneses nos casos de verão, seguidas de apenas 1 nas demais estações. No verão, as frentes se posicionam mais ao sul, por isso é preciso uma maior quantidade de novas ciclogêneses para frente principal atingir AL. Os processos foram identificados, em grande parte, nas áreas 2 e 3, com um período de 2 a 10 dias antes do evento (Tabelas 7 e 8). Para o G2, na maioria dos eventos ocorreu uma única ciclogênese, com apenas dois casos apresentando 2 processos desse tipo. Assim como no G1, o processo foi observado nas áreas 2 e 3, com um período menor, entre 1 e 6 dias antecedentes ao evento (Tabelas 9 e 10). No geral, ocorreram 1 e 2 ciclogêneses nos casos do G3, sendo identificadas nas áreas 1, 2 e 3, entre 1 e 9 dias antes da influência frontal sobre AL (Tabelas 11 e 12).

Fator 8 (F8): surgimento de frentes secundárias (FS) e ocorrência de oclusões instantâneas (OI).

O G1 não apresentou um padrão definido para o número de FS. Somente nos episódios de inverno e transição quente, foram observadas a existência de duas OI's, casos C4 e C24, em um período de 1 a 6 dias antes do evento. Quando não houve oclusão instantânea (OI), casos C1 e C14, foram identificados 3 processos ciclogénéticos na frente principal (F7) (Tabelas 7 e 8). O G2 apresentou de 1 a 3 FS's, com, geralmente, 1 OI, ocorrendo no intervalo de 1 a 4 dias antecedentes ao evento (Tabelas 9 e 10). Para o G3 predominou o surgimento de 1 FS, com ocorrência de 1 OI, possuindo o mesmo período de antecedência do G2, 1 e 4 dias (Tabelas 11 e 12).

Fator 9 (F9): interações com os restos frontais deixados pela onda anterior (OA) e/ou com a onda posterior (OP).

As interações entre a onda frontal analisada e as ondas frontais em sua vanguarda (OA), ou retaguarda (OP), mostraram resultados importantes para influência de sistemas frontais em AL. Todos os eventos do G1 apresentaram esse fator. Foi observado que a onda frontal interagiu primeiro com a OP e depois com a OA. Em três casos, C1, C10 e C20, as interações ocorreram ao mesmo tempo com a OP e a OA (Tabelas 7 e 8). Para o G2, houve o domínio de interações com a OP e a OA, ocorrendo da mesma forma encontrada para o G1, ao mesmo tempo ou primeiramente com a OP (Tabelas 9 e 10). Interações com a OA foram encontradas em todos os eventos do G3 (Tabelas 11 e 12). Somente três casos não apresentaram esse fator para OP (C2, C15 e C16). As interações ocorreram de duas formas: antes com a OP e depois com a OA, e da maneira inversa.

Fator 10 (F10): estabelecimento dos anticiclones pós-frontais a leste do Andes.

A avaliação para o estabelecimento dos anticiclones pós-frontais a leste dos Andes indicou uma preferência pela área 1 nos eventos do G1. O surgimento da alta ocorreu em um período de 3 a 8 dias antes da chegada da frente em AL (Tabelas 7 e 8). Para o G2 a área predominante foi a 2, com período de 3 a 6 dias (Tabelas 9 e 10). No G3, esse fator foi observado nas duas áreas, 1 e 2, se estabelecendo de 3 a 7 dias antes da influência frontal sobre AL (Tabelas 11 e 12). Um padrão interessante pode ser identificado com relação ao deslocamento dos centros de máxima pressão atmosférica. Quando o estabelecimento do anticiclone ocorreu na área 1, o deslocamento preferencial foi para NE. Já na área 2, o deslocamento foi para E. Principalmente nos meses entre final de abril e início de outubro, independentemente do deslocamento do anticiclone, uma grande e ampla crista no campo bórico foi observada se estendendo para NE, sobre a costa do Brasil, chegando a ser observada até o sul do Estado da Bahia. Essa condição foi fundamental para chegada de ar frio no leste do NEB e manutenção da extremidade frontal.

Fator 11 (F11): amplo cavado com extenso núcleo de vortividade ciclônica.

Para o G1, esse fator mostrou a predominância do T1, com o cavado em 500hPa e a componente de sul se deslocando para leste, desde o Oceano Pacífico Sul (Tabela 7). No

G2, foram identificados os dois tipos de influência desse cavado em médios níveis, T1 e T2 (Tabela 9). No caso do T2, o cavado se formou a leste dos Andes, sobre a AS. Os eventos do G3 apresentaram o T2 para o verão e T1 para os períodos de transição (Tabela 11). Durante o período de estudo, foi observado que a AB, geralmente, apresentou uma crista se estendendo em direção ao sul da AS, impedindo que o cavado em 500hPa se deslocasse para leste sem perder sua configuração inicial. O cavado vem a se formar no flanco SE da AB, onde o escoamento em médios níveis possui uma forte componente para o norte.

Fator 12 (F12): fluxo dividido sobre o leste do Pacífico.

O fluxo dividido sobre o leste do Pacífico (T1), apresentado por Virji e Kousky (1983), foi identificado nos casos de inverno e transição fria do G1 (Tabela 7). O fluxo do T2 não foi observado em nenhum evento desse grupo. O término desse fator ocorreu entre 4 e 6 dias antes da chegada da frente ao Estado de AL, com duração entre 54 e 84hs (Tabela 8). Para o G2, predomina a existência do T1, podendo ocorrer o T2 (Tabela 9). Quando houve a formação do T2, essa ocorreu sempre depois do desaparecimento do T1. O término do T1 foi observado entre 2 e 5 dias antes do evento, com duração de 24 a 108hs. O do T2 aconteceu entre 0 e 3 dias, com duração de 54 a 84hs (Tabela 10). Para o G3, foi encontrado apenas um caso com o T1 no verão (C2), indicando que essa configuração raramente pode ocorrer nessa estação (Tabela 11). O T1 pode ser observado durante as estações de transição, com duração de 24 a 72hs e terminando entre 1 e 7 dias antes do evento (Tabela 12). Somente o C21, na transição fria, apresentou o T2, indicando uma situação infrequente.

Fator 13 (F13): fluxo do tipo onda.

Foi observada a predominância do fluxo do tipo onda (VIRJI e KOUSKY, 1983) chegando a atuar ao norte de 20°S no G1. Os fluxos do T1 iniciaram num período entre 3 e 9 dias antes do evento (Tabelas 7 e 8). No G2, foi identificada uma tendência aos fluxos do T1, com início entre 4 e 6 dias antecedentes (Tabelas 9 e 10). Para o G3, observou-se a ocorrência dos fluxos do T1 e do T2, onde, no segundo tipo, a onda só atua ao sul de 20°S. O início ocorreu entre 2 e 10 dias precedentes ao evento (Tabelas 11 e 12). Houve uma maior tendência do T2 para estação de transição fria e transição quente. Num contexto geral, em todos os grupos, o fluxo do tipo onda existiu concomitantemente com o F12 ou começou após seu término.

Fator 14 (F14): perturbação ciclônica na região dos Andes, em 300hPa.

Em somente num evento do G1 não foi identificada a existência de uma perturbação ciclônica na região dos Andes, em 300hPa, apresentada por Vera e Vigliarolo (2000). Os demais apresentaram deslocamento médio para ESE, observados entre 4 e 7 dias antes da chegada da frente em AL (Tabelas 7 e 8). Quando ocorreu esse tipo de perturbação no G2, o deslocamento médio foi para E, identificado entre 4 e 5 dias antes do evento (Tabelas 9 e 10). Esse fator foi inexistente nos casos de verão do G3, sendo observado durante as estações de transição, com deslocamento médio para E, ocorrendo entre 4 e 8 dias antes da influência frontal sobre AL (Tabelas 11 e 12). No artigo de Vera e Vigliarolo (2000), a análise desse fator foi feita com relação a ocorrência de geada na região Sul do Brasil, obtendo um período de antecedência em torno de dois dias. Como nesse estudo, as análises foram feitas em relação à chegada, ou influência, dos sistemas frontais em AL, esse período aumenta para até 5 dias no G1, 3 no G2 e 6 dias no G3, tempo necessário para que o sistema se desloque até AL.

Fator 15 (F15): cavado em 200hPa, com inclinação horizontal para NW.

A presença de um cavado em 200hPa, com inclinação para NW (OLIVEIRA 1986), só não foi identificada em dois eventos da estação de transição quente do G2, C6 e C12 (Tabela 9). Para o G1, predominou o T1, com atuação chegando ao norte de 20°S (Tabela 7). No G2 e G3, ocorreram tanto T1, como T2 (Tabelas 9 e 11, respectivamente).

Fator 16 (F16): interações e acoplamentos entre as CJS e CJP.

Ficou evidente que o acoplamento entre as CJS e a CJP predominou nos eventos do G1 e ocorreram em todos do G2 (Tabelas 7 e 9). Para o G1, foram conferidas durações de 84 até 192hs, com seu término no dia ou após a chegada da frente em AL (Tabela 8). Já, os do G2 tiveram duração menor, entre 60 e 120hs, terminando entre 0 e 4 dias antecedentes (Tabela 10). Houve uma pequena tendência para esse tipo de acoplamento durante a estação de transição fria no G3. Na transição quente, esse fator não foi identificado e, no verão, ocorreram em dois casos, C2 e C8 (Tabela 11). Generalizando, quando ocorreu esse tipo de interação no G3, a duração variou entre 60 e 130hs, com término entre 0 e 3 dias antes da

influência frontal sobre o Estado (Tabela 12). Uma descrição de como esse fator favorece a chegada de sistemas frontais em regiões tropicais é abordada no item 4.4.4.2.

Fator 17 (F17): deslocamento da AB.

Nos casos do G1, foi identificado que a AB se deslocou preferencialmente para E, durante o período analisado em cada evento (Tabela 7). Em geral, não ocorreram configurações de AB no G2 (Tabela 9). Em apenas um caso, C6, houve a formação desse sistema, posicionado sobre o NW da AS, observado somente nas primeiras 72hs. No G3, ocorreu a predominância da AB com deslocamento para E nas estações de transição e deslocamentos para W durante os meses de verão (Tabela 11). Em apenas um evento, a AB se deslocou para S (C8).

Fator 18 (F18): posicionamento e a orientação da entrada da CJS.

Esse fator avaliou o posicionamento e orientação da entrada da CJS no momento em que o sistema frontal começa a influenciar as condições de tempo sobre o Estado de AL. Em geral, a entrada dos jatos estava deslocada ao norte do seu posicionamento climatológico. Para o G1 e G2, foram encontrados posicionamentos do T1 e T2 (Tabelas 7 e 9), o primeiro ao norte de 20°S e o segundo ao sul dessa latitude. No G3, predominaram os posicionamentos do T2 (Tabela 11). Em todos os grupos, a orientação mais comum foi a de NW-SE, coincidindo com configuração de cavado inclinado horizontalmente para NW, descrito no F15.

Fator 19 (F19): deslocamento da alta barotrópica de núcleo quente (ABNQ).

Os eventos do G2 foram marcados pela presença de uma ABNQ, sendo observado deslocamentos tanto para W como para SE (Tabela 9). Somente no caso de inverno do G1 (C4), foi identificada a existência desse sistema (Tabela 7). A ABNQ estava com fraca intensidade e apresentou o deslocamento para o S.

4.3.1 - Considerações Gerais

Alguns aspectos importantes devem ser levados em conta neste estudo. No campo de $A\theta_e$, identificaram-se 6 extremidades frontais sobre AL nos eventos do G2 e G3 (Tabelas 09 e 11), mostrando que esse campo é uma excelente ferramenta para identificação de sistemas frontais em regiões tropicais. Os casos identificados por meio desse campo foram: C5, C11, C12 e C23, do G2 e C21 e C25 do G3, entre o final da transição fria e início da transição quente (maio-outubro).

A presença de uma extensa frente fria, atuando sobre a Região Sudeste do Brasil, no momento em que a onda frontal analisada entrava na AS, foi observada em todos os episódios analisados, sendo chamada de AO na elaboração das Tabelas da seção 4.3.

Todos os eventos que ocorreram entre o final da transição quente e o início da transição fria (novembro-março) estiveram associados com a formação de ZCAS, totalizando 11 casos. Os eventos C7, C8, C9, C13, C15 e C17, do G2 e o evento C1 do G1, apresentaram uma interação entre a extremidade frontal na costa do NEB e um VCAN posicionado sobre o oceano, em torno de $11^{\circ}\text{S} - 24^{\circ}\text{W}$. Esse tipo de interação favorece o deslocamento da ZCAS para o norte, cobrindo AL com áreas de instabilidade e atividades convectivas.

Ficou evidente que a atuação da ABNQ sobre a AS oferece restrição para o desenvolvimento da extremidade frontal na costa do Brasil. Nesse sistema, é observada a presença do anticiclone em todos os níveis da troposfera, favorecendo os movimentos subsidentes sobre grande parte da AS, bloqueando a entrada de sistemas frontais no interior do continente.

Quando ocorre esse tipo de evento, os sistemas frontais se deslocam para NE, sobre o Atlântico, com sua extremidade tangenciando a periferia da ABNQ. O fluxo de sul no lado leste desse sistema, juntamente com seu deslocamento para W e a configuração de fluxo do tipo onda em 200hPa, apresentando o cavado orientado para NW (F13 e F15), favorece o deslocamento das frentes para latitudes mais baixas. No momento em que a extremidade frontal chega ao NEB, já no flanco NE do sistema, seu desenvolvimento é limitado. Contudo, percebeu-se que, nessas condições, a chegada dos sistemas frontais sobre a região dos Alísios, na costa do NEB, provoca um aumento na convergência do fluxo de umidade, abaixo da inversão psicrotérmica. Dessa forma, a extremidade frontal avança sobre os estados do Nordeste apresentando precipitações de caráter estratiforme. Tais condições apresentam pouca baroclínia na região frontal, não podendo ser observado através dos métodos clássicos.

É possível que a resolução dos dados do NCEP, 280Km x 280km, impossibilitou a identificação da extremidade frontal aprisionada nos baixos níveis da troposfera. Porém, os sistemas frontais estão aparentes nas imagens de satélite.

4.4 - Estudo de Caso: A Passagem de uma Extremidade Frontal Sobre AL

Em geral, a literatura científica apresenta estudos de sistemas frontais que chegam ao NEB associados com eventos de friagem. Esse termo se refere ao resfriamento em superfície, nas regiões sul-sudeste e central do Brasil, causado pela penetração de massas de ar pós-frontais continente adentro (MARENGO *et al.* 1997). Nessa seção, foi apresentada uma análise detalhada do evento C10 (Tabela 3), entre 26 de abril e 4 de maio de 2005. Trata-se, da passagem de uma extremidade frontal sobre AL sem ocorrência de friagem.

4.4.1 - Esquema Inicial para Análise do Evento

A fim de melhorar o entendimento sobre os processos ocorridos durante esse evento, foi apresentado, primeiramente, um esquema seqüencial que ilustra, passo a passo, a propagação dos sistemas sinóticos que atuaram na AS, bem como as interações que ocorreram entre ondas frontais distintas (Figura 25). A seqüência abaixo descreve o esquema:

$a \rightarrow b$: O primeiro sistema frontal atuava no Brasil, com o primeiro ciclone da família sobre o Oceano Atlântico (sistema 1). Na sua extremidade, sobre o centro-oeste da AS, era observada uma perturbação ciclônica baroclínica. Um segundo sistema frontal começava a entrar no extremo sul da AS;

$b \rightarrow c$: A primeira onda frontal continuava sua evolução, atuando no Brasil, e a perturbação ciclônica baroclínica se deslocara para SE. Na extremidade do segundo sistema frontal, iniciava-se um processo de ciclogênese (formação do segundo ciclone na segunda onda frontal);

$c \rightarrow d$: A primeira onda frontal se deslocava para leste, mas sua extremidade ainda atuava na costa leste. A perturbação ciclônica baroclínica, na extremidade do sistema frontal começava a se desprender e passava atuar na costa da região Sul do Brasil. A segunda onda frontal se apresentava com primeiro e segundo ciclones praticamente desconfigurados;

$d \rightarrow e$: A extremidade do sistema 1 posicionava-se na costa do NEB. A perturbação baroclínica se intensificava na costa sul do Brasil. A perturbação na região centro-norte da Argentina, resultante da passagem do segundo ciclone da segunda onda frontal sobre os Andes. A SE, restos, quase imperceptíveis, do primeiro ciclone da segunda onda frontal;

$e \rightarrow f$: Extremidade do sistema 1 na costa do NEB. Perturbação ciclônica baroclínica começava a interagir, ao sul, com os restos do primeiro ciclone da segunda onda frontal (surgimento do sistema 2) e, a oeste, com a perturbação remanescente do segundo ciclone da família;

$f \rightarrow g$: Continuavam os processos descritos acima. Um terceiro sistema frontal começava entrar no extremo sul da AS;

$g \rightarrow h$: Sistema 2, formado pela união da perturbação ciclônica baroclínica com os restos do primeiro ciclone da segunda onda frontal, começava a interagir, ao sul, com o primeiro ciclone da terceira onda frontal, que se deslocava rapidamente para leste. Sobre a região Sul do Brasil, a perturbação continuava interagindo com o sistema 2;

$h \rightarrow i$: Continuavam os processos descritos acima;

$i \rightarrow j$: O trem de ondas de escala sinótica nas regiões subpolares (propagação mais rápida para leste) se acoplava, sobre o Atlântico Sul, com o trem de ondas das regiões subtropicais (propagação mais lenta), formando uma nova onda frontal que, por manter partes de diferentes ondas frontais, foi chamada de mista. Esse processo é descrito mais claramente no item 4.4.4.2;

$j \rightarrow l$: Ciclogênese na nova onda frontal. Formava-se o segundo ciclone na família de ciclones da onda frontal mista (sistema 3);

$l \rightarrow m$: Evolução do sistema 3, com oclusão das frentes, fria e quente, nas proximidades do vórtice frontal;

$m \rightarrow n$: A frente fria estava sobre o Estado da Bahia.

$n \rightarrow o$: Ocorria a oclusão do sistema 3 e tinha início o rompimento das frentes em baixos níveis e a separação da parte oclusa. Esse processo é descrito em detalhes no item 4.4.7. Depois da oclusão, a frente foi impulsionada mais para o norte;

$o \rightarrow p$: O sistema frontal chegava no Estado de Alagoas. A parte oclusa que se desprendera totalmente das frentes principais, começava a evoluir para um vórtice posicionado totalmente dentro do ar frio.

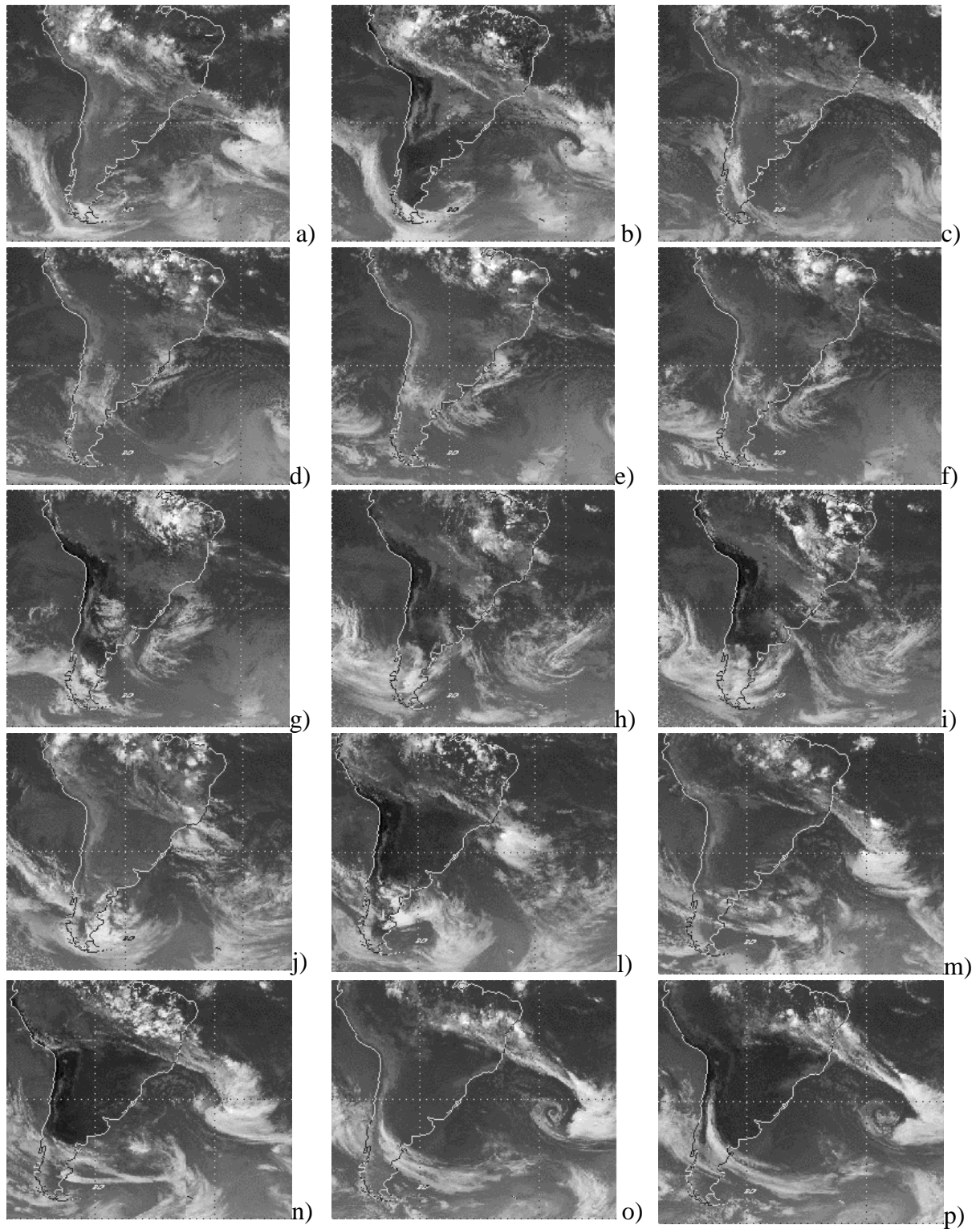


Figura 25 - Sequência de imagens de satélite para o período do evento, como ilustração esquemática representativa da evolução dos processos analisados. a)26/04-12UTC, b)26-18UTC, c)27/04-12UTC, d)28/04-03UTC, e)28-09UTC, f)28-12UTC, g)28-18UTC, h)29/04-15UTC, i)29-18UTC, j)30/04-09UTC, l)30-18UTC, m)01/05-12UTC, n)01-18UTC, o)02/05-12UTC e p)02-18UTC. Fonte: CPTEC/INPE.

4.4.2 - Análise Sinótica para o Dia 26/04/2005

4.4.2.1 - Análise em 925hPa

Na Figura 26 apresentaram-se imagens de satélite para o dia 26 de abril de 2005, no horário das 12UTC. Sobrepostos a essas imagens, observam-se campos de PNM (Figura 26a) e de θ_e (Figura 26b). Além disso, um campo que se mostrou muito eficiente para identificação da frente foi o de $A\theta_e$ (Figura 26c), apresentando resultados melhores que o de advecção de temperatura (Figura 26d). Ambos indicam advecções frias/negativas na cor azul e quentes/positivas em vermelho.

- Primeira onda frontal sobre a AS:

Naquele momento, um sistema frontal associado a um ciclone extratropical atuava sobre o Oceano Atlântico Sul, daqui para frente chamado de sistema 1. A nebulosidade frontal, que atuava na região, estendia-se desde o sistema ciclônico, posicionado em 34°S e 28°W, passando sobre o litoral do Sudeste brasileiro, até o interior do continente. Todo o sul da AS estava sobre a influência do anticiclone pós-frontal, nesse caso também chamado de final, pois define o término espacial da primeira onda frontal analisada.

No campo de PNM, a nebulosidade frontal estava posicionada sobre o eixo do cavado bórico. O forte gradiente de θ_e indicava o posicionamento da frente fria, onde se observou uma OAV θ_e na vanguarda e uma OBV θ_e na retaguarda, configuração clássica para esse tipo de sistema. Tanto no campo de $A\theta_e$ como no de advecção de temperatura, a zona frontal estava localizada exatamente entre as advecções positivas/quentes da vanguarda e negativas/frias da retaguarda, coincidindo com a posição do cavado bórico e do gradiente de θ_e . Notou-se que o campo de $A\theta_e$ apresentou o sistema como um todo de forma mais detalhada.

Sobre o continente, fortes atividades convectivas estavam organizadas pela extremidade frontal do sistema 1 e por um novo distúrbio baroclínico na extremidade da onda frontal. Tratou-se de uma perturbação ciclônica baroclínica comumente observada sobre o continente entre o final da estação de transição fria (outono) e o início da transição quente (primavera), provocada pela passagem de extremidades frontais ativas sobre a região central da AS. Essa perturbação ciclônica era observada na região do cavado sobre o continente, apresentando forte gradiente de θ_e . A OAV θ_e estava situada sobre o Sudeste e leste da região Centro-Oeste do Brasil (vanguarda), enquanto a OBV θ_e localizava-se sobre a Bolívia, Paraguai e oeste da região Centro-Oeste do Brasil (retaguarda).

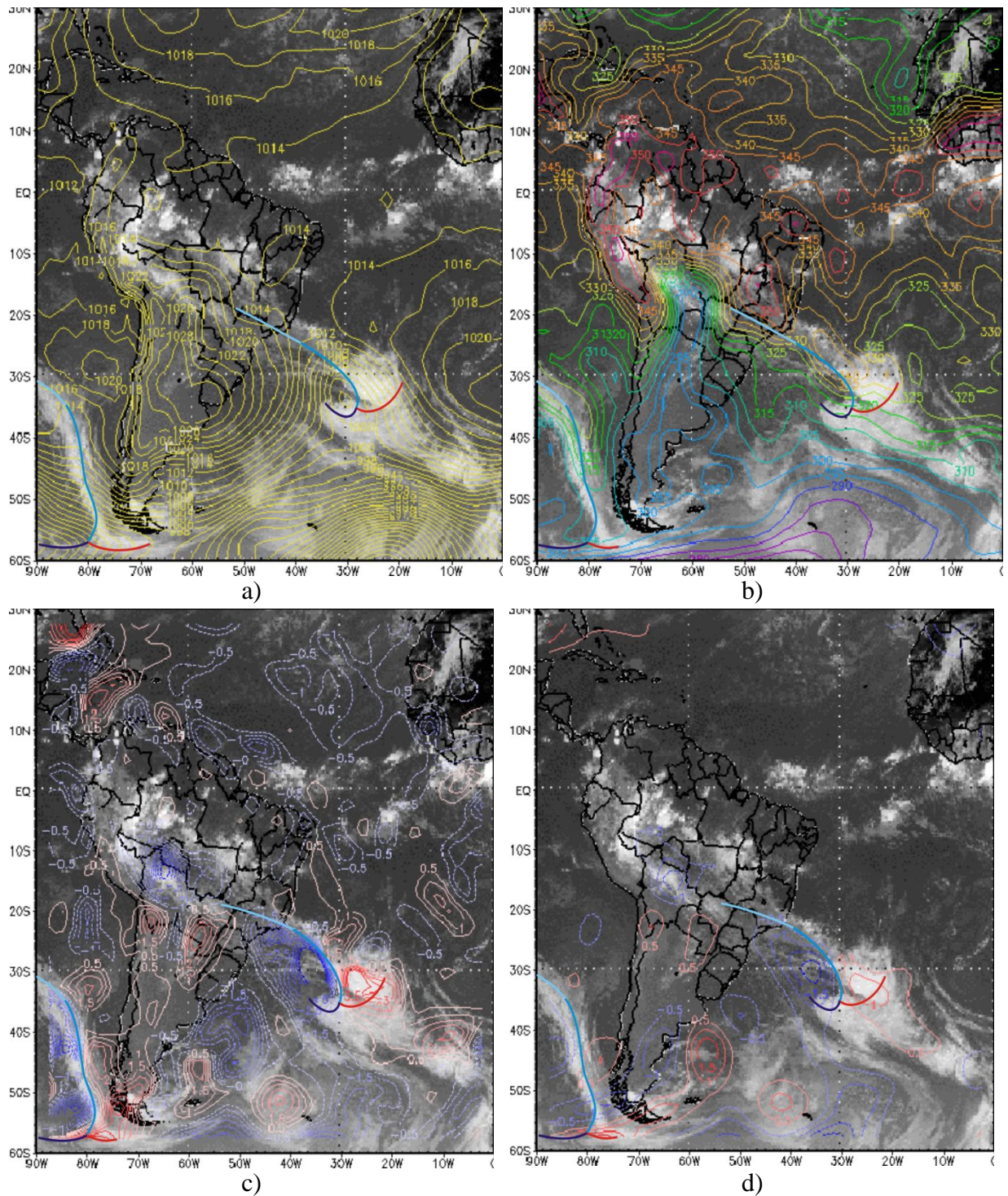


Figura 26 - Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 12UTC do dia 26/04/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 925hPa. Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.

O campo de $A\theta_e$ mostrou um núcleo bem definido de advecção positiva sobre Paraguai, parte do norte da Argentina e sul do Mato Grosso do Sul. Na retaguarda, observavam-se dois núcleos com advecções negativas. O maior, sobre a Bolívia e Rondônia e o menor, sobre o norte da Argentina. Pela advecção de temperatura, também foi possível identificar essa configuração, porém, com menos detalhes.

- Segunda onda frontal entrando na AS:

Vindo do Oceano Pacífico, outro sistema frontal, agora associado a um ciclone polar, entrava no extremo sul da AS. A nebulosidade frontal, que atuava na costa chilena, estava composta por uma banda de nuvens bem organizada, vista desde o sistema ciclônico no Pacífico Sul, em 58°S e 91°W , passando pelo litoral sul do Chile, onde se estendia meridionalmente, até aproximadamente 30°S e 94°W . A frente fria estava posicionada ao longo do cavado bórico no campo de pressão. Na vanguarda do cavado, havia uma extensa $OAV\theta_e$, com outra $OBV\theta_e$ na retaguarda. Entre elas, o pronunciado gradiente de θ_e confirmava a localização da frente.

O campo de $A\theta_e$ mostrou advecções negativas na retaguarda do cavado, ao longo de toda zona frontal. As advecções positivas a leste do cavado eram mais expressivas ao sul de 40°S , próximo a região do vórtice. O campo de advecção de temperatura mostrou uma área com advecções de ar frio que atravessava a frente fria, nas mediações do centro do vórtice. Essa área se estendia sobre a Terra do Fogo e o leste da Patagônia. Na vanguarda, havia advecções de ar mais quente em toda extensão. Essa configuração sugeria o rompimento da frente fria principal, como observado no quarto estágio do modelo de desenvolvimento ciclônico proposto por Shapiro-Keyser, apresentado por Schultz *et al.* (1998).

Na extremidade do primeiro ciclone da família que entrava na AS, uma amplificação do cavado bórico podia ser identificada no campo de pressão, situada em torno dos 38°S e 83°W . Tratava-se de uma nova ciclogênese na extremidade da frente fria (segundo ciclone da família). O campo de θ_e , assim como o de advecção de temperatura, não evidenciaram esse processo de forma isolada. O campo de $A\theta_e$ mostrou dois núcleos de advecção bem definidos. Um continha advecções positivas de θ_e na vanguarda e, o outro, advecções negativas na retaguarda, confirmando o início da ciclogênese.

A caracterização das ondas frontais foi complementada pelos campos da Figura 27. Foram plotadas cartas de espessura da camada 700-1000hPa com linhas de corrente (Figura 27a) e geopotencial com vorticidade relativa (Figura 27b). As menores espessuras, na cor azul, indicam ar mais frio e as maiores, tom alaranjado passando ao vermelho, definem o ar mais quente. O campo de vorticidade relativa mostrou áreas com vorticidade negativa (ciclônica no HS) na cor vermelha e áreas com vorticidade positiva (anticiclônico no HS) na cor verde.

- Primeira onda frontal sobre a AS:

Na região do sistema 1, foi possível identificar um forte gradiente de espessura e confluência nas linhas de corrente ao longo do cavado. A confluência se estendia das proximidades do vórtice até o estado brasileiro de Minas Gerais. Nota-se a configuração de onda quente na vanguarda da frente e onda fria na retaguarda. O campo de geopotencial mostrou o centro do ciclone extratropical com 650mgp e o cavado orientado na direção NW-SE. Áreas de vorticidade ciclônica são observadas em toda região do cavado, prolongadas até o litoral do Sudeste.

Sobre o continente, pode-se observar um segundo par de ondas, fria e quente, no campo de espessura. Essas ondas estavam associadas ao distúrbio baroclínico da extremidade frontal, apresentando onda fria na retaguarda e quente na vanguarda. Também, pelas linhas de corrente, pode-se ver a curvatura ciclônica na região do cavado e um fluxo anticiclônico a oeste, sobre o sul da Bolívia. O geopotencial mostrou bem esse cavado, com vorticidade negativa em toda sua extensão e positiva na região da crista.

- Segunda onda frontal entrando na AS:

Pelas linhas de corrente, havia fraca confluência ao longo da região frontal. No campo de espessura, estava caracterizada pelo considerável gradiente, confirmando uma região baroclínica conferida a todo sistema. O geopotencial indicou que o cavado frontal estava mais pronunciado na direção zonal, sobre a região da Terra do Fogo. Na frente fria, o cavado quase desaparecia, sem apresentar as áreas de vorticidade ciclônica, que eram mais presentes ao longo do cavado orientado na direção zonal.

A configuração observada sugeria que o ciclone, além de estar no ultimo estágio de desenvolvimento (ciclone velho), sofria forte influência devido à barreira imposta pelos Andes e sua rápida aproximação em direção a mesma.

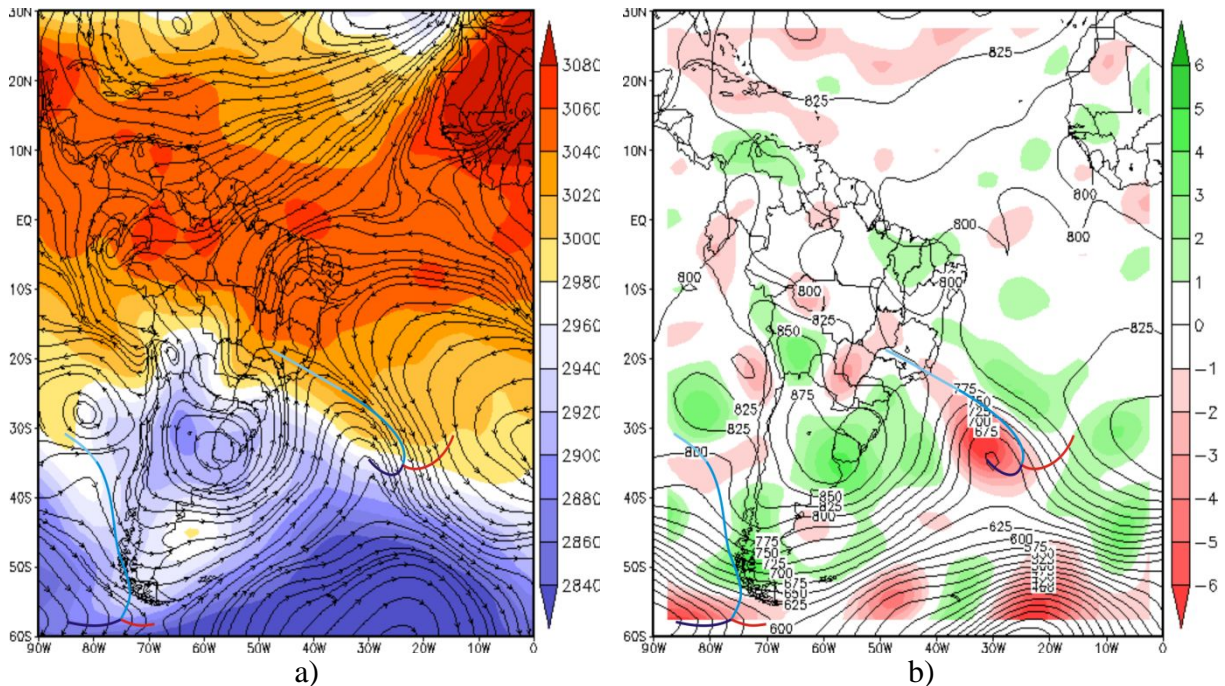


Figura 27 - Campos meteorológicos para 925hPa, com representação do sistema frontal, no dia 26/04/2005, às 12UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 700-1000hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

A nova ciclogênese, na extremidade da frente fria, podia ser identificada por um aumento do gradiente de espessura na região do fluxo de curvatura ciclônica, com onda quente na vanguarda e fria na retaguarda. A área de vorticidade negativa ao longo do cavado, na costa do Chile, evidenciava ainda mais esse processo.

4.4.2.2 - Análise em 850hPa

Para caracterizar as condições sinóticas associadas aos sistemas, foram apresentados campos de geopotencial em 850hPa para o dia 26/04/2005, às 12UTC. A esses, foram sobrepostas cartas de linhas de corrente e vorticidade relativa (Figura 28a), θ_e (Figura 28b), $A\theta_e$ (Figura 28c) e advecção de temperatura (Figura 28d).

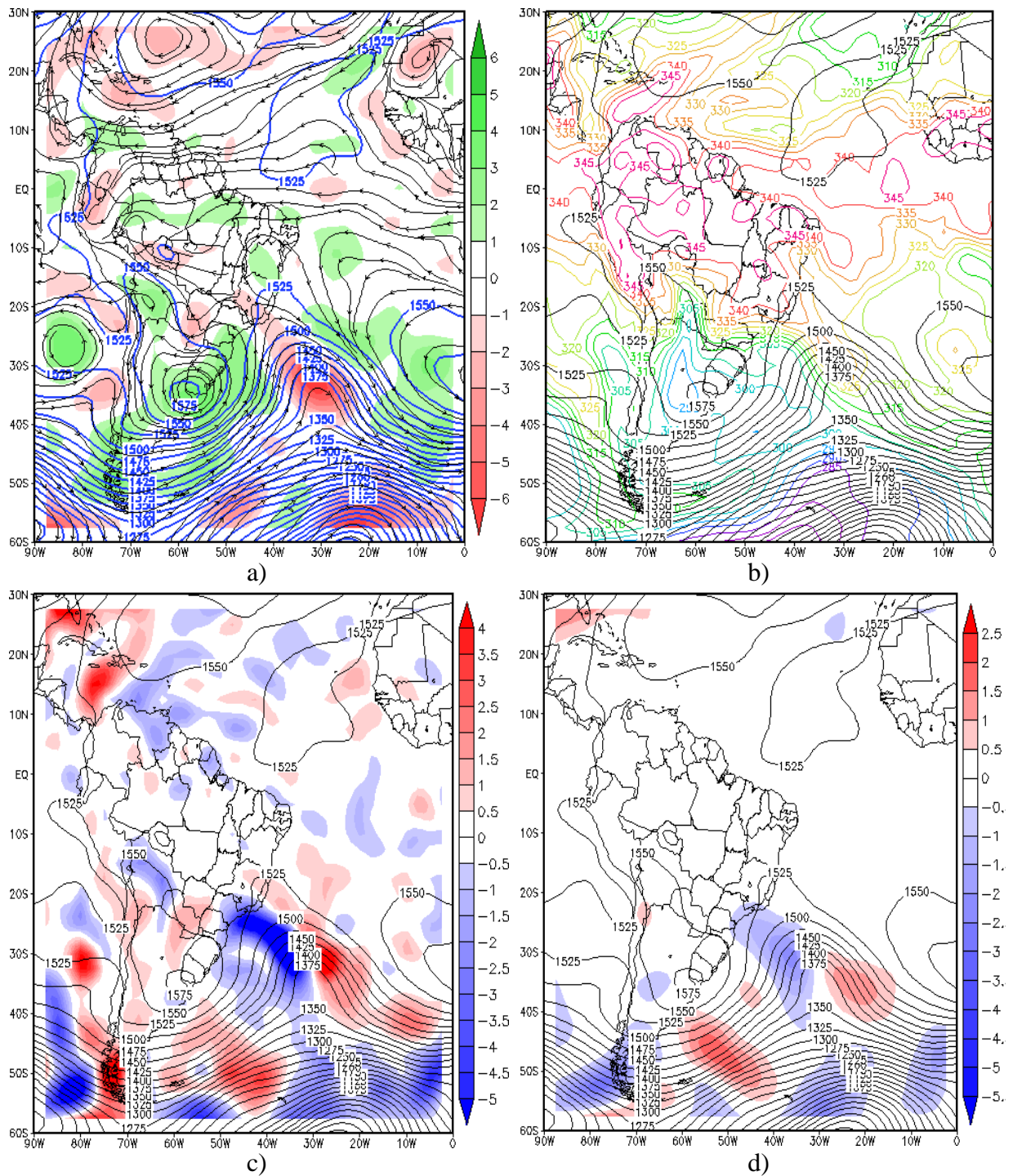


Figura 28 - Campos meteorológicos sobrepostos a carta de geopotencial em 850hPa, para o dia 26/04/2005, às 12UTC.: a) linhas de corrente (em preto) e vorticidade relativa (em cores), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores). Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

- Primeira onda frontal sobre a AS:

O sistema 1 se mostrava bem evidente, apresentando o eixo do cavado prolongado na direção NW-SE, chegando até o continente sobre o Estado de Minas Gerais. A extremidade desse cavado exibia isolinha de altura geopotencial com valor de 1525mgp. Ao longo de toda extensão do cavado observava-se confluência nas linhas de corrente e áreas de vorticidade ciclônica. O forte gradiente de θ_e e as extensas áreas de advecção negativa de θ_e na retaguarda e positiva na vanguarda, reforçavam a caracterização da zona frontal nesse nível. Pelo campo de advecção de temperatura, também era possível identificar a frente, situada entre os contornos com advecções de ar frio e quente. Ressalta-se que, em 850hPa, o campo de advecção de θ_e , também mostrou informações mais detalhadas quando comparado ao de temperatura.

No flanco norte do anticiclone sobre o continente, pode-se observar o cavado associado ao distúrbio baroclínico, identificado anteriormente em 925hPa. No cavado havia um fluxo ciclônico, visto nas linhas de corrente, e um núcleo com vorticidade ciclônica. O campo de θ_e apresentava um pronunciado gradiente onde, pela carta de $A\theta_e$, posicionava-se entre as áreas com advecções positivas (na vanguarda) e negativas (na retaguarda). O campo de advecção de temperatura não identificou o distúrbio nesse nível.

- Segunda onda frontal entrando na AS:

Na região do cavado, associado ao ciclone polar que entrava na AS, pode-se notar a quase inexistência de confluência nas linhas de corrente e a ausência de vorticidade negativa, com exceção do centro do vórtice frontal. Um gradiente de θ_e , acompanhado de uma ampla $OAV\theta_e$ situada em sua vanguarda e outra com $OBV\theta_e$ na retaguarda, foi observado no campo de θ_e . Isso indicava, de forma objetiva, a localização da frente fria, que estava atrelada à segunda onda frontal.

A região de contraste entre as áreas com fortes advecções positivas (vanguarda) e negativas (retaguarda), através do campo de $A\theta_e$, mostraram mais corretamente a localização da zona frontal em 850hPa. Pelo campo de advecção de temperatura pode-se observar que, nesse nível, os núcleos de advecção estavam associados ao cavado frontal alongado zonalmente, indicando o rompimento da frente fria e entrada de ar frio na Patagônia.

O cavado na extremidade da frente fria, representativo da nova ciclogênese, também podia ser identificado nesse nível, onde se notava, na costa do Chile, circulação ciclônica nas linhas de corrente e um considerável núcleo de vorticidade negativa em seu eixo. Nessa mesma região, existia um gradiente secundário de θ_e , em 30°S e 78°W. Pelo campo de $A\theta_e$ era possível observar dois núcleos de advecção na extremidade da frente, enquanto o campo de advecção de temperatura não fornecia informações sobre esse processo.

4.4.2.3 - Análise em 500hPa

As condições sinóticas para o nível de 500hPa, foram apresentadas com a sobreposição de alguns campos meteorológicos em cartas de geopotencial, no dia 26/04/2005. Foram analisadas linhas de corrente e vorticidade (Figura 29a), θ_e (Figura 29b), $A\theta_e$ (Figura 29c) e advecção de temperatura (Figura 29d).

- Primeira onda frontal sobre a AS:

Ainda era possível identificar algumas características do sistema 1 nesse nível. Na região ao longo do cavado, as linhas de corrente demonstravam a existência de fraca confluência, contendo núcleos de vorticidade ciclônica em seu eixo. Um considerável gradiente de θ_e , e uma ampla área com advecções negativas de temperatura e θ_e , também indicavam a posição da frente. Nesse nível, já não dava mais para identificar o distúrbio baroclínico sobre o continente, a não ser por um pequeno cavado sobre o Paraguai (5800mgp). Observava-se um centro da alta altura geopotencial sobre a região central do Brasil, apresentando isolinha fechada de 5900mgp e circulação anticiclônica.

- Segunda onda frontal entrando na AS:

Assim como no sistema 1, restavam poucas características da região frontal associada a segunda onda que entrava na AS. Notou-se um amplo cavado, deslocado a oeste do ciclone em baixos níveis, indicando a típica situação de sistemas baroclínicos inclinados para oeste com a altura. Ao longo do cavado, não se via a fraca confluência observada em níveis mais baixos. Os núcleos de vorticidade ciclônica, o lacônico gradiente de θ_e e as grandes áreas com advecções negativas (tanto de temperatura como de θ_e) ao longo do cavado, marcavam a presença da frente nesse nível.

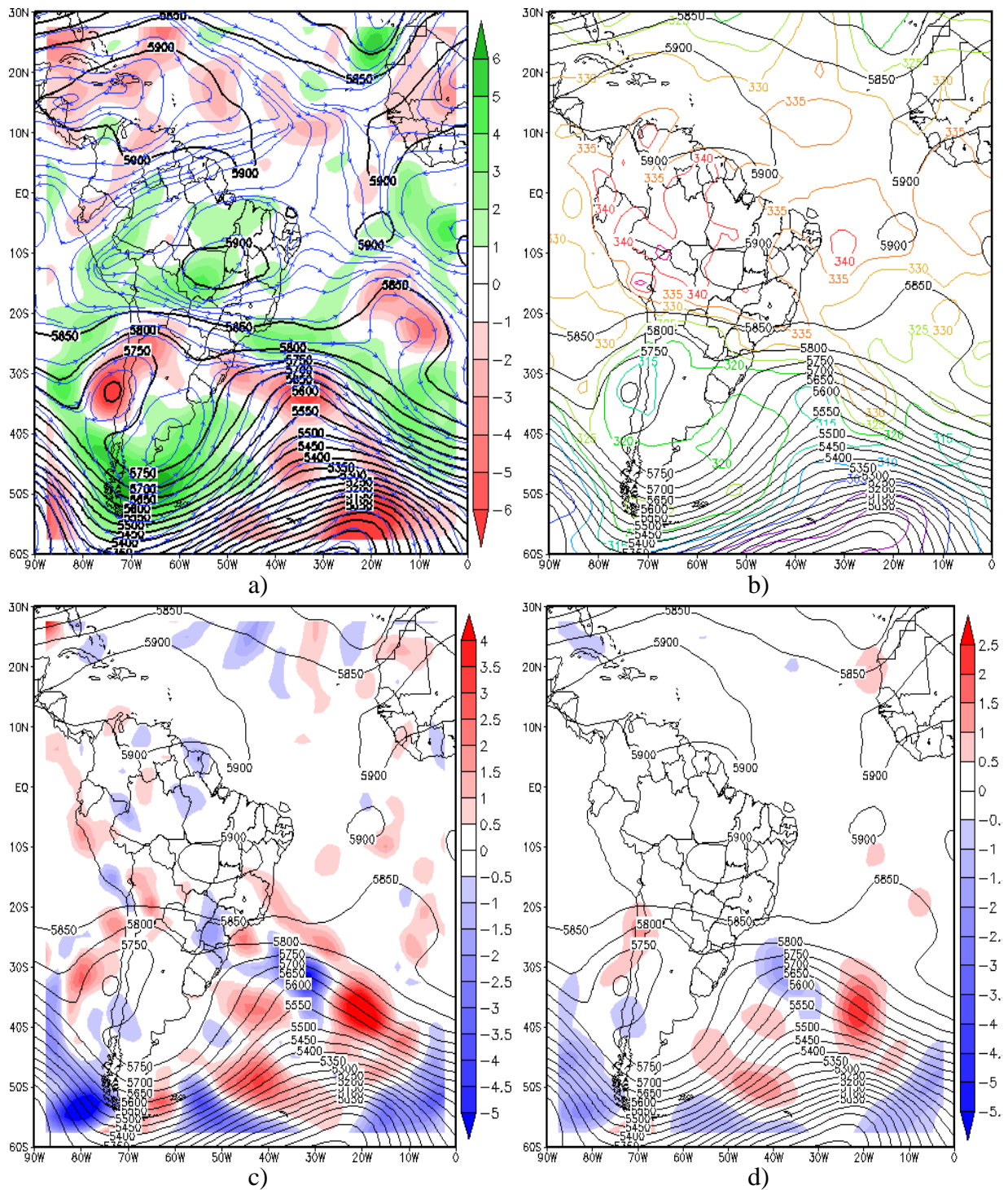


Figura 29 - Campos meteorológicos para o dia 26/04/2005, às 12UTC, sobrepostos ao geopotencial em 500hPa: a) linhas de corrente (em azul) e vorticidade relativa (em cores), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores). Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

Notou-se que, sobre a região central do Chile, existia um bem definido centro de baixa altura geopotencial (5700mgp), com fluxo ciclônico fechado, um forte núcleo de vorticidade negativa e outro de baixa θ_e (315K). Estas características indicavam o posicionamento da base de um VCAN baroclínico de médias latitudes (do tipo Palmén), melhor observado em 200hPa. A sudeste, uma forte e ampla crista complementava a estrutura horizontal do VCAN.

4.4.2.4 - Análise em 200hPa

Foram apresentadas as sobreposições de campos meteorológicos contendo cartas de espessura da camada 200-500hPa com linhas de corrente (Figura 30a), e geopotencial com vorticidade relativa (Figura 30b), no mesmo dia e horário analisado até aqui.

- Primeira onda frontal sobre a AS:

Associado ao sistema 1 em superfície, havia a presença de uma CJS, orientada zonalmente, com isotáca de vento máximo igual a 80m/s. O campo de espessura da camada 200-500hPa mostrou que havia baroclinia ao longo cavado que, nesse nível, apresentava fortes núcleos de vorticidade ciclônica em seu eixo. A presença dessa extensa corrente de jato zonal indicava que o sistema 1 iria se deslocar rapidamente para leste nos próximos dias, atuando somente no extremo sul do NEB.

A circulação anticiclônica em altos níveis (AB), situada em 05°S e 46°W, com uma ampla crista sobre a região do Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, juntamente com a extremidade frontal e distúrbio baroclínico comentado, favoreciam a existência de atividades convectivas observadas sobre o continente.

- Segunda onda frontal entrando na AS:

Associada a onda frontal que entrava na AS, era observada a existência de uma segunda corrente de jato, sendo essa polar, situada na região de uma ampla crista. O escoamento em altos níveis apresentou um fluxo bifurcado sobre o leste do Pacífico, com uma parte do fluxo sobre o norte do Chile e centro do Brasil e outro ramo sobre a parte sul da AS.

Essa situação foi descrita por Virji e Kousky (1983), como precursora para penetração de sistemas frontais em baixas latitudes, em especial na região amazônica.

O VCAN, cuja estrutura da base foi descrita em 500hPa, podia ser identificado pelo baixo centro de altura geopotencial (12000mgp), apresentando forte circulação e vorticidade ciclônicas, e um núcleo bem claro de baixos valores de espessura da camada 200-500hPa (6150mgp). Estando localizado no lado polar da entrada do jato subtropical, a subsidência podia ser ainda mais forte, já que a circulações transversais produzem movimentos descendentes no lado polar e ascendente no lado equatorial da entrada dos jatos.

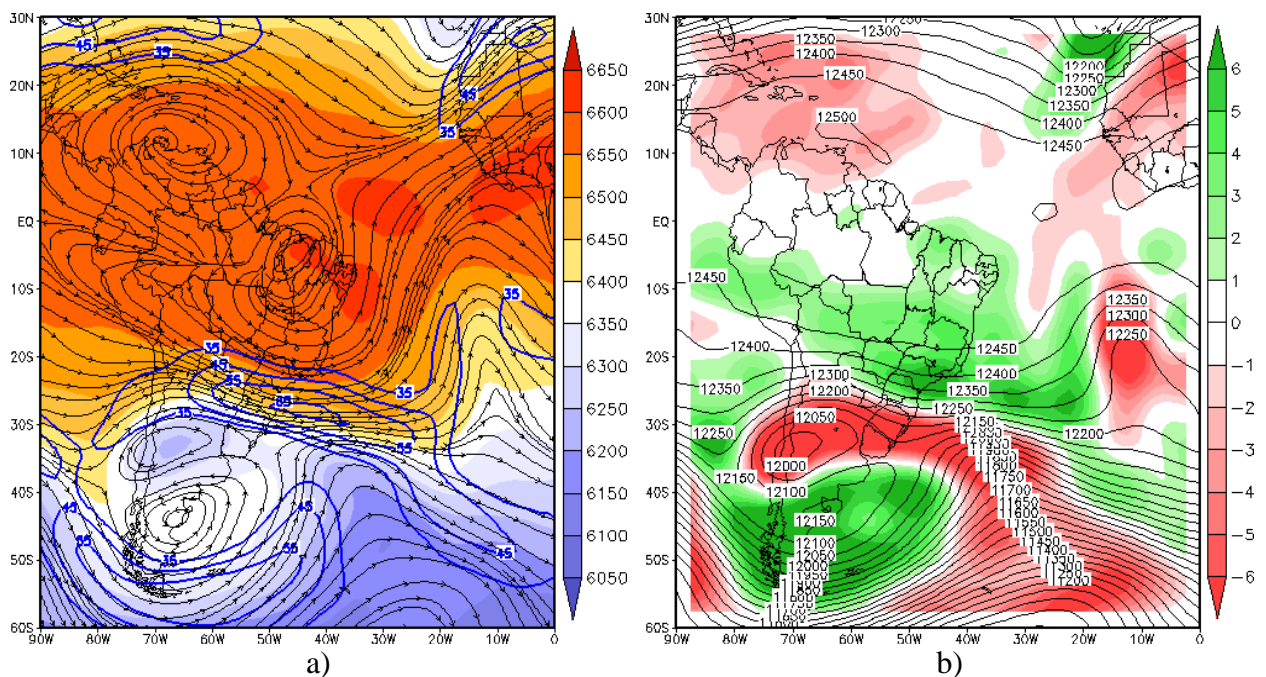


Figura 30 - Sobreposição de campos meteorológicos para 200hPa, no dia 26/04/2005, às 12UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

A região da extremidade da frente em baixos níveis, onde ocorria a formação do segundo ciclone da família, estava posicionada exatamente sob a bifurcação do fluxo descrito anteriormente, no lado equatorial da entrada do jato polar e na retaguarda do VCAN. Essa sobreposição de fatores favoreceu a intensificação dos movimentos ascendentes. Na retaguarda do VCAN baroclínico, geralmente, ocorre forte convecção, nesse caso incrementada pela circulação transversal da entrada do jato e pela divergência em altos níveis acentuada ainda mais pela bifurcação do fluxo.

4.4.3 - Processos Observados entre os Dias 27 e 29/04/2005

4.4.3.1 - Análise do dia 27/04 em 850hPa

Foram apresentadas imagens de satélite para o dia 27 de abril de 2005, no horário das 12UTC, com a sobreposição do campo de PNM (Figura 31a), θ_e (Figura 31b), $A\theta_e$ (Figura 31c) e advecção de temperatura (Figura 31d).

- Primeira onda frontal:

Nesse dia, o sistema ciclônico, associado à primeira onda frontal, estava mais intensificado (sistema 1). O centro do vórtice frontal localizava-se a sudeste da posição anterior, em 45°S e 15°W, apresentando 976hPa em seu centro. A frente fria estava posicionada ao longo do eixo do cavado bórico. Pela imagem do satélite, campo de θ_e e $A\theta_e$, a extremidade da frente chegou até o leste do Estado de Minas Gerais e sul da Bahia. Na retaguarda do ciclone, era possível observar uma banda de nebulosidade associada a um vórtice no ar frio, identificado por um núcleo secundário no campo de pressão (978hPa). Esse sistema secundário gerou uma oclusão instantânea no dia seguinte, deslocando o sistema 1 para leste e alongando meridionalmente a frente principal.

Notou-se que houve uma ligeira redução das atividades convectivas sobre o continente. Existiram dois fatores em baixos níveis que contribuíram para essa diminuição: a movimentação da extremidade frontal para leste e o deslocamento, juntamente com a desintensificação, do distúrbio baroclínico para sudeste, posicionando-se sobre o oeste do Rio Grande do Sul e parte do nordeste da Argentina (cavado com isóbara 1020hPa). Esse pequeno sistema baroclínico começava a se desprender da primeira onda frontal e podia ser identificado pelo cavado comentado acima, pelo pequeno gradiente de θ_e na retaguarda da $OAV\theta_e$ e pela fraca advecção positiva de θ_e na vanguarda do cavado.

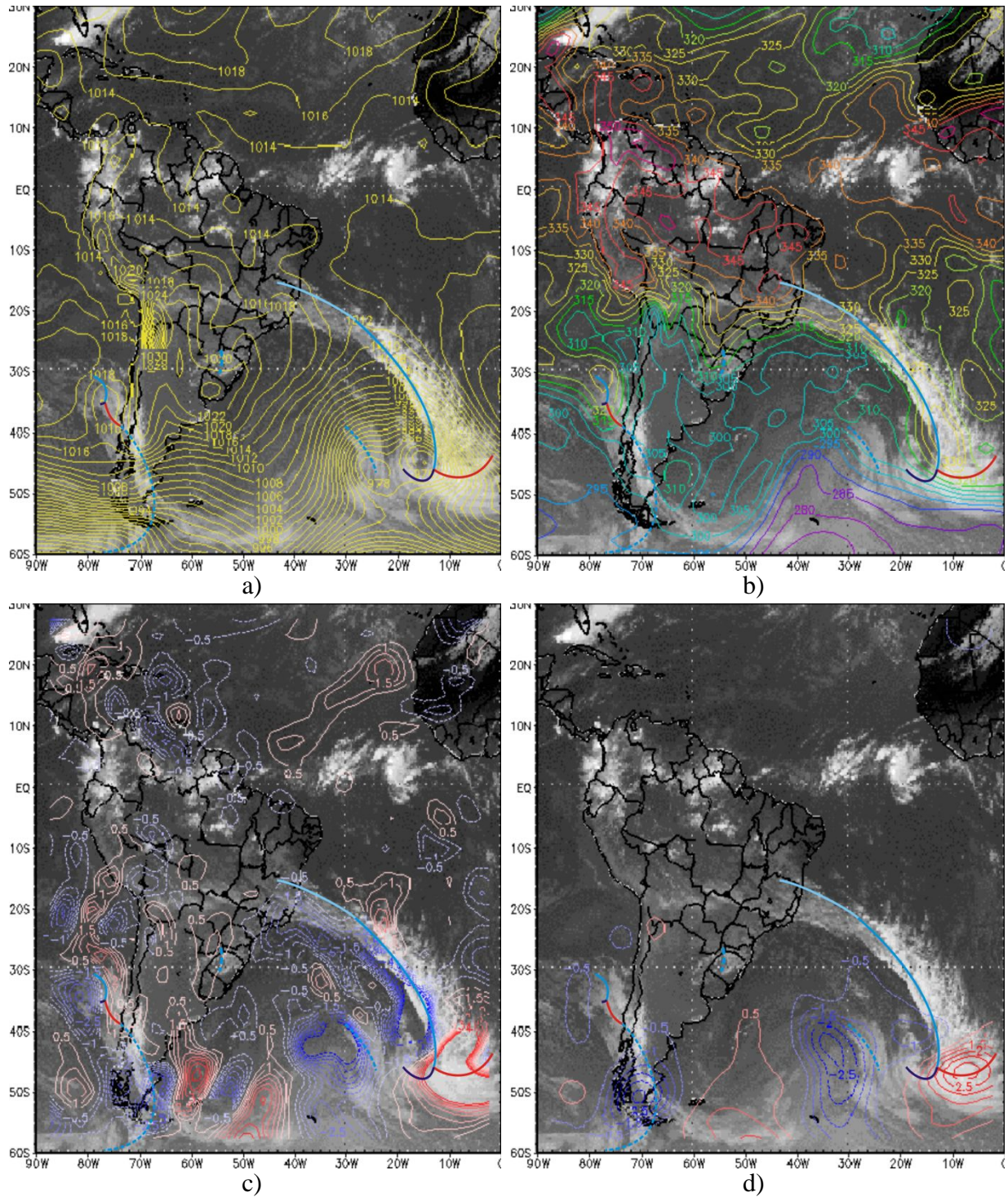


Figura 31 - Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 12UTC do dia 27/04/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 850hPa.

Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.

- Segunda onda frontal e surgimento do segundo ciclone da família:

Restos da frente principal, associados ao primeiro ciclone da família, podiam ser observados ao sul de 40°S, sobre a região dos Andes patagônicos e leste da Terra do Fogo. Ao longo da banda de nebulosidade, identificou-se um cavado se estendendo de 40°S até aproximadamente 65°S. Na região do cavado foram observadas advecções negativas de θ_e e temperatura, com advecções positivas na vanguarda. Advecções negativas de temperatura atravessaram a banda de nebulosidade frontal em direção ao norte, efeito provocado pelo fluxo característico de sul que surge exatamente a leste dos Andes nos escoamentos de oeste.

O novo vórtice frontal, formado na extremidade da frente fria, se aprofundou e podia ser visto posicionado em 35°S e 77°W, na costa do Chile. Seu centro apresentou valores de 1014hPa, numa região cujo gradiente de θ_e apresentava OAV θ_e na vanguarda e OBV θ_e na retaguarda. O campo de A θ_e evidenciava advecções negativas a oeste e positivas a leste. O de advecção de temperatura apresentou somente um pequeno núcleo com advecção de ar frio na retaguarda. O segundo ciclone da família já sofria forte influência dos Andes, e seu tempo de duração se restringiu a pouco mais de 36 horas. Contudo, ainda se mostrava bem evidente. Parmenter (1976) descreveu um bem definido vórtice frontal na costa do Chile como primeiro indício para atuação de frentes e incursão de ar frio na região tropical.

4.4.3.2 - Análise do dia 27/04 em 200hPa

Para o dia 27/05/2005, às 12UTC, foram apresentadas as sobreposições de campos meteorológicos, contendo cartas de espessura da camada 200-500hPa com linhas de corrente (Figura 32a) e geopotencial com vorticidade relativa (Figura 32b).

- Primeira onda frontal:

A CJS ainda apresentava um escoamento zonal sobre a parte central da AS e mediações do Atlântico (velocidade máxima de 55m/s). Corrente abaixo, apresentava uma orientação NW-SE, acoplada ao sistema 1 em baixos níveis, interagindo com um núcleo da CJP.

A circulação anticiclônica, que define a AB, se deslocou mais para o norte, situando-se em 03°S e 46°W. A crista, que atuava sobre a parte central do Brasil, desapareceu,

dando lugar ao fluxo zonal conduzido pelo jato que estava enfraquecendo. Essa configuração em altos níveis também favoreceu a diminuição das atividades convectivas observadas sobre o continente, restringindo-as à parte norte das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

- Segunda onda frontal e surgimento do segundo ciclone da família:

A CJP, associada à onda frontal que entrava na AS, se deslocou para leste, acompanhando a ampla crista e o escoamento principal. A entrada do jato, situada sobre a região dos Andes patagônicos, favoreceu o fluxo de sul em baixos níveis, a leste das montanhas, proporcionando a entrada de ar frio na região.

O escoamento nesse nível se manteve com a configuração de fluxo bifurcado, tendo menor amplitude na parte norte. Isso se deve ao deslocamento do VCAN para leste, juntamente com sua desintensificação. O núcleo do VCAN não já não apresentava circulação fechada. Ainda se percebia um baixo centro de altura geopotencial, com 12000mgp, vorticidade ciclônica, mas certo aumento de espessura da camada 200-500hPa (6250mgp). Nesse momento, ele continuava a influenciar o ciclone posicionado na costa do Chile. Porém, no dia seguinte, passou a interagir diretamente com o distúrbio baroclínico que se deslocava para costa da região Sul do Brasil, impedindo seu desenvolvimento.

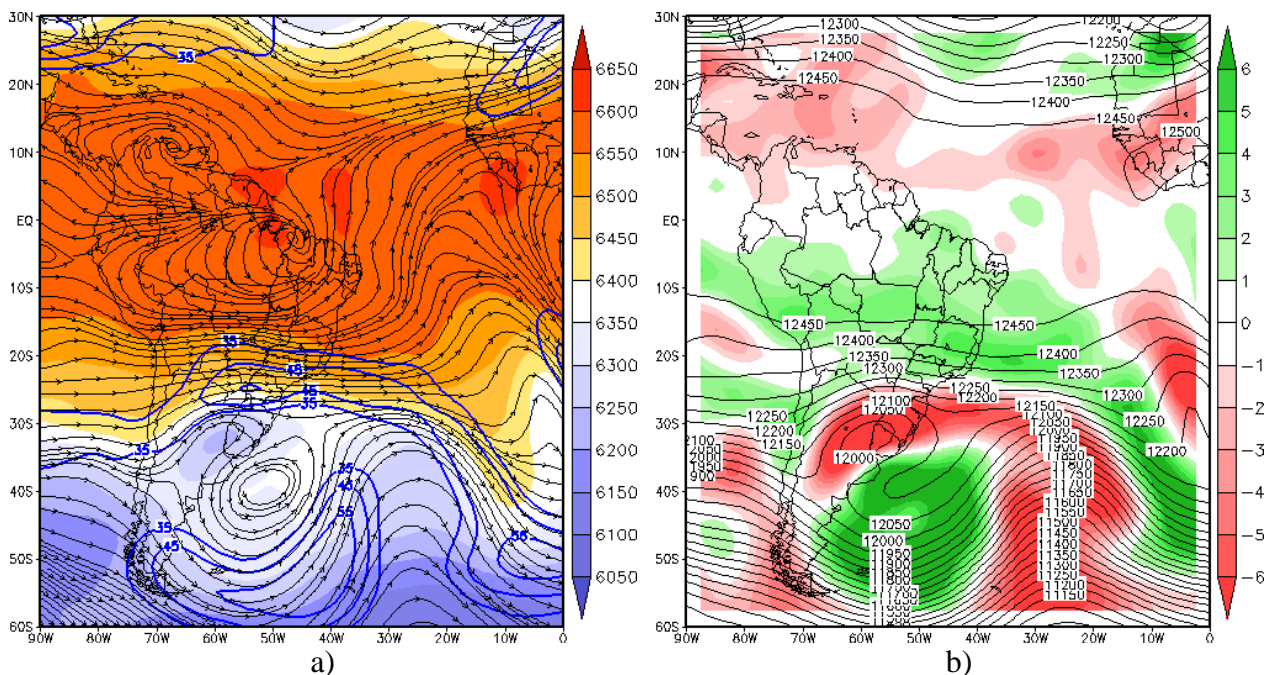


Figura 32 - Sobreposição de campos meteorológicos em 200hPa para o dia 27/04/2005, às 12UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

4.4.3.3 - Análise do dia 28/04 em 925hPa

Foram apresentadas imagens de satélite, com a sobreposição do campo de PNM (Figura 33a), θ_e (Figura 33b), $A\theta_e$ (Figura 33c), e advecção de temperatura (Figura 33d), para o horário das 18UTC.

- A primeira onda frontal se afasta e surge um segundo sistema:

No momento, ocorria o processo de oclusão instantânea no sistema 1, com o vórtice no ar frio unindo-se ao ciclone principal, que pode ser, claramente, identificado pelas imagens de satélite e pela sua intensificação no campo de pressão, apresentando um centro de 980hPa. Tal processo é explicado por Browning (apud BONATTI, 1987).

A frente principal estava alongada meridionalmente, acompanhando o eixo do cavado bórico até 20°S, onde se prolongava para WNW, em direção ao continente. Pelo campo de θ_e e $A\theta_e$, pode-se verificar que a frente chegou até o norte da Bahia. A extensa OAV θ_e na vanguarda da frente, e as advecções negativas de θ_e na retaguarda, comprovaram sua localização. A intensificação da convergência do fluxo de umidade e o aumento das atividades convectivas, sobre o leste da região Norte e oeste da região Nordeste, deveu-se à interação entre a extremidade do sistema frontal e as perturbações ondulatórias nos Alísios. Esse foi o último momento em que a frente principal, associada a primeira onda frontal, atuou diretamente sobre a AS. Por pouco, tal sistema não entrou para o grupo de eventos selecionados para análise dos sistemas frontais que influenciaram, direta ou indiretamente, as condições de tempo sobre AL.

O distúrbio baroclínico, que se despreendeu da extremidade da primeira onda frontal, se deslocou ainda mais para sudeste, onde, na costa da região Sul do Brasil, começou a interagir com a extremidade de uma perturbação ciclônica mais ao sul, originada dos restos do primeiro ciclone que entrou na AS associado à segunda onda frontal. Pode se observar a interação da nebulosidade através do prolongamento do eixo de um cavado, de 65°S e 35°W até 40°S e 60°W, na costa da Argentina. Ao longo desse cavado, existiu certo gradiente de θ_e , não muito intenso, com advecções negativas de temperatura e θ_e na retaguarda, e positivas na vanguarda.

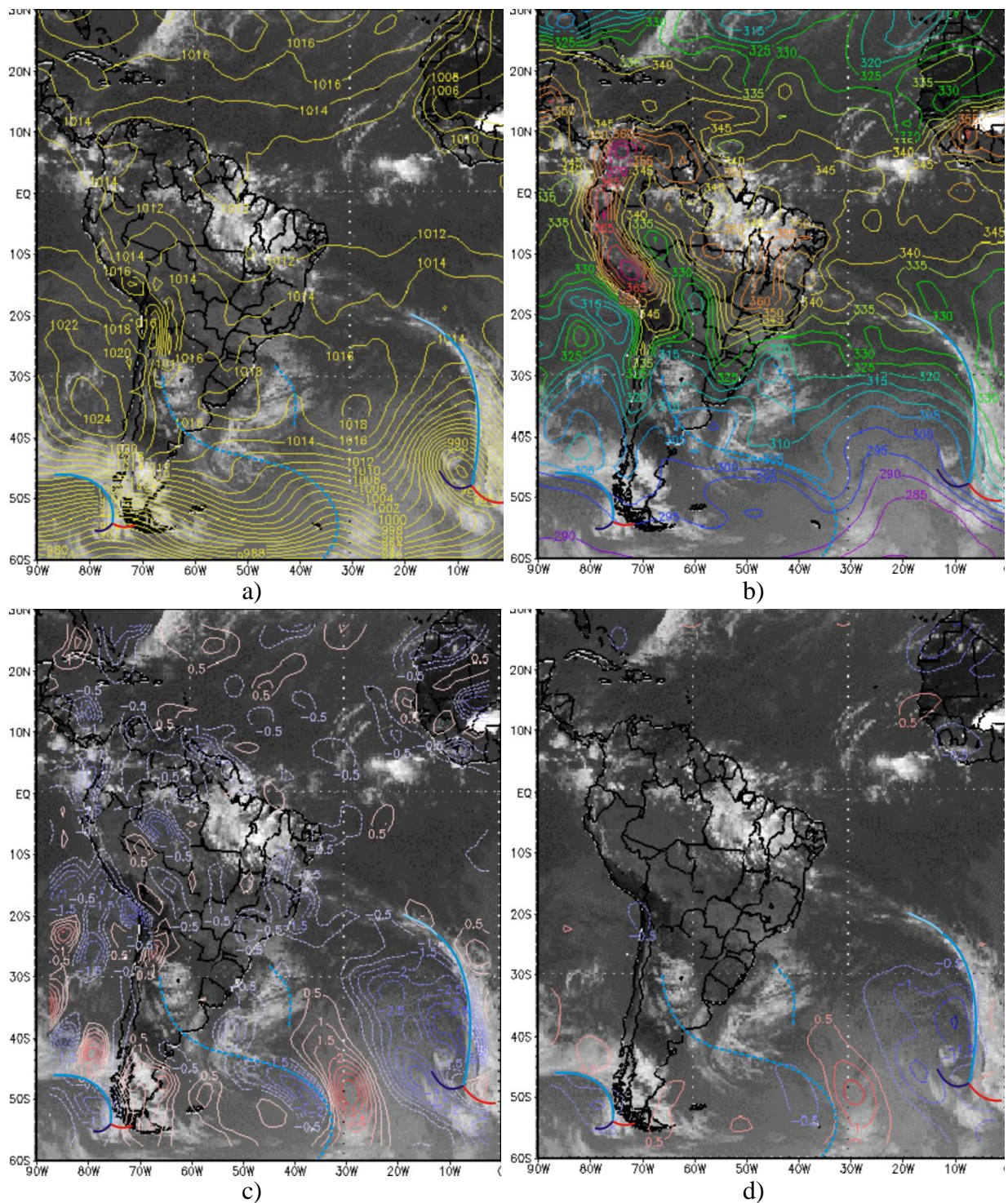


Figura 33 - Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 18UTC do dia 28/04/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 925hPa.
 Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.

O cavado representativo do distúrbio baroclínico foi apresentado pela isóbara de 1016hPa, localizada a leste do anticiclone, sobre a costa do Rio Grande do Sul e Uruguai (1018hPa). Claramente de fraca intensidade, podia ser bem observado na imagem de satélite, mas de difícil identificação nos campos apresentados. Provavelmente, por três causas: baixa resolução dos dados de Reanálise; mau posicionamento desse sistema nesses dados; e por ser um sistema raso, restrito aos níveis inferiores da troposfera. Daqui pra frente, o distúrbio foi referido como sistema 2. O campo de θ_e se apresentou de forma difusa na região desse sistema, com fraco gradiente no lugar onde o sistema 2 interagiu com o outro cavado baroclínico. Viu-se um núcleo de advecções negativas de θ_e nessa mesma área.

- Segunda onda frontal quase desconfigurada a leste dos Andes:

Pode se observar uma perturbação na região Centro-Norte da Argentina, visível nas imagens de satélite como um grupo de nuvens bem definidas. Essa perturbação foi o que sobrou do segundo ciclone da onda frontal que, ao atravessar os Andes, se dissipou quase que totalmente. Posicionada a oeste do anticiclone (isóbara com 1018hPa) e na extremidade do cavado baroclínico associado aos restos do primeiro ciclone da família, quase não se percebia a existência de baroclinia na região, com características próximas a de um ciclone térmico sobre o continente, sobretudo pela ausência de advecções nos arredores.

No extremo sul, uma terceira onda frontal começava entrar na AS. Nessa onda, o primeiro ciclone da família estava posicionado em 52°S e 73°W, com fraca intensidade. As características de ciclone baroclínico eram evidentes. Pode se observar um gradiente de θ_e , advecções negativas de θ_e , e de temperatura na retaguarda, e positivas na vanguarda. Esse ciclone estava prestes a interagir, nos próximos dias, com o sistema 2 mais intensificado, formando uma onda frontal mista, responsável pela chegada da frente fria ao Estado de AL.

De fato, a segunda onda frontal começou a interagir com os restos da primeira onda que já atuava sobre o continente no dia 26/04. A caracterização dos sistemas mencionados pode ser complementada pelos campos da Figura 34. Foram plotadas cartas de espessura da camada 700-1000hPa com linhas de corrente (Figura 34a) e de geopotencial com vorticidade relativa (Figura 34b), para 925hPa.

- A primeira onda frontal se afasta e surge um segundo sistema:

Sobre o Atlântico, o sistema 2 apresentou um sutil gradiente de espessura, com uma onda quente em sua vanguarda e onda fria na retaguarda, confirmando a existência de fraca baroclinia. Também foi possível observar um fluxo com circulação ciclônica e confluência ao longo do cavado mostrado no campo de geopotencial (800mgp). Em seu eixo, havia um núcleo de vorticidade ciclônica. No momento, esses campos caracterizaram melhor o sistema 2 do que os anteriores, sobrepostos a imagens de satélite.

- Segunda onda frontal quase desconfigurada a leste dos Andes:

Na região Centro-Norte da Argentina, viu-se forte confluência nas linhas de corrente com centro em 30°S e 65°W. Havia um fluxo principal de norte, trazendo umidade a leste dos Andes, e outro secundário de sul, resultante da inicial transposição do anticiclone sobre a cadeia de montanhas. A confluência estava posicionada sobre uma leve onda quente. Através dos campos de geopotencial e vorticidade, pode se ver um cavado com 800mgp e um pequeno núcleo de vorticidade ciclônica logo a SW, em 34°S e 69°W.

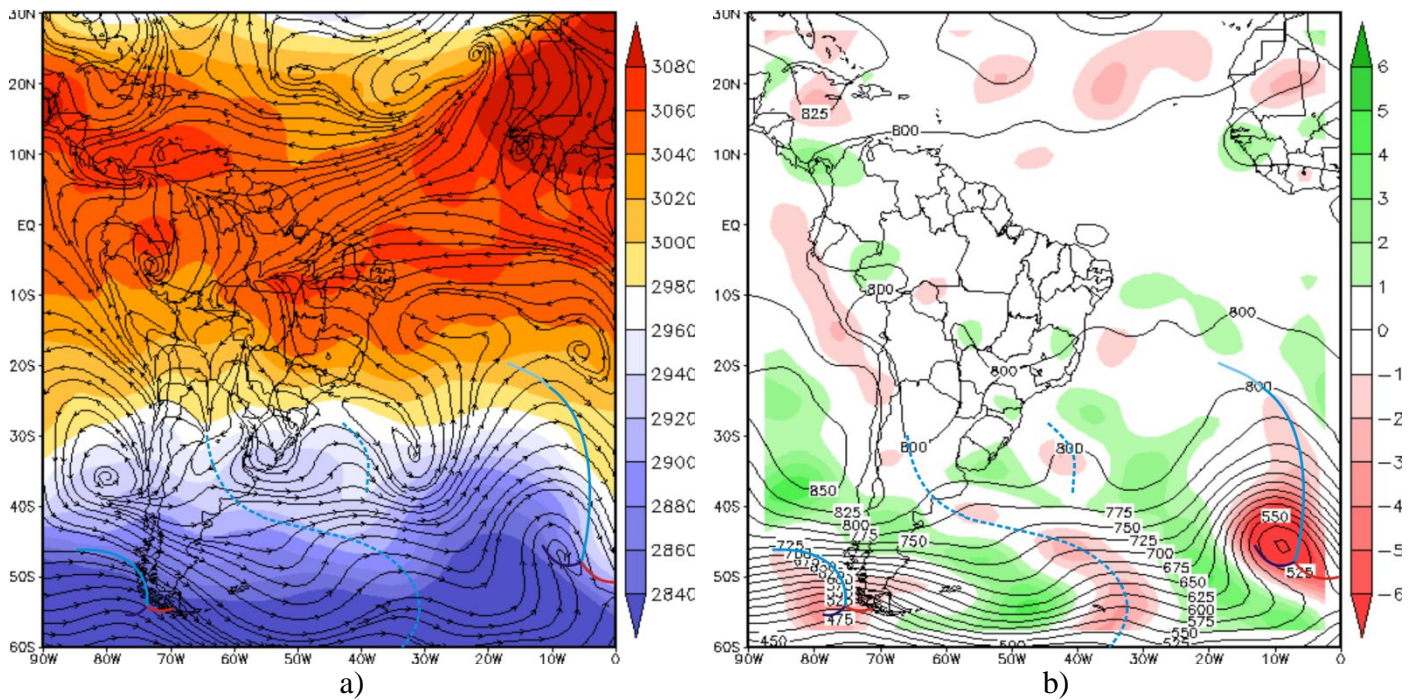


Figura 34 - Campos meteorológicos para 925hPa, com representação do sistema frontal, no dia 28/04/2005 às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 700-1000hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

A perturbação sobre a Argentina, embora com pouca baroclinia, ainda podia ser considerada como um prolongamento dos restos da segunda onda frontal que, mais ao sul, se deslocou rapidamente para leste. Isso ficou claro quando foi observada a conexão do seu cavado com a extremidade do outro cavado baroclínico mais ao sul, ao longo do qual, se podia observar um considerável gradiente de espessura e quatro núcleos de vortacidade ciclônica em seu eixo. Desses quatro, o menor e mais afastado, estava sobre o continente, vinculado à perturbação comentada.

4.4.3.4 - Análise do dia 28/04 em 200hPa

Foram apresentados campos meteorológicos sobrepostos contendo cartas de espessura da camada 200-500hPa com linhas de corrente (Figura 35a) e geopotencial com vortacidade relativa (Figura 35b), para o dia 28/04/2005, às 18UTC.

- A primeira onda frontal se afasta e surge um segundo sistema:

Sobre a região central do Brasil, o fluxo em 200hPa ainda se mantinha com configuração zonal. Era observada uma clara desintensificação da CJS (35m/s). O VCAN, também, enfraquecia, apresentando um pequeno centro de espessura da camada 200-500hPa, com valor de 6200mgp. Já não apresentava circulação fechada e nem um centro de baixa altura geopotencial, somente um pronunciado cavado com intensa vortacidade negativa em seu eixo. Naquele momento, o VCAN estava posicionado, exatamente, na vertical do sistema 2 em superfície, gerando movimentos subsidentes. A situação explica o fraco desenvolvimento do sistema em superfície e sua existência restrita aos níveis baixos.

A AB se deslocou ligeiramente para oeste, 03°S e 49°W, contribuindo ainda mais para o desenvolvimento das atividades convectivas sobre o leste da região Norte e oeste da região Nordeste do Brasil, organizadas pela extremidade frontal que se deslocava com a primeira onda frontal.

- Segunda onda frontal quase desconfigurada a leste dos Andes:

No sul da AS, outro cavado podia ser identificado na região da onda fria, interagindo, corrente abaixo, com o cavado mais intenso atribuído a dissipação do VCAN. O

cavado se estendia de 60°S a 15°S, apresentando uma faixa de máximos valores de vorticidade ciclônica em seu eixo. Foi observada maior amplitude, acompanhada de um núcleo com forte vorticidade negativa, sobre o centro-norte da Argentina. Nessa região, em superfície, estava localizada a perturbação associada à passagem da segunda onda frontal sobre os Andes. Assim como no sistema 2, essa perturbação teve seu desenvolvimento limitado pelos movimentos subsidentes, associados ao cavado em altos níveis.

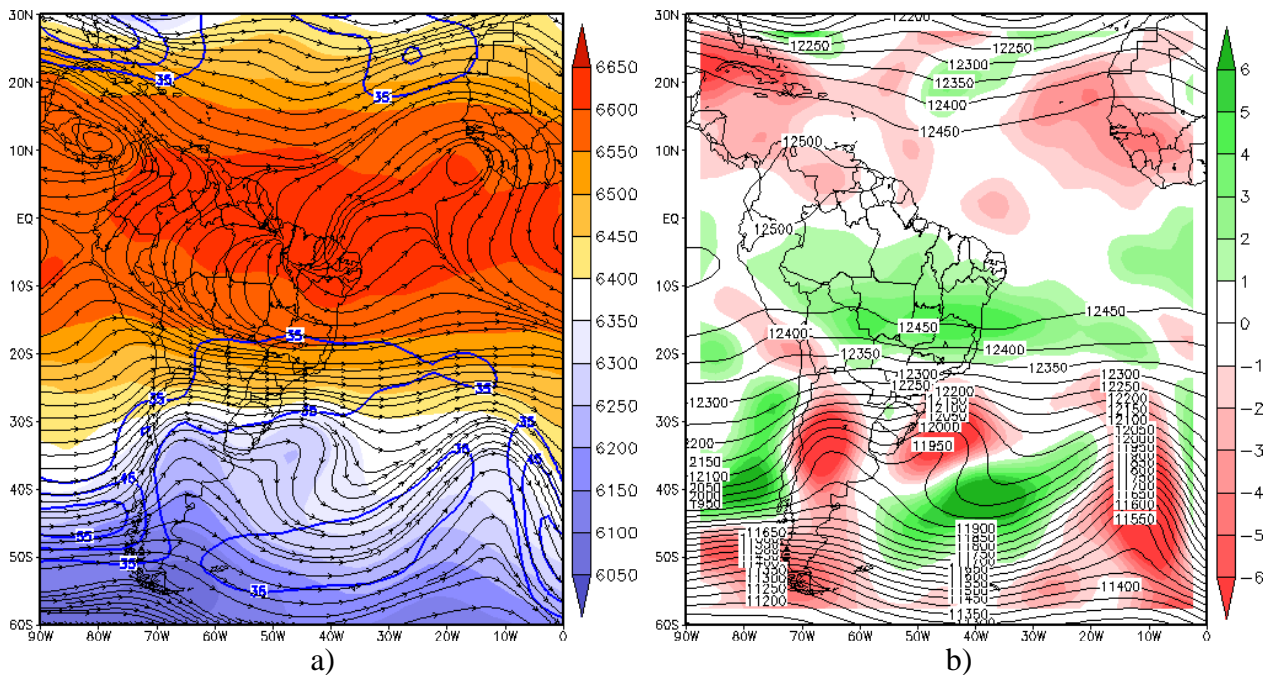


Figura 35 - Sobreposição de campos meteorológicos em 200hPa, para o dia 28/04/2005, às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

Em 20°S e 72°W, exatamente a oeste dos Andes e na extremidade do cavado, era identificada uma perturbação ciclônica que, posteriormente, se deslocaria para leste. Esse deslocamento favoreceria, em sua vanguarda, o desenvolvimento de nebulosidade na zona frontal da onda que estava para se regenerar nos próximos dias. Vera e Vigliarolo (2000), em seu estudo sobre ondas de frio na AS, mostraram que, em 300hPa, aparece uma perturbação ciclônica nas proximidades dos Andes, em 20°S, propagando-se para leste. Nesse caso, a perturbação ciclônica foi vista, também, em 200hPa, sem a ocorrência de geada nos dias sequenciais.

Um novo núcleo da CJP, posicionado em uma crista, iniciava sua entrada na AS (55m/s), induzindo, para os próximos dias, a formação de um fluxo meridional em altos

níveis, associado à amplificação do par crista cavado. O fluxo de sul em 200hPa iria favorecer a regeneração e formação de uma nova onda frontal mista, a qual atuaria sobre a AS.

4.4.3.5 - Análise do dia 29/04 em 850hPa

Nesse dia, os restos da primeira onda frontal se misturaram com os restos do primeiro ciclone da segunda onda que entrou na AS, formando o sistema 2. Começava a interação desse sistema com uma terceira onda frontal mais ao sul. Os processos que estavam em andamento foram apresentados pelos campos de PNM (Figura 36a), θ_e (Figura 36b), $A\theta_e$ (Figura 36c) e advecção de temperatura (Figura 36d), sobrepostos a imagens de satélite.

- Interação entre a primeira, segunda e terceira ondas frontais:

Na ocasião, o sistema 1 já estava totalmente afastado do continente, sem influenciar diretamente as condições de tempo sobre o Brasil. A perturbação deixada por esse sistema, inicialmente definida como distúrbio baroclínico e, posteriormente, como sistema 2, se apresentava mais intensa, após interagir com os restos do primeiro ciclone da segunda onda frontal. Estava posicionada sobre o Atlântico, na região de um fraco cavado que se estendeu de 45°S até 28°S e na retaguarda do anticiclone com centro de 1022hPa.

O sistema 2, juntamente com o processo de interação entre as ondas frontais, sustentavam, organizadas, as atividades convectivas sobre o Brasil. O campo de θ_e mostrou uma OAV θ_e na vanguarda do cavado e OBV θ_e na retaguarda, com pouca amplitude e fraco gradiente entre elas. Uma ampla área com advecção negativa de θ_e era observada ao longo do cavado, com advecções positivas a leste, indicando o aumento da baroclinia. O campo de advecção de temperatura não identificou o sistema 2.

A perturbação, que estava sobre o centro-norte da Argentina (restos do segundo ciclone da família, que surgiu na extremidade da segunda onda frontal), deslocou-se para NNE, situando-se sobre a região Sul do Brasil. Esse pequeno sistema estava localizado ao longo de um cavado, observado no flanco NE do anticiclone que começava se estabelecer a leste dos Andes. Pode se perceber a conexão dessa perturbação com o sistema 2 por meio da ampla área de advecções negativas de θ_e . Essa área se estendia da retaguarda do sistema 2, para NW, passando pela perturbação, chegando até a Bolívia.

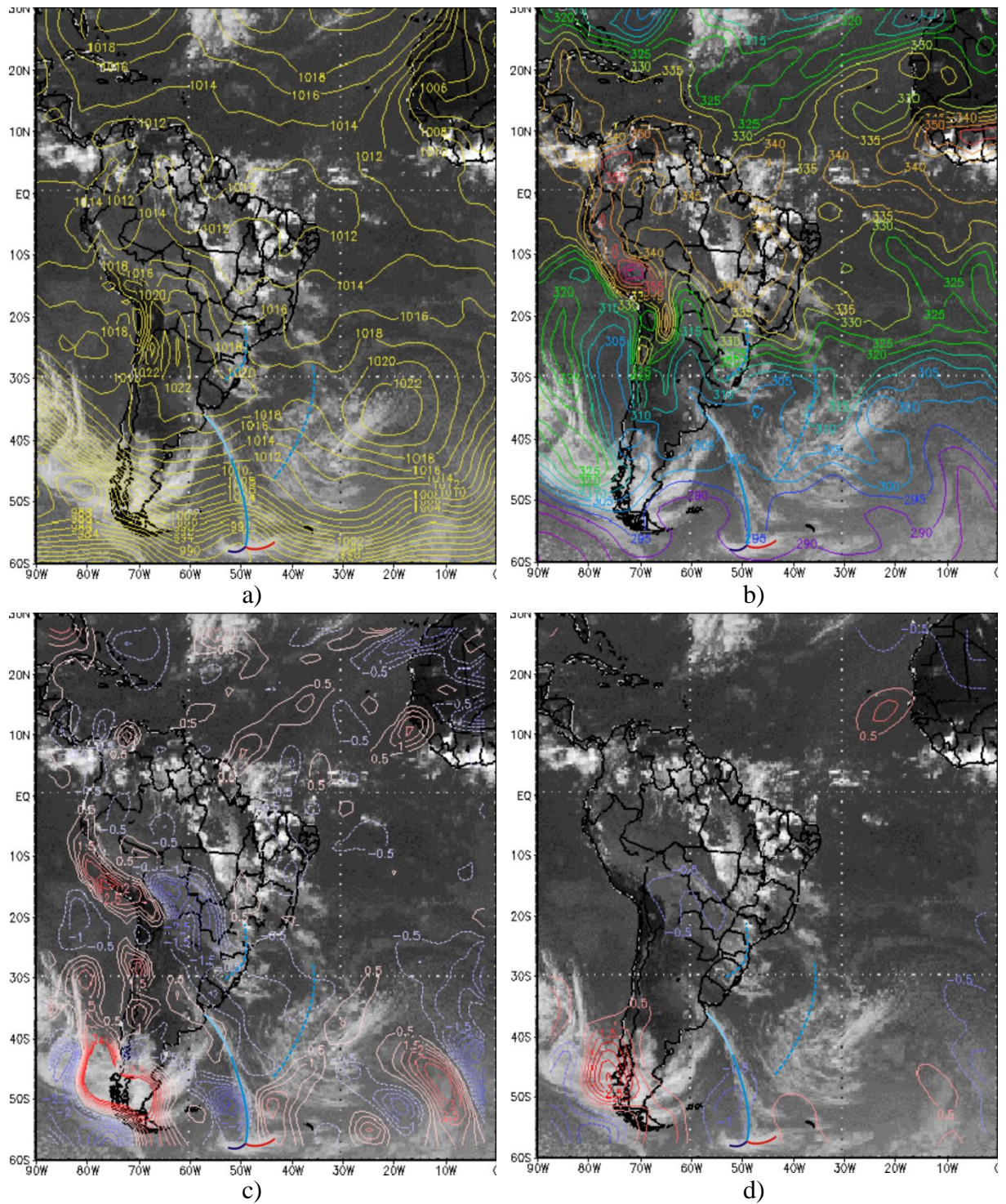


Figura 36 - Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 18UTC do dia 29/04/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 850hPa.

Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.

O primeiro ciclone da terceira onda frontal se deslocou para leste, posicionando-se ao sul da perturbação sobre o sul do Brasil (restos da segunda onda) e a SW do sistema 2 (restos da primeira onda misturados com os restos do primeiro ciclone da segunda onda). Seu cavado se estendia meridionalmente de 58°S e 48°W até 45°S, onde se percebeu o início da interação da terceira onda com o cavado do sistema 2.

4.4.3.6 - Análise do dia 29/04 em 200hPa

Para esse dia, foram apresentadas sobreposições de campos meteorológicos contendo cartas de espessura da camada 200-500hPa com linhas de corrente (Figura 37a) e geopotencial com vorticidade relativa (Figura 37b), em 200hPa.

- Interação entre a primeira, segunda e terceira ondas frontais:

Observou-se a existência de duas correntes de jato, uma subtropical, com eixo em 25°S de latitude e velocidades de 65m/s, e outra polar, com eixo em 50°S e ventos de 55m/s. A conexão entre essas duas correntes de jato pode ser identificada por meio de um fluxo meridional de sul, favorecendo o transporte de ar frio em baixos níveis, aumentando a baroclinia na região centro-sul da AS.

A ampla crista sobre grande parte do Brasil proporcionava movimentos ascendentes na região, favorecendo o aumento das atividades convectivas observadas nesse dia. Em adição, havia a circulação transversal da entrada do jato subtropical que se mostrava mais intenso. A AB estava centrada em 09°S e 37°W, a SE da posição anterior.

No campo de geopotencial com vorticidade relativa para 200hPa, foi mostrado um cavado se estendendo de 60°S a 20°S e regiões de máxima vorticidade ciclônica em seu eixo, deslocadas para leste da sua posição no dia anterior. A existência de um único cavado frontal indicou que, nesse nível, as ondas frontais já haviam se misturado totalmente. A perturbação ciclônica na extremidade norte do cavado, localizada nos arredores dos Andes, se deslocou para leste como previsto. Nesse momento, começava a desempenhar um importante papel, auxiliando o desenvolvimento das atividades convectivas observadas em sua vanguarda.

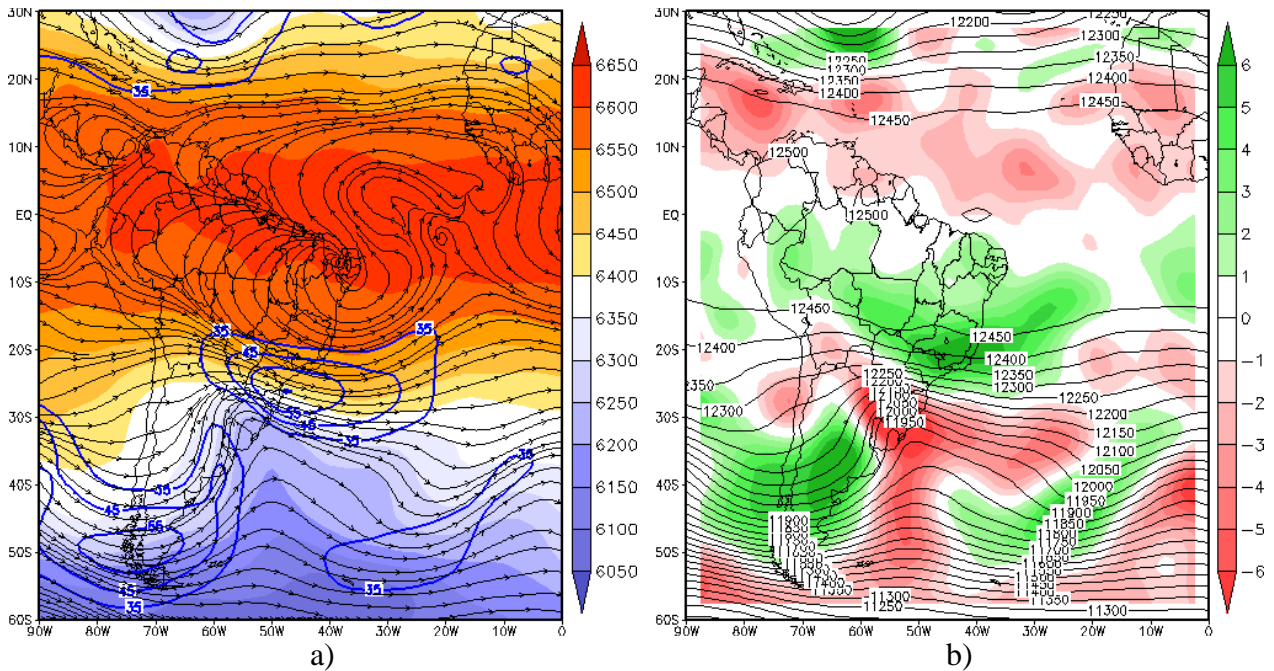


Figura 37 - Sobreposição de campos meteorológicos em 200hPa para o dia 29/04/2005, às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

4.4.4 - A Nova Onda Frontal e suas Influências sobre o Brasil em 30/04/2005

4.4.4.1 - Análise do dia 30/04 em 850hPa

Em 30/04/2005, às 12 UTC, ocorreu a formação de uma nova onda frontal, originada da interação entre os restos de três ondas frontais distintas. Essa nova onda pode ser observada nas imagens de satélite, onde foram sobrepostos campos de PNM (Figura 38a), θ_e (Figura 38b), $A\theta_e$ (Figura 38c), e advecção de temperatura (Figura 38d), em 850hPa.

- União dos restos frontais e formação da onda mista:

Através das imagens, foi possível identificar uma larga banda de nebulosidade frontal, estendendo-se meridionalmente, do sul do Atlântico até o estado de Minas Gerais. A nebulosidade esteve localizada ao longo do eixo do cavado bórico, associado a um fraco ciclone polar em 58°S e 48°W. Esse cavado se prolongou para norte até aproximadamente 35°S, onde interagiu com outro cavado na costa do Sudeste brasileiro, formando uma cela no campo de pressão. Notou-se um fraco gradiente de θ_e na região do cavado, com fraca OAV θ_e a leste e de

baixos valores a oeste. Na retaguarda, se observaram amplas áreas contendo advecções negativas de θ_e . Essas áreas estiveram presentes desde o ciclone polar ao sul até o norte da Bolívia, e podiam ser identificadas pelos quatro núcleos de advecção, vistos na região do cavado e no flanco NE do anticiclone centrado sobre o Uruguai (1022hPa).

Sobre as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil, foram observadas áreas de instabilidade ligadas a atividades convectivas. Desde o primeiro dia da análise, pode se constatar a presença de tais atividades sobre a metade norte da AS. Inicialmente, as nuvens convectivas estavam organizadas pela passagem da frente principal sobre o Brasil, associada à primeira onda frontal que atuou na AS (sistema 1). Em altos níveis, a presença da AB deu suporte ao desenvolvimento convectivo. Posteriormente, a convecção sobre o Brasil manteve-se organizada pela intensificação do sistema 2 e pelo processo de combinação entre as ondas frontais. No dia 30/04, a nova onda frontal mista é quem organizava tal nebulosidade.

- Ciclogênese na nova onda frontal:

Na extremidade da nova onda frontal, iniciou-se um processo ciclogênese. O disparo ciclogênético ocorreu em 26°S e 40°W, na região do cavado, com isóbara de 1016hPa, que interagiu com o cavado frontal baroclínico ao sul. Essa situação confirmou que o novo ciclone seria o segundo da nova família que acompanhava a onda frontal, sendo daqui em diante chamado de sistema 3. Os campos sobrepostos à imagem de satélite identificaram o início desse processo, antes mesmo da formação de um centro de baixa pressão em superfície. No campo de θ_e , se observou um considerável gradiente na região do cavado, com uma OAV θ_e na vanguarda e outra OBV θ_e na retaguarda, caracterizando a existência de baroclinia.

Um campo que já vinha se mostrando muito eficiente, ainda mais para as regiões tropicais, é o de advecção de θ_e . Segundo Da Cruz et. al (2008), para serem obtidas as melhores caracterizações da estrutura horizontal dos sistemas baroclínicos, na baixa troposfera das regiões tropicais, bem como as possíveis conexões com outros sistemas, é preferível a utilização desse campo em 850hPa. Por meio de tal campo, e no contexto da ciclogênese analisada aqui, foram identificados dois núcleos de advecção associados à formação do ciclone. O primeiro, contendo advecção negativa, estava localizado na retaguarda, enquanto o segundo, com advecção positiva, estava posicionado na vanguarda. Pelo campo de advecção de temperatura não foi possível perceber o início do processo, em função da inexistência das advecções características para os setores, frio e quente nesse sistema.

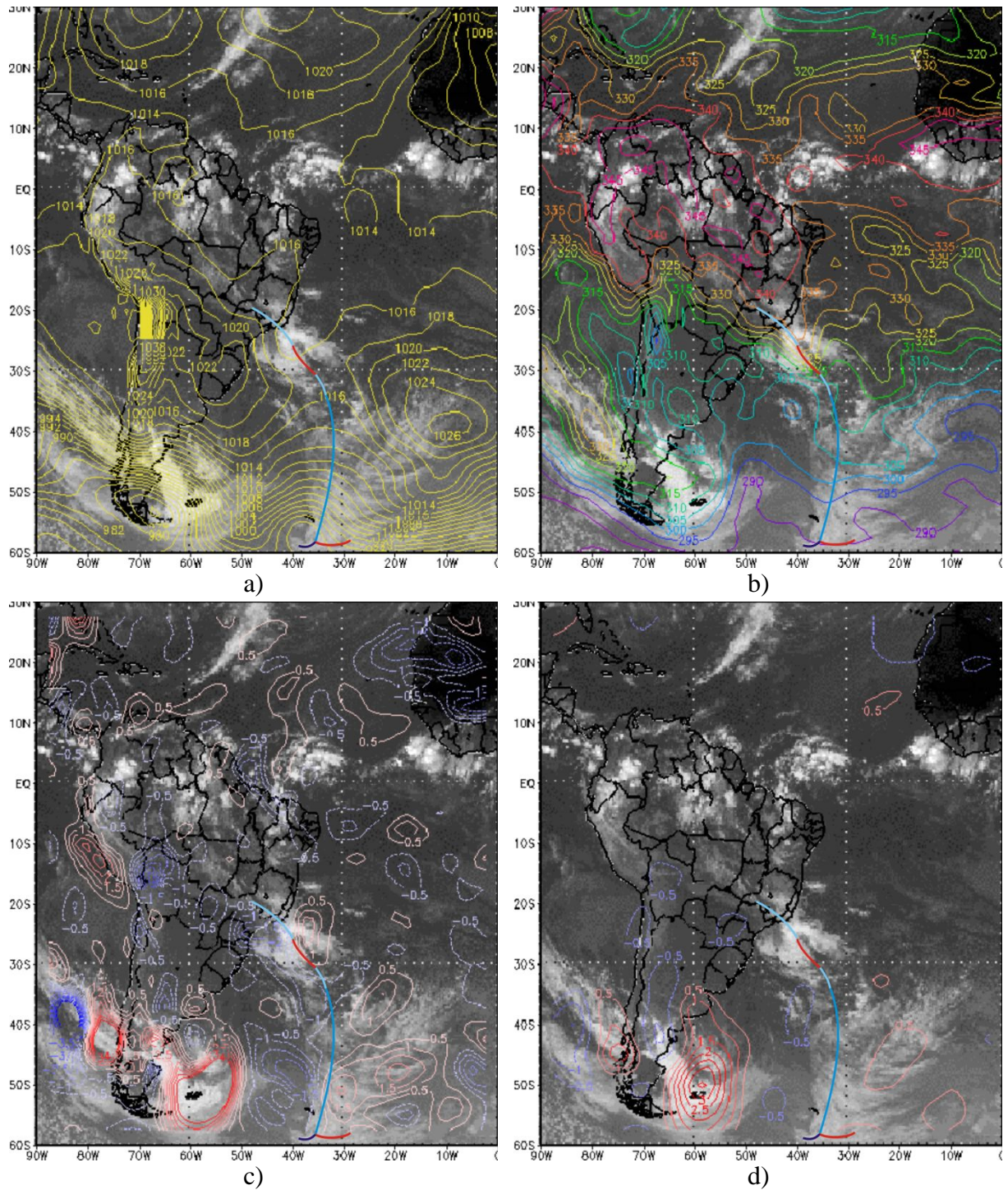


Figura 38 - Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 12UTC do dia 30/04/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 850hPa.

Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.

Para complementar a identificação da onda frontal e do estágio inicial de formação do novo ciclone, foram apresentados campos meteorológicos sobrepostos, em 850hPa, contendo cartas de espessura da camada 700-1000hPa com linhas de corrente (Figura 39a) e geopotencial com vorticidade relativa (Figura 39b).

- União dos restos frontais e formação da onda mista:

Os campos complementares demonstraram, claramente, que a onda frontal mista estava localizada em uma região com considerável baroclinia. Observou-se um fluxo principal, com curvatura ciclônica ao longo do gradiente de espessura, apresentando onda quente a leste e fria a oeste. O campo de altura geopotencial mostrou um amplo cavado, alongado meridionalmente, contendo quatro núcleos de vorticidade ao longo de seu eixo. Essas características confirmaram a existência de uma única onda frontal em baixos níveis, atuando do sul do Atlântico sul até a costa do Brasil. Os processos descritos anteriormente indicaram que essa onda frontal resultou da interação das partes de três ondas frontais distintas.

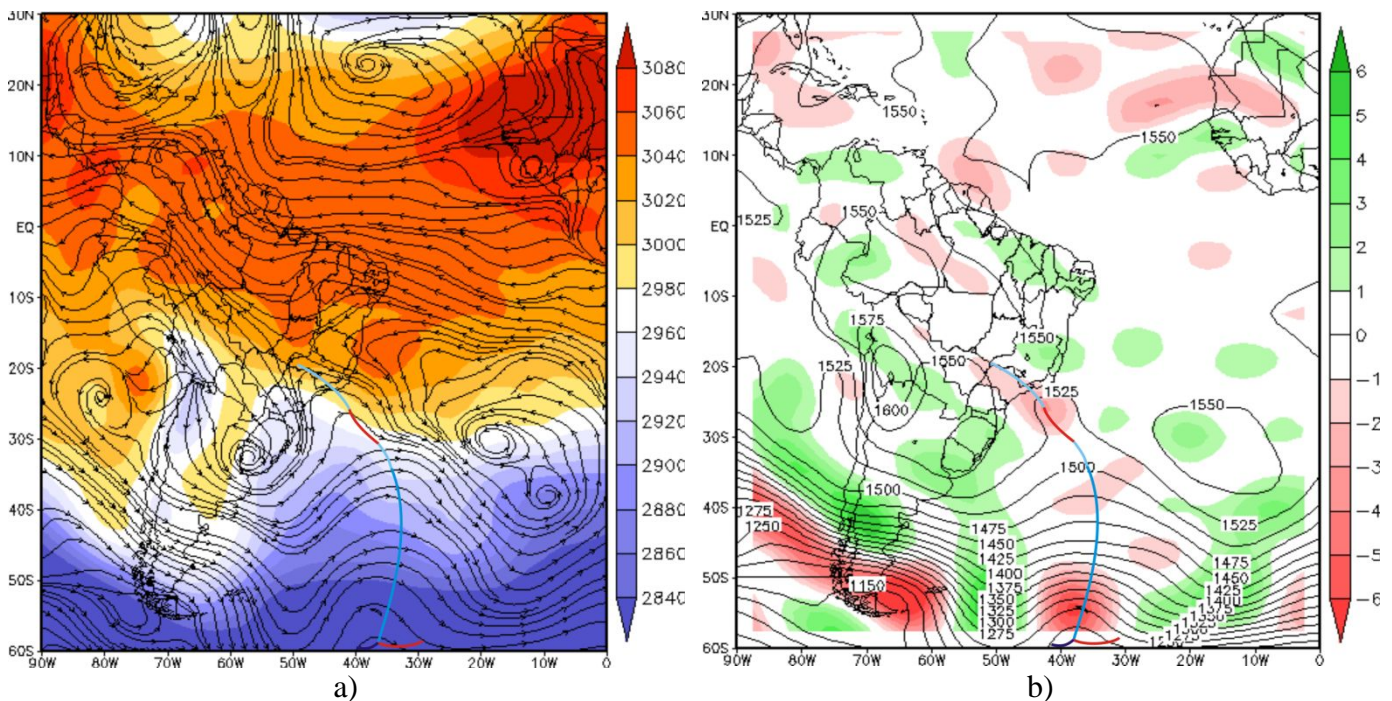


Figura 39 - Campos meteorológicos para 850hPa, com representação do sistema frontal, no dia 30/04/2005, às 12UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 700-1000hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

- Ciclogênese na nova onda frontal:

A ciclogênese foi identificada na altura da costa brasileira, entre as regiões Sul e Sudeste. Era possível observar o gradiente de espessura com orientação mais zonal, no sentido SW-NE, curvatura ciclônica mais intensa nas linhas de corrente e confluência ao longo do cavado. Notou-se a formação de um centro de baixa altura geopotencial, com isolinha de 1525mgp, exibindo um núcleo bem definido de vorticidade sob o eixo do cavado que se estendia para NW, até o Mato Grosso do Sul. Observou-se um centro de circulação anticiclônica em desenvolvimento sobre o Uruguai. A leste, um forte fluxo de ar frio, predominante de sul em baixos níveis, favorecia a amplificação da onda frontal e a conseqüente evolução do processo de ciclogênese no sistema 3.

Parmenter (1976) identificou a intensificação de um máximo secundário de vorticidade ao longo da costa sul do Atlântico, ocorrendo dois dias depois da observação do vórtice frontal na costa do Chile. No caso aqui descrito, esse máximo secundário, localizado na costa do Sudeste brasileiro, foi percebido três dias após a visualização do vórtice frontal na costa chilena.

4.4.4.2 - Análise do dia 30/04 em 200hPa

Foram apresentadas sobreposições de campos meteorológicos, contendo cartas de espessura da camada 200-500hPa com linhas de corrente (Figura 40a) e de geopotencial com vorticidade relativa (Figura 40b) para o dia 30/04/2005, às 12UTC.

- União dos restos frontais e formação da onda mista:

Foi observada uma forte interação entre as duas correntes de jato. Essa interação favoreceu a unificação dos sistemas em baixos níveis, formando a onda frontal mista. Mas de que maneira isso poderia ocorrer? A resposta não é simples e pode ser entendida como segue:

Mais especificamente no HS, a configuração de escoamento troposférico é marcada pela existência de dois trens de ondas em escala sinótica que se deslocam para leste. O de ondas curtas é caracterizado por uma propagação mais rápida, associado às CJP em altos níveis, vinculadas aos ciclones em superfície (frente polar). Outro, de ondas longas, caracteriza-se por uma propagação mais lenta, ligado às CJS na alta troposfera, atreladas aos sistemas baroclínicos

de latitudes médias (frente subtropical). O acoplamento entre elas pode ser identificado por um amplo fluxo meridional que conecta os dois sistemas, permitindo a fusão de ondas frontais distintas em baixos níveis e a incursão de ar frio em direção ao equador. Por vezes, esse modo de interação provoca a regeneração frontal e a formação de novos ciclones em uma família.

Em outras palavras, as famílias de ciclones, nas regiões subpolares, se deslocam mais rapidamente para leste, quando comparadas as famílias de ciclones das regiões subtropicais. Entre elas, nos níveis mais baixos da troposfera, forma-se uma zona de forte perturbação, marcada pela existência de nebulosidades descontínua, de caráter mais caótico, oriunda dos restos de ciclones e de frentes, assumindo, eventualmente, dimensões de escala subsinótica (nebulosidades sem padrão de configuração). Normalmente, essa região desaparece quase totalmente com a altura, sendo muitas vezes inexistente em altos níveis. Com a interação entre as correntes de jato polar e subtropical, por meio do fluxo de sul, ocorre a reordenação dessa região entre as famílias de ciclones localizadas ao sul e ao norte. Assim, com o aumento da instabilidade baroclínica, a região de nebulosidade caótica, associada aos restos frontais, é rearranjada dando origem a novas ondas frontais, chamadas aqui de mistas. A seqüência esquemática com imagens de satélite da Figura 25 demonstra mais claramente esse processo genético.

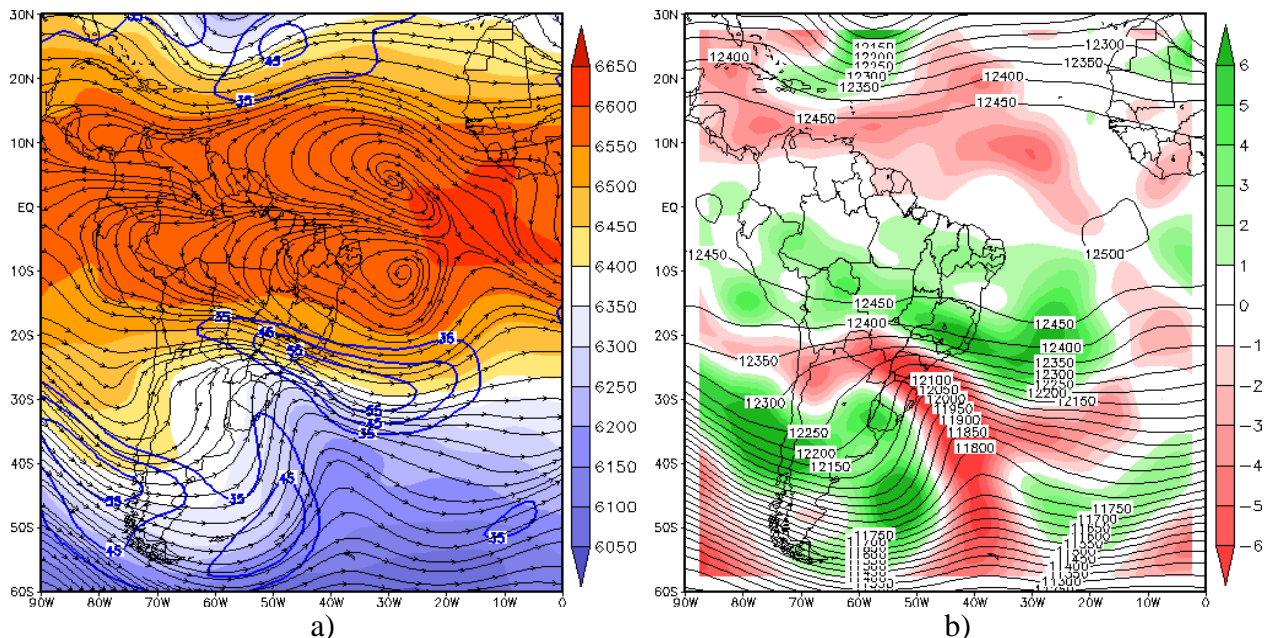


Figura 40 - Sobreposição de campos meteorológicos em 200hPa para o dia 30/04/2005, às 12UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

Com relação ao posicionamento da AB, percebeu-se, em relação ao dia anterior, um deslocamento para ESE. O centro de circulação anticiclônica estava localizado em 10°S e 27°W, na costa do NEB, sobre o Atlântico Tropical Sul. A ampla crista, que se estendia para oeste, a entrada da corrente de jato e a perturbação ciclônica em altos níveis, mantiveram favorecida a condição para desenvolvimento de convecção sobre o Brasil. Em baixos níveis, a onda frontal mista e o processo de ciclogênese na sua extremidade, organizaram as atividades convectivas.

4.4.5 - Evolução do Sistema 3 no dia 01/05/2005

Foi feita uma breve descrição da evolução do sistema frontal que atuou na costa brasileira. A frente se deslocou para baixas latitudes, chegando ao Estado de AL nos dias seguintes.

4.4.5.1 - Análise do dia 01/05 em 850hPa

Foram apresentadas imagens de satélite para o dia 01/05/2005, no horário das 18UTC, com a sobreposição dos campos de PNM (Figura 41a), θ_e (Figura 41b), $A\theta_e$ (Figura 41c) e de advecção de temperatura (Figura 41d), para 850hPa.

- Evolução ciclônica e intensificação da região frontal:

Naquele momento, o ciclone extratropical associado à frente fria, que atuava na costa brasileira, estava centrado em 29°S e 29°W, a SE da posição anterior. O movimento para SE é um padrão clássico observado na evolução dos ciclones baroclínicos do HS. Por meio das imagens de satélite, foi possível identificar a intensificação do sistema, ocorrendo o processo de oclusão das frentes nas proximidades do centro do vórtice frontal. A frente fria estava situada no eixo do cavado bórico e se estendia da baixa pressão até o norte do estado da Bahia, provocando a intensificação das atividades convectivas sobre o centro-norte do Brasil. Pelo campo de θ_e , foi observada a intensificação do gradiente na zona frontal e a amplificação, tanto na vanguarda como na retaguarda, da $OAV\theta_e$ e $OBV\theta_e$, respectivamente. Essa condição é uma característica comumente observada no campo horizontal de θ_e , durante esse estágio de desenvolvimento frontal, início da oclusão.

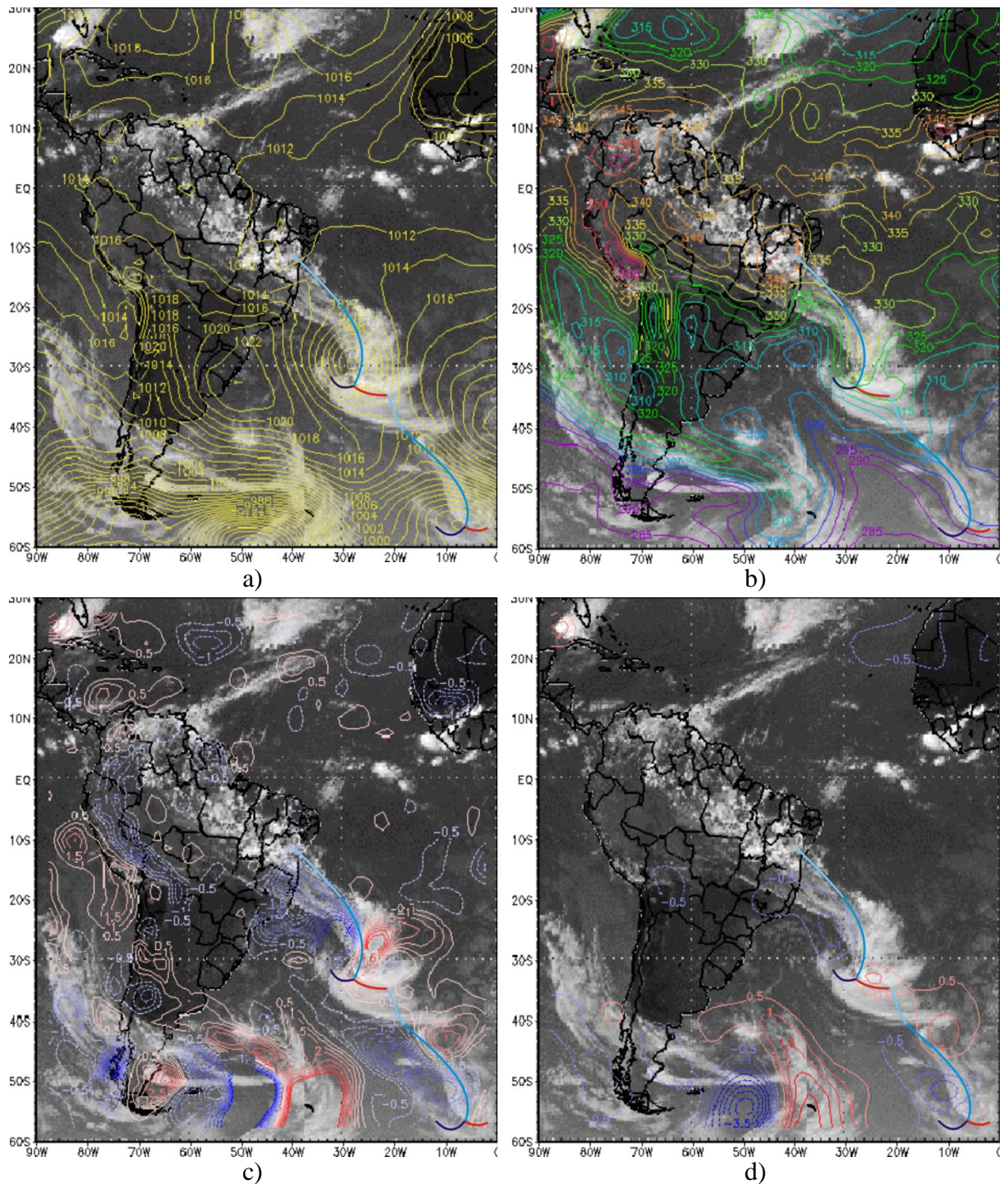


Figura 41 - Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 18UTC do dia 01/05/2005: (a) PNM (em amarelo), (b) θ_e (em cores), (c) $A\theta_e$ (em cores) e (d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 850hPa.

Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.

O campo de $A\theta_e$ demonstrou, claramente, a oclusão do sistema 3. Na vanguarda, a forte advecção positiva de θ_e evidenciava a entrada de ar úmido proveniente da esteira transportadora da frente fria, juntamente com um incremento de umidade vindo do flanco NW do anticiclone posicionado mais a leste. Ocorreu forte advecção negativa de θ_e na retaguarda, confirmando o deslocamento de ar seco na região do anticiclone pós-frontal. Essa advecção negativa recebeu um incremento proveniente do anticiclone de intervalo que se deslocava, mais ao sul, com o primeiro ciclone dessa mesma onda frontal. Na vanguarda da frente fria, não havia valores significativos para advecções positivas de temperatura e θ_e . Como o sistema estava se movendo na região tropical, o deslocamento da frente ocorreu somente com invasão do ar frio sobre o ar quente que já estava presente na região. A advecção negativa de θ_e na retaguarda mostrou claramente o posicionamento da zona frontal. As advecções de temperatura apresentavam o padrão clássico, quente na vanguarda e frio na retaguarda, mas não forneceram informações claras sobre a conexão com outros sistemas

Com a sobreposição dos campos de espessura da camada 700-1000hPa sobre linhas de corrente (Figura 42a) e de geopotencial sobre vorticidade relativa (Figura 42b), no nível de 850hPa, pode se acrescentar mais evidências sobre o desenvolvimento e a região de atuação do sistema 3.

- Evolução ciclônica e intensificação da região frontal:

Observou-se o aumento da baroclinia através do campo de espessura. A onda fria na retaguarda estava mais pronunciada, devido ao forte fluxo de sul a leste do anticiclone sobre a costa do Rio Grande do Sul e Uruguai. Isso implicou numa orientação ainda mais zonal do gradiente de temperatura, evidenciando o contraste do ar frio avançando sobre o ar quente, que foi forçado a escoar para o sul, na vanguarda do gradiente, alimentando o setor quente do ciclone. A curvatura observada na onda quente forneceu indícios sobre a oclusão do sistema. O centro fechado de circulação ciclônica indicou a intensificação do ciclone. Ao longo do cavado, percebeu-se que a confluência estava mais pronunciada e que se estendia do Atlântico até a costa do NEB, demonstrando o posicionamento da zona frontal.

No campo de altura geopotencial, também foi possível perceber o aprofundamento do sistema, através da visualização do centro de baixa altura geopotencial com 1400mgp, acompanhado de forte vorticidade negativa. Outro pequeno núcleo de vorticidade ciclônica, localizado nas mediações da costa baiana, indicou o prolongamento da frente em direção à costa do NEB.

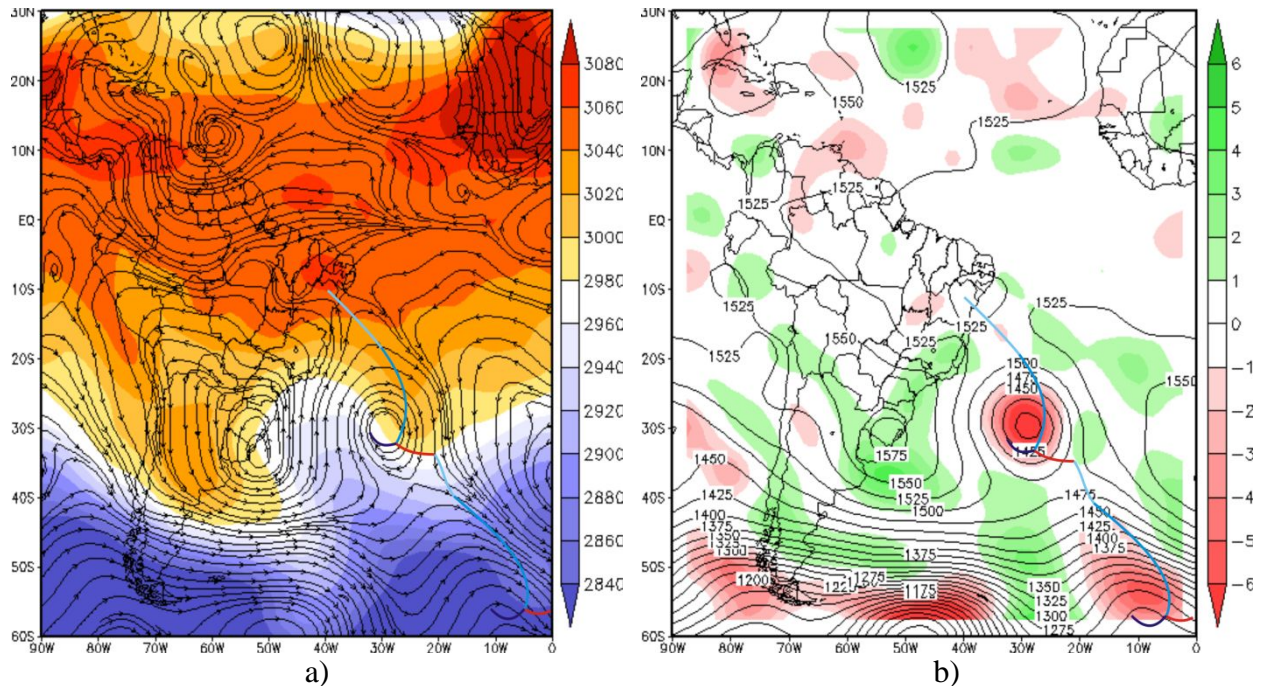


Figura 42 - Campos meteorológicos para 850hPa, com representação do sistema frontal, no dia 01/05/2005, às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 700-1000hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

4.4.6 - Extremidade Frontal sobre o Estado de AL no Dia 02/05/2005

A extremidade da frente fria, associada ao segundo ciclone da nova onda mista, alcançou o Estado de AL, cobrindo a região com extensa faixa de nebulosidade acompanhada de intensas atividades convectivas.

4.4.6.1 - Análise do dia 02/05 em 850hPa

Para esse dia, às 18UTC, foram apresentadas imagens de satélite com sobreposição dos campos de PNM (Figura 43a), θ_e (Figura 43b), $A\theta_e$ (Figura 43c), e advecção de temperatura (Figura 43d), em 850hPa.

- Chegada da frente ao Estado de AL:

Após a oclusão, o ciclone extratropical se intensificou. Durante esse processo, a frente fria foi impulsionada para NE, atingindo a região centro norte do NEB. As imagens de satélite mostraram que a zona frontal, associada ao sistema 3, esteve mais ativa, estendendo-se do Atlântico Sul até os Estados de Sergipe, Alagoas, oeste Pernambucano e extremo sul do Ceará. A frente foi identificada sobre o oceano no campo de pressão. Nos campos de θ_e e $A\theta_e$, e na imagem de satélite ela pode ser identificada até o NEB.

Observou-se um gradiente de θ_e ao longo de toda a frente fria, com $OAV\theta_e$ em toda vanguarda e $OBV\theta_e$ em toda retaguarda. No campo de $A\theta_e$, a grande área com advecções negativas na retaguarda, indicou a localização da rampa frontal, concretizando a passagem desta sobre AL. O campo de advecção de temperatura não forneceu informações sobre o prolongamento e o posicionamento da frente.

Sobre a região centro-oeste do NEB, identificou-se um par de ondas com altos e baixos valores de θ_e . A $OBV\theta_e$ estava sobre a Bahia (retaguarda), enquanto a $OAV\theta_e$ estava localizada a oeste (vanguarda). O campo de $A\theta_e$ apresentou um núcleo mais intenso com advecção de θ_e negativa, na extremidade da frente fria. Notou-se outro núcleo a oeste, dessa vez, com advecções positivas. Essa configuração indicou que as atividades convectivas sobre a região estavam diretamente ligadas a um mecanismo baroclínico, possivelmente uma onda plana ligada a extremidade da frente fria.

O termo “onda plana”, traduzido da palavra russa “*ploskaya volna*”, é atribuído a instabilidades baroclínicas observadas dentro da onda frontal, mas que não evoluem para um ciclone baroclínico (novo ciclone da família). São mais comumente observados ao longo da zona frontal fria, podendo, por vezes, ocorrer na vanguarda do ciclone (extremidade da frente quente).

- Rompimento das frentes e separação da parte oclusa:

Nesse estágio de desenvolvimento do sistema 3, pode se notar o rompimento das frentes e a separação da parte oclusa. O campo de θ_e mostrou claramente a região oclusa nas proximidades do centro de baixa pressão. A oclusão foi identificada pelo rompimento do padrão ondulatório na $OBV\theta_e$ (retaguarda) e na $OAV\theta_e$ (vanguarda), formando dois núcleos bem definidos.

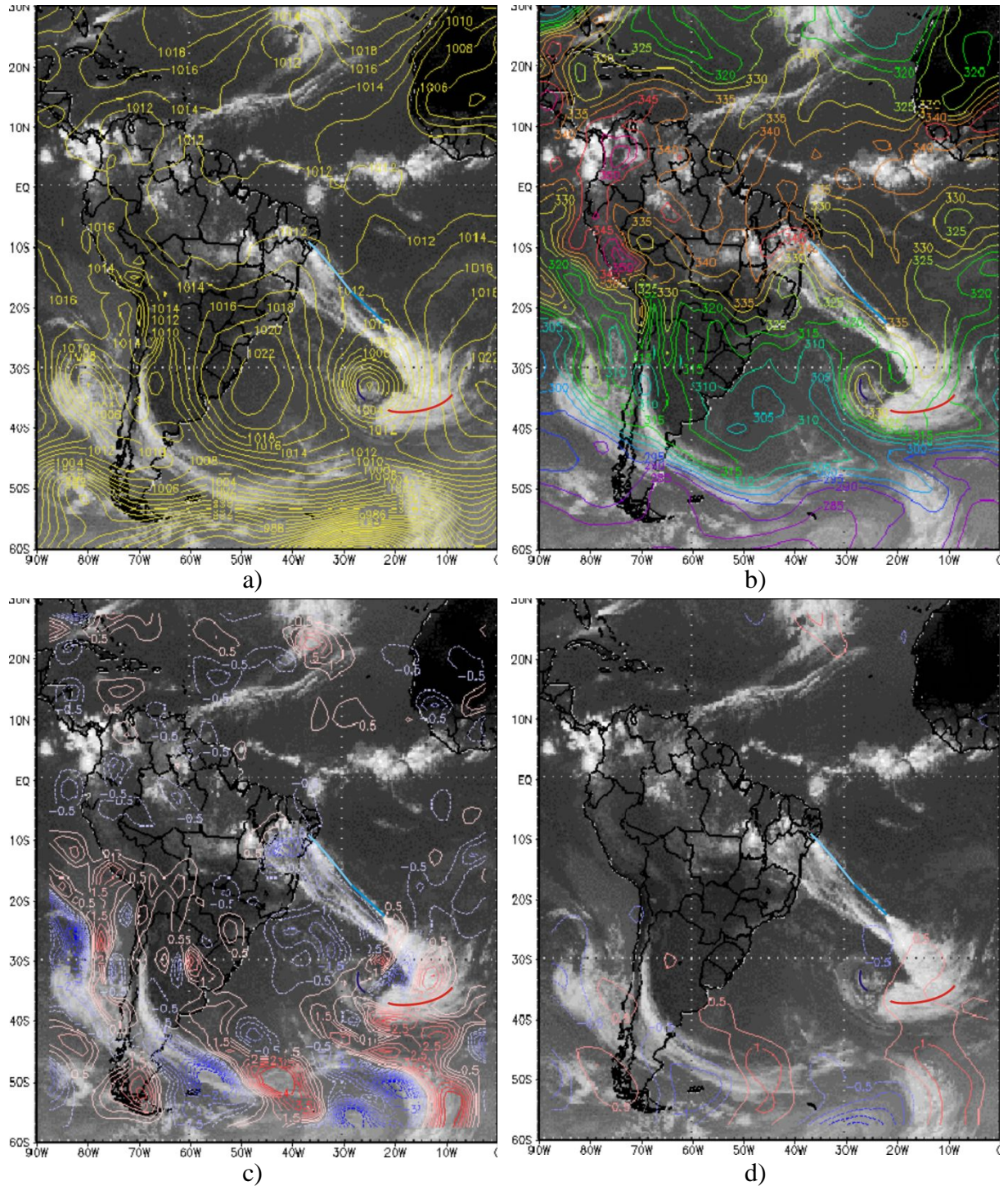


Figura 43 - Imagens de satélite com sobreposição de alguns campos meteorológicos e representação do sistema frontal, às 18UTC do dia 02/05/2005: a) PNM (em amarelo), b) θ_e (em cores), c) $A\theta_e$ (em cores) e d) advecção de temperatura (em cores), para o nível de 850hPa.

Fonte dos dados: CPTEC/INPE e NCEP/NCAR.

Na parte oclusa, foram observadas advecções positivas de θ_e na retaguarda do centro do vórtice, com sentido SW-NE (entre a oclusão e o anticiclone pós-frontal). Ao norte, essa faixa com advecções positivas de θ_e atravessou a frente fria, recebendo, ao sul, um incremento advindo de outra extremidade frontal, associada a outra família de ciclones que passava em torno dos 55°S de latitude. Na vanguarda do centro do vórtice, entre a oclusão e a frente quente, foram observadas advecções negativas de θ_e no sentido NE-SW, atravessando a frente fria, estendendo-se para SW, cortando também a frente quente. Tal configuração demonstrou a ruptura total do sistema, apresentando a separação do setor ocluso e a fratura das frentes, fria e quente. Uma descrição mais detalhada do modelo conceitual de evolução ciclônica para esse evento é abordada no item 4.4.7.

Para complementar a análise sinótica da passagem frontal sobre AL, foram apresentadas sobreposições de campos meteorológicos, contendo cartas de espessura da camada 700-1000hPa com linhas de corrente (Figura 44a) e geopotencial com vorticidade relativa (Figura 44b), para o nível de 850hPa em 02/05/2005, às 18UTC.

- Chegada da frente ao estado de AL:

No campo de espessura da camada 700-1000hPa, havia um forte gradiente de espessura ao longo de toda zona frontal. Sobre o NEB, apenas um pequeno contraste de temperatura. Pelas linhas de corrente observou-se forte confluência ao longo do cavado que chegava até o Estado de AL. O forte fluxo de sul entre o ciclone frontal e o anticiclone pós-frontal, favoreceu a chegada de ar frio na costa do NEB, intensificando a extremidade frontal. O campo de geopotencial indicou que o ciclone estava mais profundo, exibindo um centro de baixa altura geopotencial com valor de 1375mgp. Na costa do NEB ocorreu um pequeno eixo de máxima vorticidade ciclônica, orientado na direção do cavado baroclínico. Esse núcleo de vorticidade sugeriu que a extremidade da frente pareceu estar mais intensa.

Observou-se um fluxo de SE nos arredores da onda plana, sobre o norte da Bahia e oeste de Pernambuco. Esses ventos advectavam ar frio e seco para o interior da região. O contraste com o ar mais quente da vanguarda deu manutenção à fraca instabilidade baroclínica observada na extremidade frontal sobre o continente. Tal processo reforçou a idéia de um sistema baroclínico em um escoamento de leste.

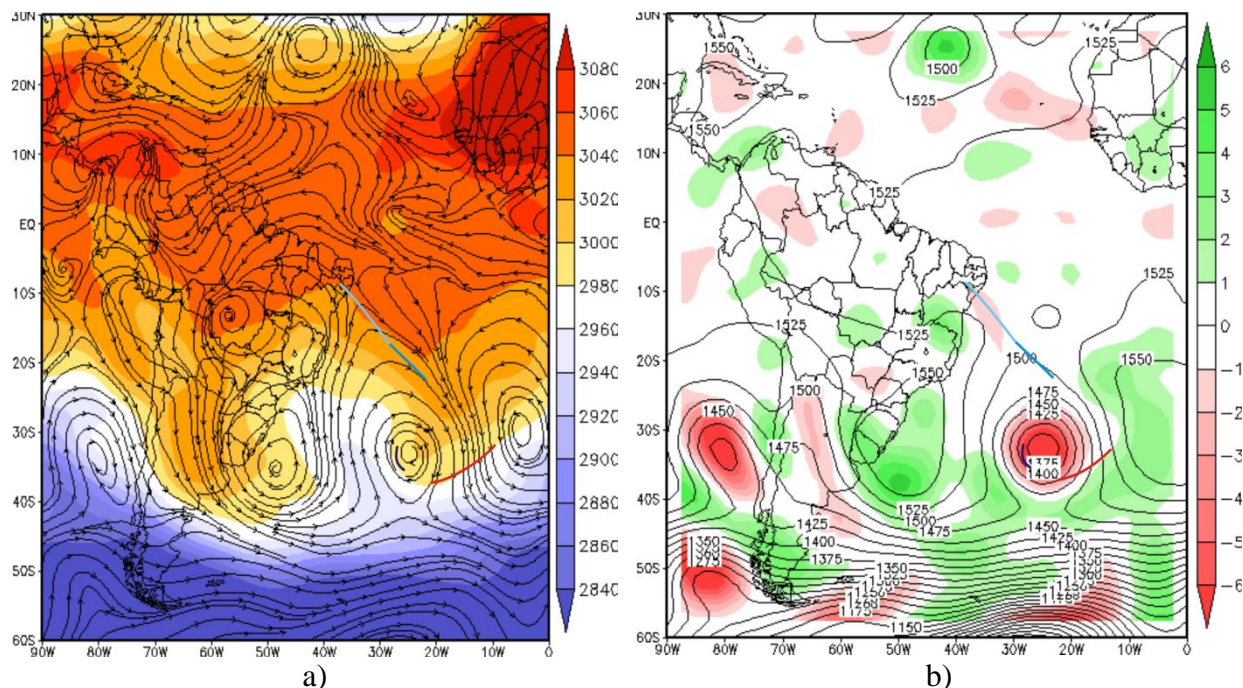


Figura 44 - Campos meteorológicos para 850hPa, com representação do sistema frontal, no dia 02/05/2005, às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 700-1000hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

- Rompimento das frentes e separação da parte oclusa:

Os campos complementares para 850hPa não conseguiram mostrar o processo de rompimento das frentes principais e a separação do setor ocluso.

4.4.6.2 - Análise do dia 02/05 em 200hPa

Para determinar as condições de escoamento em 200hPa, foram apresentadas as sobreposições de campos meteorológicos, contendo cartas de espessura da camada 200-500hPa com linhas de corrente (Figura 45a) e geopotencial com vorticidade relativa (Figura 45b), no dia 02/05/2005, às 18UTC.

- Chegada da frente ao estado de AL:

No momento em que o sistema frontal começou atuar diretamente sobre o Estado de AL, a CJS assumiu uma orientação mais meridional se comparada com os dias anteriores. Seu eixo estava posicionado ao norte da posição climatológica para estação de outono, localizado em 25°S e 25°W, com orientação na direção NW-SE. Segundo Pezzi *et al.* (1996), para os meses de outono, a posição média da CJS fica entre 30°S e 40°S, com intensidades de 40m/s. A entrada do jato estava sobre o norte do Estado de Minas Gerais e sul da Bahia, em 18°S de latitude. Essa condição é muito favorável à chegada de sistemas frontais nas proximidades do equador.

No campo de geopotencial, observou-se o rompimento do padrão de onda em 200hPa (centro de baixa altura geopotencial, 12025mgp), indicando o aprofundamento do sistema 3. Prolongado para NW, esse cavado apresentava, em seu eixo, regiões de máxima vortacidade ciclônica. Durante toda análise, foram identificados que, tanto em 200hPa quanto em 850hPa, havia a presença de um cavado com inclinação horizontal para NW, coincidindo com os resultados obtidos por Oliveira (1986), em seus estudos sobre as interações entre sistemas frontais e a convecção amazônica. Na situação aqui apresentada, a convecção observada só esteve presente no leste da região Norte do Brasil.

Notou-se a presença de um fluxo difluente sobre o NEB, com circulação fechada sobre o Pará. Juntamente com o posicionamento da entrada do jato subtropical, essa difluência em altos níveis propiciou o desenvolvimento de atividades convectivas na região. Em baixos níveis, a convecção esteve diretamente organizada pela extremidade frontal e pela onda plana em sua retaguarda.

O acoplamento entre o jato subtropical e a CJP, comentado anteriormente, podia ser, nesse momento, identificada por um fluxo quase de SE para NW. A orientação desse fluxo indicou o início do desacoplamento entre os dois sistemas. Isso era esperado, já que as ondas curtas de escala sinótica (associadas à frente polar) se deslocam mais rapidamente para leste. Esse acoplamento teve uma duração média de 114 horas, aproximadamente cinco dias.

O sistema frontal continuou atuando na região do NEB por, aproximadamente, mais 72 horas, chegando até o sul do Estado da Paraíba no dia 05/05/2005. Em altos níveis, a corrente de jato dava manutenção à zona frontal. Próximo a superfície, o contínuo fluxo de sul no flanco leste do anticiclone, bombeava ar frio para as baixas latitudes. A parte oclusa, que se desprendera da frente principal, permaneceu visível durante toda atuação da frente,

posicionado dentro do ar frio, sempre apresentando um setor com advecção positiva e outro com advecção negativa ao redor do vórtice.

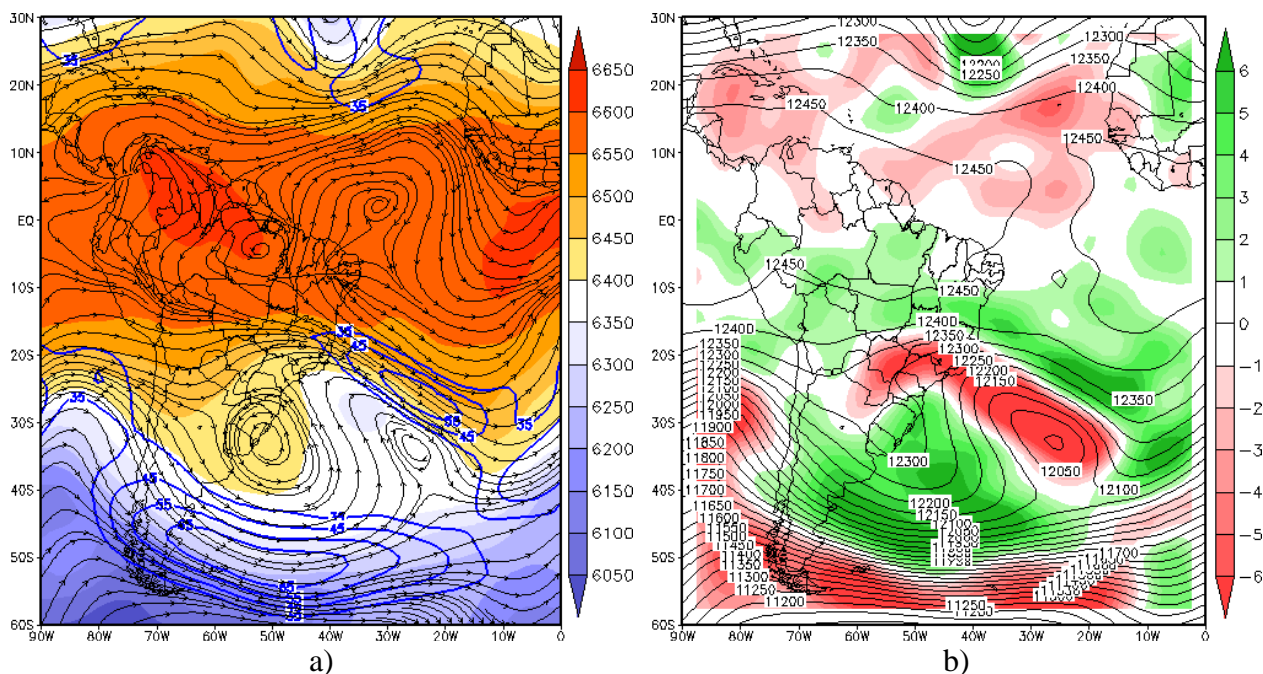


Figura 45 - Sobreposição de campos meteorológicos em 200hPa para o dia 02/05/2005, às 18UTC: a) linhas de corrente (em preto) e espessura da camada 200-500hPa (em cores) e b) geopotencial (em preto) e vorticidade relativa (em cores).
Fonte dos dados: NCEP/NCAR.

4.4.7 - Modelo Conceitual para Evolução Ciclônica Analisada

A utilização do campo de θ_e , em conjunto com o campo de $A\theta_e$, possibilitou a constatação de um novo tipo de evolução para sistemas ciclônicos que surgem e/ou se deslocam sobre a região tropical. O modelo de desenvolvimento ciclônico, mostrado a seguir, difere dos modelos Norueguês e Shapiro-Keyser, apresentados por Schultz *et al.* (1998). Na Figura 46 foi apresentada uma ilustração esquemática para o modelo conceitual do evento.

Nesse modelo, são apresentados cinco estágios de desenvolvimento. Com a utilização dos campos propostos, o início do processo é observado antes do surgimento do centro de baixa no campo de pressão. Nos modelos comentados, Norueguês e Shapiro-Keyser, são apresentados quatro estágios de desenvolvimento. Segue a descrição do novo modelo:

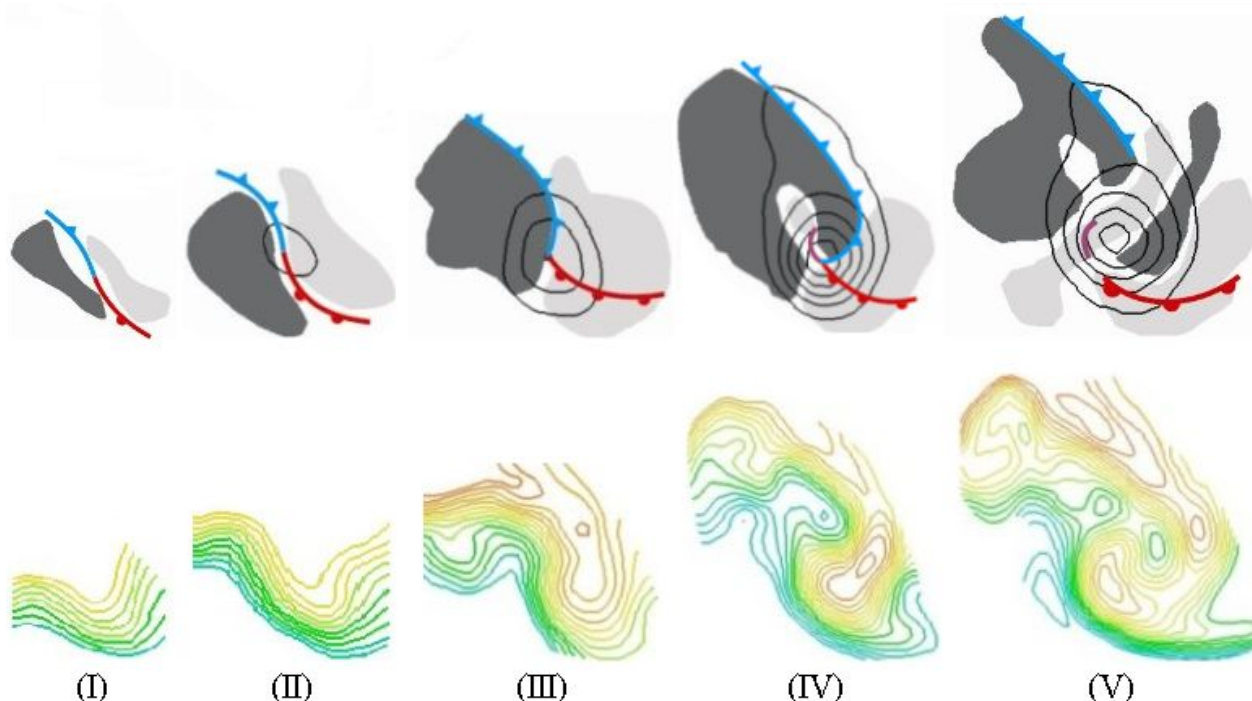


Figura 46 - Modelo conceitual para evolução do ciclone baroclínico, mostrado na baixa troposfera da região tropical do HS. Campo de pressão, de $A\theta_e$ e frentes (acima) e campo de θ_e (abaixo): (I) disparo ciclogênético; (II) perturbação na onda; (III) estreitamento do setor quente; (IV) oclusão e (V) fratura das zonas frontais.

- Estágio I: Como no modelo de Shapiro-Keyser, o disparo ciclogênético ocorreu numa fraca zona baroclínica, percebido antes do surgimento de um centro de baixa pressão no campo bórico. (Trata-se de um bom indicador para previsão de ciclogênese, podendo ser aplicado à previsão do tempo operacional);

- Estágio II: O ciclone se desenvolveu com a perturbação da onda frontal;

- Estágio III: Aprofundamento do sistema, intensificação das frentes e pouco estreitamento do setor quente. Foi observada a predominância da frente fria, tal como o modelo Norueguês, e um enfraquecimento do gradiente de θ_e em sua retaguarda;

- Estágio IV: Oclusão do sistema nas proximidades do centro da baixa. Como no modelo Norueguês, sem fratura frontal. O enfraquecimento do gradiente de θ_e na vanguarda e retaguarda do setor ocluído indicou o início do processo de rompimento entre as frentes e o setor ocluído. O modelo de Shapiro-Keyser apresenta um enfraquecimento entre o centro de baixa e a frente fria, no campo de temperatura potencial;

- Estágio V: Fica evidente que, durante a oclusão, parte do ar que, originalmente, pertencia ao setor quente foi advectado em baixos níveis ao redor do centro do vórtice, posicionando-se no lado oeste (entre o centro do vórtice e o ar frio da região pós-frontal),

atravessando a frente fria. Parte do ar que originalmente pertencia ao setor frio foi advectado para o lado leste do vórtice (entre o centro do vórtice e a frente quente), conectando-se com fluxo vindo de NE (que cruza a frente fria), atravessando a frente quente. Esses resultados confirmam que, em baixos níveis, ocorreu o rompimento das frentes principais. Juntando o rompimento da frente fria (entrada de ar seco em maiores proporções que a saída de ar úmido) e a entrada de umidade pela parte quente do setor ocluso (entre centro do vórtice e o anticiclone pós-frontal), trazida de um sistema mais ao sul, conclui-se que tais fatores mantiveram uma instabilidade baroclínica em baixos níveis, conservando o contraste entre os setores úmido e seco na parte oclusa. Essa configuração garantiu a manutenção energética do vórtice.

5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Foram estudadas 26 situações onde os sistemas frontais influenciaram as condições de tempo sobre AL entre janeiro de 2004 e dezembro de 2006. Através dos métodos clássicos para identificação de frentes, somente 06 eventos apresentaram a passagem da extremidade frontal sobre o Estado (G1). Foram encontrados 07 casos, onde ocorreu a passagem de uma fraca banda de nebulosidade, observada apenas pela imagem de satélite (G2). Outros 13 eventos foram caracterizados por atividades convectivas sobre AL, organizadas pela extremidade frontal posicionada sobre o oceano (G3). Não foram encontrados eventos que satisfizessem as condições do G4. A Revista Climanálise, elaborada pelo CPTEC/INPE, afirmou que foram observadas duas passagens frontais sobre AL durante esse período. De fato, em função de sua metodologia, a referida Revista subestimou o número de frentes que atingem a região do NEB, principalmente ao norte de 11°S.

Os eventos do G1 foram encontrados em todas as estações do ano, concluindo-se que, em qualquer época, ocorrer passagens frontais sobre AL. Os casos do G2 se concentraram durante as estações de inverno austral e início da transição quente, em função do resfriamento continental durante o inverno e a configuração da Alta Barotrópica de Núcleo Quente observada. Essa condição desfavorece o desenvolvimento da extremidade frontal sobre a AS. Os eventos do G3 tendem a ocorrer durante o fim da transição quente, verão austral e início da transição fria, onde o aquecimento sobre o continente favorece o desenvolvimento de sistemas convectivos que interagem com a extremidade das frentes.

Com exceção da estação de transição fria, houve pouca variação na quantidade de eventos de um ano para outro. A grande concentração dos eventos do G3 na estação de transição fria, em 2006 (7 dos 8 casos), deve estar ligada às anomalias negativas de TSM no Pacífico Equatorial, indicando um aumento de influências frontais sobre AL durante episódios de La Niña.

Os campos de θ_e e $A\theta_e$ se mostraram muito eficientes para análise de sistemas frontais sobre as regiões tropicais, devendo ser incorporados à previsão operacional do tempo. Em especial, o campo de $A\theta_e$ conseguiu identificar 6 extremidades frontais sobre AL nos eventos do G2 e G3, indicando que, se forem utilizados somente os métodos clássicos para identificação de frentes, muitas influências frontais não serão identificadas, prejudicando, não só, a previsão operacional do tempo, como futuras informações climatológicas a respeito da atuação desses sistemas em baixas latitudes.

Os sistemas frontais, cuja extremidade passou sobre o estado de AL, levaram em média 10 dias para se deslocar do extremo sul da AS até o Estado de referência e nem sempre estiveram ligados às ocorrências de “friagem”. O primeiro indício para esses eventos foi o posicionamento do ciclone frontal na costa chilena, entre 50°S e 60°S de dezembro a maio, e entre 30°S e 40°S de junho a novembro. Naquele momento, foi observada a presença de 1 ou 2 ciclones sobre o Atlântico, com uma extensa frente fria atuando na região Sudeste do Brasil. Dois dias depois, surgiu um máximo secundário de vortacidade ciclônica entre 40°S e 50°S, na costa da Argentina. O anticiclone pós-frontal se estabeleceu sobre o sul da Argentina e se deslocou para NE até o final do evento.

Durante deslocamento da onda frontal até o NEB, foi observada uma perturbação ciclônica (primeira perturbação) no centro-norte da Argentina se deslocando para NE, em baixos níveis, e interagindo com a extremidade frontal na região central da AS. No inverno, essas perturbações costumam ser baroclínicas e, no verão, barotrópicas. Nos eventos de verão, ocorreram 3 ciclogêneses na frente principal e apenas 1 nas demais estações, sendo que o menor número de ciclogêneses foi compensado por processos de oclusão instantânea. Em 300hPa, uma segunda perturbação ciclônica se deslocou para ESE na região dos Andes, favorecendo o desenvolvimento da extremidade frontal. A AB se deslocou para E durante o deslocamento da frente para AL.

O deslocamento da onda frontal até o NEB esteve acompanhado por constantes regenerações frontais ou processos frontogenéticos. Primeiramente, aconteceu a interação da onda frontal analisada com a onda frontal em sua retaguarda e, posteriormente, na sua vanguarda. O acoplamento das Correntes de Jato Subtropical e Polar, que persiste até a chegada da frente em AL (duração de 84 até 192hs), foi imprescindível nesses processos.

Para os episódios em que uma banda de nebulosidade associada à extremidade da frente foi observada sobre AL, mas não identificada pelos métodos clássicos de análise frontal, o tempo médio de deslocamento do sul da AS até a região foi de 8 dias e, geralmente, não ocorreu “friagem”. Inicialmente foi identificado um vórtice frontal na costa chilena, ao sul de 40°S. Sobre o Atlântico Sul, observou-se a existência de um a três ciclones, com uma extensa frente fria atuando até o litoral da região Sudeste do Brasil. Um máximo secundário de vortacidade ciclônica foi observado dois dias depois, entre 30°S e 40°S, na costa leste da AS. A extremidade da frente não interagiu com perturbações sobre o continente e, geralmente, ocorreu uma nova ciclogênese na frente principal e um processo de oclusão instantânea. À leste dos Andes, o estabelecimento do anticiclone pós-frontal ocorreu no centro-norte da Argentina, seguindo um deslocamento para E.

Por vezes, ocorre um fluxo bifurcado do tipo 2 em 200hPa, com a parte norte passando sobre o Peru e Equador e a parte sul passando sobre o norte do Chile e Argentina, podendo durar até o momento da influência frontal em AL.

A interação da onda frontal analisada com a onda frontal em sua retaguarda e, posteriormente, em sua vanguarda (podendo ocorrer ao mesmo tempo), favoreceu as regenerações frontais. No G2, ocorreu o acoplamento das Correntes de Jato Subtropical e Polar, com duração inferior ao do G1(60 até 120hs), favorecendo as regenerações frontais.

A atuação da ABNQ sobre a AS ofereceu restrição para o desenvolvimento da extremidade frontal na costa do Brasil. Contudo, quando a extremidade da frente conseguiu chegar na latitude da costa do NEB, sobre a região dos Alísios e no flanco NE da ABNQ, provocou um aumento na convergência do fluxo de umidade abaixo da inversão psicrotérmica, apresentando fraca baroclinia e precipitações de caráter estratiforme. Essa foi uma condição comum no G2.

As ondas frontais que organizaram atividades convectivas sobre AL levaram, em média, 9 dias para se deslocar do sul da AS até as baixas latitudes. No início, foi observado um vórtice frontal ao sul de 50°S. Naquele momento, observou-se a existência de 2 vórtices frontais sobre o Atlântico e uma frente fria atuando sobre o Sudeste do Brasil. Entre 2 e 4 dias depois, foi observado um máximo secundário de vorticidade na costa leste da AS, entre 30°S e 50°S. O anticiclone pós-frontal pode seguir dois tipos de deslocamento: para NE, quando se estabelece sobre o sul da Argentina, ou para E, quando se estabelece no centro-norte da Argentina.

Na região central da AS, foram observadas perturbações ciclônicas, tanto barotrópicas (verão e início da estação de transição fria) como baroclinicas (final da transição fria e início da transição quente), que interagiram com a extremidade frontal. Não foram observadas grandes advecções de ar frio sobre o continente. Ocorre de uma a duas novas ciclogêneses na frente principal e o surgimento de uma frente secundária, que pode evoluir para um processo de oclusão instantânea.

Durante as estações de transição, na região dos Andes, pode surgir uma perturbação ciclônica em altos níveis (300hPa) com deslocamento médio para E, favorecendo o desenvolvimento da extremidade frontal. Esse fator é inexistente no verão. A AB se deslocou preferencialmente para E nas estações de transição e para W no verão.

Como nos grupos G1 e G2, ocorreram interações entre a onda frontal analisada e a onda frontal na vanguarda, podendo ocorrer, antes ou depois, com a onda na retaguarda. O acoplamento entre as CJS e a CJP é mais provável na transição fria.

Generalidades para os grupos:

Os eventos do G1 foram acompanhados por um cavado formado sobre o Pacífico em médios níveis (500hPa). Esse cavado se deslocou para leste, inserindo uma componente de vento de sul sobre a AS. Para o G2 e G3, a influência desse cavado pode vir do Pacífico (T1) ou se formar a leste dos Andes (T2). No caso do G3, o T1 foi observado nos períodos de transição e o T2 no verão.

Durante as estações de transição e inverno austral, pode ser observado um fluxo dividido sobre o leste do Pacífico em 200hPa, com uma parte do fluxo sobre o norte do Chile e centro do Brasil e outro ramo sobre a parte sul da AS (T1). Esse fluxo bifurcado se dissipou antes do surgimento de outro fluxo bifurcado, mais ao norte, nos eventos do G2 (T2). Geralmente, após se desconfigurar a bifurcação do tipo 1, foi identificado um fluxo do tipo onda em 200hPa, com cavado inclinado horizontalmente para NW, em todos os grupos. No G1, essa configuração chegou a atuar ao norte de 20°S. No G2 e G3 pode atuar ao norte de 20°S (T1) e ao sul dessa latitude. Para o G3, em especial, atuou ao sul de 20°S na estação de transição fria. Para os três grupos, a entrada da CJS possuiu uma orientação NW-SE, posicionada, geralmente, ao norte da sua posição climatológica e na vanguarda do cavado.

Os eventos selecionados entre o final da estação de transição quente e início da transição fria (novembro-março) estiveram associados a configuração de ZCAS, que, juntamente com um VCAN posicionado em torno de 11°S - 24°W, facilitam as influências frontais sobre AL.

O acoplamento entre os trens de onda de escala sinótica em altos níveis, identificado por um fluxo meridional que conecta a saída da CJP com a entrada da CJS, permitiu a fusão de ondas frontais distintas em baixos níveis e a incursão de ar frio em direção ao equador. Esse modo de interação pode provocar a regeneração das frentes e a formação de novos ciclones na família.

Um ***novo modelo conceitual*** para evolução de ciclones em latitudes tropicais foi proposto para o caso analisado detalhadamente, com base nos campos de θ_e e $A\theta_e$. No estágio inicial, o desenvolvimento possui aspectos que lembram o modelo de Shapiro-Keyser, porém, sem o rompimento da frente fria. No estágio maduro, ocorre o rompimento das frentes principais, fria e quente, e do setor ocluso, fragmentando o sistema como um todo. Por último, concluiu-se que o modelo conceitual apresentado difere da Escola Norueguesa e de Shapiro-Keyser, sendo muito bem aplicável a sistemas que surgem próximo a regiões subtropicais com deslocamento para baixas latitudes.

Sugestões para novas pesquisas:

Fazer novas análises para consistência dos dados da Revista Climanálise.

Prosseguir com os estudos sobre os fatores que favorecem a chegada de sistemas frontais na faixa equatorial do Atlântico, utilizando uma série maior de eventos.

Estatísticas sobre as influências frontais no sul, centro e norte da costa leste do NEB.

Avaliar o papel do gradiente inter-hemisférico da Bacia do Atlântico Tropical no deslocamento de sistemas frontais sobre a AS.

Aprofundar os estudos sobre o acoplamento dos trens de onda de escala sinótica e suas influências na formação de novas ondas frontais.

Verificar a existência de outros ciclones baroclínicos que apresentem o rompimento das frentes principais e do setor ocluso (modelo proposto nesse estudo).

Analisar as penetrações de sistemas frontais do Hemisfério Norte, em latitudes equatoriais e seus impactos sobre o norte da AS.

Analisar a interação entre os sistemas frontais e as perturbações que ocorrem nos Alísios, de ambos os hemisférios, e as atividades convectivas associadas.

Estudar as condições termodinâmicas da ZCIT quando ocorre penetração de sistemas frontais em latitudes equatoriais.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBRIZZI T.; PEZZA A. B. Cold waves and propagation of extratropical cyclones in South America: a synoptic climatological overview. **Revista Geofísica**, v. 51, p. 45-67, 1999.
- ANDRADE, K. M. & CAVALCANTI I. F. A. **Climatologia dos Sistemas Frontais e Padrões de Comportamento Para o Verão na América do Sul**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, Fortaleza, CD **Anais**, 2004.
- ANDRADE, K. M. **Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul**. 2005. 187p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.
- BARROS, V., GONZÁLEZ, M., B. LIBMANN, CAMILLONI, I. **Influence of the South Atlantic Convergence Zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in southeastern South America**. *Theor. Appl. Climatol.*, **67**, 123-133, 2000.
- BAKST, L., FEDOROVA N. **On Some Results of Automatic Identification of Frontal Sections on the Bases of Satellite Information**. *Issledovanie zemli is kosmosa* (com tradução para inglês nos Estados Unidos). Moscou: Academia de Ciências da Rússia, v.2, p.35 – 39, 1993.
- BEU, C. M. L. & AMBRIZZI, T. **Propagação de Massas de Ar na Primavera de 2002: Estudo de Trajetórias de Ciclones e Anticiclones sobre a América do Sul com o Auxílio de um Esquema Numérico**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, Fortaleza, CD **Anais**, 2004.
- BJERKNES, J., 1919: On the structure of moving cyclones. **Geofys. Publ.**, 1 (2), 1–8.
- BJERKNES, J, and H. SOLBERG, 1922: Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation. **Geofys. Publ.**, 3 (1), 3–18.
- BLUESTEIN, H. B. **Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes**. Oxford Press, 594p., 1993.
- BOLETIM CLIMANÁLISE, Janeiro de 2004 a dezembro de 2006. Disponível na pagina: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/>. Acesso, 10/2007.
- BOLTON, D. The computation of equivalent potential temperature. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 1046–1053, Jul. 1980.
- BONATTI, J. P. & RAO, V. B. Moist Baroclinic Instability in the Development of North Pacific and South American Intermediate-Scale Disturbances. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.44, n.18, p 2657-2667, 1987.
- BONATTI, J. P. **Evolução Para Amplitude Finita das Ondas Baroclínicas na Atmosfera e no Oceano**. Tese de Doutorado em Meteorologia (19/08/1998). São José dos Campos, SP, INPE, (INPE-4752-TDL/346). 1988.

BONATTI, G. R., **Estudos Observacionais de Simulação Numérica e de Partição e Interação de Energia de Nuvem Vírgula Invertida sobre a América do Sul.** Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE. São José dos Campos - SP, 2005.

BOSART, L. F., 1998: Observed cyclone life cycles. The Life Cycles of Extratropical Cyclones, M. A. Shapiro and S. Grønås, Eds., in press.

BOWDITCH, N., **American Practical Navigator, an Epitome of Navigation.** Defense Mapping Agency Hydrographic Center, 1977.

BROWNING, K. A. Conceptual models of precipitation systems. **Weather and Forecasting**, v. 1, p. 23-41, 1986.

BROWNING, K. A., 1990: Organization of clouds and precipitation in extratropical cyclones. Extratropical Cyclones, The Erik Palmén Memorial Volume, C. W. Newton and E. O. Holopainen, Eds., **American Meteorology Society**., 129–153.

BUSINGER, S. and P. V. HOBBS Meso-scale structures of two comma cloud systems over the Pacific Ocean. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1908-1928, 1987.

BUSINGER, S. and R. J. REED Cyclogenesis in cold air masses. **Weather and Forecasting**, v. 4, p. 133-156, 1989.

CARVALHO, A. M. G.. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul.** Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE. São José dos Campos-SP, 1989.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 7., Wellington, New Zealand, 2003. **Proceedings...** New Zealand: American Meteorological Society, 2003. 1 CD-ROM.

DA CRUZ, C. D.; FIGUEIREDO, E. L.; FEDOROVA, N., LEVIT, V., **Utilização do Campo de Advecção de Temperatura Potencial Equivalente para Análise de um Sistema Frontal na Região Tropical.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 15, São Paulo, CD Anais, 2008.

DEFANT, F. & MORTH, H.T., Meteorology Sinoptic, **Compendium of Meteorology**, Geneva: World Meteorological Organization, 1978.

DERECZYNSKI, C. P. **Estudo de caso de uma nuvem vírgula invertida e a subsequente ocorrência de ventos fortes na Bacia de Campos.** 1995. 77 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Astronômico e Geofísico - USP, São Paulo. 1995.

EVANS, M. S., D. KEYSER, L. F. BOSART, and G. M. LACKMANN, 1994: A satellite-derived classification scheme for rapid maritime cyclogenesis. **Monthly Weather Review**, 122, 1381–1416.

FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica.** Pelotas: Ed. Universidade Federal de Pelotas, v. 1, p. 259, 1999.

FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica**. Pelotas: Ed. Universidade Federal de Pelotas, v. 2, p. 242, 2001.

FEDOROVA, N., CARVALHO, M. H. **Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño. Parte II: Zonas Frontais**. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 15, n.2. p. 57-72, 2000.

FEDOROVA, N., LEVIT, V., CARVALHO, M. H. **Eventos de precipitação na cidade de Pelotas - RS associados a processos e sistemas sinóticos**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.2, 134-159, 2007.

FERREIRA, N. J.. **Alta da Bolívia**. IV Curso de Interpretação de Imagens e Análises Meteorológica, São José dos Campos, 18p, 1995.

FERREIRA, N. J., CORREIA, A. A., RAMIREZ, M. C. V. 2004. Synoptic Scale Features of the Tropospheric Circulation Over Tropical South America During the WETAMC TRMM/LBA Experiment. *Atmosfera*, v. 17, n. 1. p 13-30. Jan 2004.

FIGUEIROA, N. F.; SATYAMURTY, P. and P. L. SILVA DIAS, 1995. **Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model**. J. Atmos. Sci., 52,1573-1584.

FISCH, G. F. **Camada limite Amazonia**: aspectos observacionais e de modelagem. 201 p. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1995.

FRANK, N. L. On the energetics of cold lows. In: Symposium on the Tropical Meteorology, Honolulu, June 2-11, 1970. Proceedings. Honolulu, American Meteorological Society, p. EIV I-EIV 6. 1970.

FUNCEME. **Catálogo da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.funceme.br/demet/>.

GAN, M. A.. **In: III Curso de Interpretação de Imagens e Análise Meteorológica**. Universidade do Vale do Paraíba, Capítulo B5, 1-12, 4 a 8 de outubro 1993.

GARREAUD, R. D. 2000. Cold Air Incursions Over Subtropical South America: Mean Structure And Dynamics. *Monthly Weather Review*, v. 128, p 2544-2559.

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

GIRARDI C. **O poço dos Andes**. São José dos Campos: CTA/IAE, 1983. Relatório Técnico ECA 01/83.

HARLEY, D. G., **Frontal contour analysis of a “polar low”**. Meteor. Mag., v. 89, p.146-147, 1960.

HARROLD, T. W., BROWNING, K. A. **The polar low as a baroclinic disturbance**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 95, p. 710-723, 1969.

HOLTON, J. R. **An Introduction to Dynamic Meteorology**. 2 ed. New York, p.391,1979.

JUSTI, M. G. A. da S.; SILVA DIAS, M. A. F. **A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: Uma climatologia**. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu, 2002. CD-ROM.

KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., ZHU, Y., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HIGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K. C., ROPELEWSKY, C., WANG, J., LEETMAA, A., REYNOLDS, R., JENNE, R., JOSEPH, D. The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorology Society**, 77, 437-471. 1996.

KISTLER, R., KALNAY, E., COLLINS, W., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., KANAMITSU, M., KOUSKY, V., VAN DEN DOOL, H., JENNE, R., FIORINO, M. The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentacion. **Bulletin of the American Meteorology Society**, 82, 247-268. 2001.

KOCH, S. E. & MITCHEM, J. D. 2003. **A Structured Process For Prediction Of Convection Associated With Split Cold Fronts**. Bulletin Of The American Meteorology Society, v.81 no 2, p 174-179.

KODAMA, Y-M. **Large-scale common features of Sub-tropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ)**. Part I: characteristics of Subtropical Frontal Zones. Journal of Meteorological Society of Japan, 70, 4, 813-835, 1992.

KODAMA, Y-M., 1993. **Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ)**. Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. J. Meteor. Soc. Japan, 71, 581-610.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences On Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9, p 1140 – 1153, 1979.

KOUSKY, V. E. , ELIAS, M. Meteorologia Sinótica: Parte I .São Jose dos Campos, INPE, p 118.

KOUSKY, V. E. & FERREIRA, N. J. 1981. Interdiurnal Surface Pressure Variations In Brazil: Their Spatial Distributions ,Origins And Effects. **Monthly Weather Review** V 109, p 1999 a 2008.

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

KOUSKY, V. E. e M. T. KAYANO. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. *J. Climate*, 7, 1131-1143, 1994.

KOUSKY, V. E. & VIRJI, H. 1982, A Entrada De Um Sistema Frontal Em Latitudes Baixas E Seus Efeitos Na Atividade Convectiva Tropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2., 1982, Pelotas. **Anais...** v 2, p 162 a 179.

LEMONS, C. F. & DE CALBETE, N. O.1996. Sistemas Frontais que atuaram no Litoral de 1987 a 1995. *Climanálise* ed 10 anos.

LICHTENSTEIN, E. Some influences of Andes Cordillera on the synoptic scale circulation. In: International Conference On Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 3., Buenos Aires, Argentina, 1989. Proceedings... Buenos Aires: **American Meteorology Society**, 1989. p.146-148.

LOCATELLI, J. D.; HOBBS, P. V. and WERTH J. A. Mesoscale structures of vortices in polar air streams. **Monthly Weather Review**, v. 110, p. 1417-1433, 1982.

LUPO, A. R. , NOCERA, J. J. , BOSART, L. F. , HOFFMAN, E. G. , KNIGHT, D. J. 2001. South America Cold Surges: Types, Composites, and Case Studies. **Monthly Weather Review**, v. 129, p 1021-1041.

MARENGO, J., A. CORNEJO, P. SATYAMURTY, and C. NOBRE, 1997: Cold surges in tropical and extratropical South America: The strong event in June 1994. **Monthly Weather Review**, 125, 2759–2786.

MEDINA, M., **Meteorologia Básica Sinóptica**, Madri, Paraninfo,1976.

MILLER, J. E. On the concept of frontogenesis. *J. Meteorol.* 5, 169–171, 1948.

MOLION. L. C. B. e BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de meteorologia**, 17, 1, 1-10, 2002.

MOLION, L. C. B.; IMBUZEIRO, H. M. A.; CAVALCANTI, I. F. A. Chuvas intensas no leste da Amazônia fevereiro de 1980. **Revista Climanalise**, v. 3, n. 3, p. 20-27, Nov. 2006. (INPE-14888-PRE/9802).

MULLEN, S. L.,1979. An Investigation Of Small Synoptic Scale Cyclones In Polar Air Streams, **Monthly Weather Review**, p 1636 - 1647.

NEIMAN, P. J., and M. A. SHAPIRO, 1993: The life cycle of an extra-tropical marine cyclone. Part I: Frontal-cyclone evolution and thermodynamic air–sea interaction. **Monthly Weather Review**, 121, 2153–2176.

NEWTON, C. W. , VAN LOON, H. , MITCHEL JR., J. M., TALJAARD, J.J., SASAMORI, T. , LONDON, J. , HOYT, D. V., LABITZKE, K. 1972, **Meteorology Of The Southern Hemisphere**,v.13, n 35.

OLIVEIRA, A. S., 1986. Interações Entre Sistemas Frontais na América do Sul e a Convecção da Amazônia, **Dissertação De Mestrado**, INPE.

OLIVEIRA, L. L.; VIANELLO, R. L.; FERREIRA, N. J. Meteorologia Fundamental. Rio Grande do Sul, Erechim/RS: EdiFAPES, 2001.

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

PALMÉN, E. & NEWTON, C. W. **Atmospheric circulations systems**. New York, Academic Press, 1969.

PALMER, C. E., 1951. On high-level cyclones originating in the tropics. *Transactions of American Geophysics Union*, 32(5):683-695.

PARMENTER, E.C. 1976, A Southern Hemisphere Cold Front Passage At The Equador. **Bulletim American Meteorological Society** v.57, n. 12, p 1435 -1440.

PETTERSSSEN, S. **Weather analysis and forecasting: motion and motion systems**. 1st edition, New York, MacGraw-Hill, 1940.

PETTERSSSEN, S. **Weather analysis and forecasting: motion and motion systems**. New York, MacGraw-Hill, 1956. v. 1.

PETTERSSSEN, S. **Introduction to Meteorology**. New York, MacGraw-Hill, 1956. v. 1.

PEZZI, L.P., ROSA, M.B., BATISTA, N.N.M. A corrente de jato subtropical sobre a América do Sul. *Climanálise Edição Especial Outubro/1996*. Edição especial comemorativa de 10 anos.

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

RASMUSSEN, E. The polar low as an extratropical CISK disturbance. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 105, p. 531-549, 1979.

REED, R. 1979. Cyclogenesis in Polar Air Streams. **Monthly Weather Review**, v.107, p. 38-52.

RIVERO, S. N. F. **Simulações da circulação atmosférica no verão sobre a América do Sul com a presença da Cordilheira dos Andes usando coordenadas Eta**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1991.

SANCHES, M. B. e SILVA DIAS, M. A. F. Análise sinótica de verão. A influência da Zona de Convergência do Atlântico sul (ZCAS). **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Campos do Jordão, Rio de Janeiro, 1, 439-443, 1996.

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L.F. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Monthly Weather Review**, v.117, n. 6, p. 1355-1364, June 1989.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; SILVA DIAS, P.L. South America. In: Karoly, D.J.; D.G. Vincent ed. *Meteorology of the South Hemisphere*. Boston. MA.: **American Meteorology Society**, Cap.3, p.119-140, 1998.

SAUCIER., W. J., **Principles of meteorological Analysis**. University of Chicago. 1955.

SELUCHI M.E.; MARENGO, J. A. Tropical-midlatitude exchange of air masses during summer and winter in South America: climatic aspects and examples of intense events. **International Journal Of Climatology**, v.20, n.10, p.1167-1190 Aug. 2000.

SELUCHI, M. E., SAULO, A. C., NICOLINI, M., SATYAMURTY, P. 2003. The Northwestern Argentinean Low: A Study of Two Typical Events. **Monthly Weather Review**, v. 131, 2361-2378.

SERRA A. B.; RATABONA L. As ondas de frio na Bacia Amazônica. **Serviço de Meteorologia-Ministério da Agricultura**, Rio de Janeiro, 1941.

SHAPIRO, M. A., and D. KEYSER, 1990: Fronts, jet streams and the tropopause. Extratropical Cyclones, The Erik Palmé 'n Memorial Volume, C. W. Newton and E. O. Holopainen, Eds., **American Meteorology Society**, 167–191.

SHULTZ, D. M., KEYSER, D., BOSART, L. F. 1998. The Effect Of Large-Scale Flow On Low-Level Frontal Structure And Evolution In Midlatitude Cyclones. **Monthly Weather Review**, v. 126 no. 7, p 1767- 1791.

SIGNORINI, E. , 2001. Processos Sinóticos Associados Com A Intensificação Da Extremidade Da Frente Fria No Sul Do Brasil, **Dissertação De Mestrado**, UFPel.

SILVA, A. B. P., Estudo de dois casos extremos de precipitação sobre a costa leste do Nordeste do Brasil. Dissertação de mestrado em Meteorologia, UFAL, Maceió – AL. Jan, 2002.

SIQUEIRA, J. R. **Variabilidade interdiurna da convecção na América do Sul: A propagação meridional da convecção**. 2003. 175p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

SMIGIELSKI, F. J., and H. M. MOGIL, 1995: A systematic satellite approach for estimating central surface pressures of mid-latitude cold season oceanic cyclones. **Tellus**, 47A, 876–891.

SMITH, R. K. , REEDER, M. J., TAPPER, N. J., CHRISTIE, D. R. 1995. Central Australian Cold Fronts. , **Monthly Weather Review**, v. 123, p 16 – 38.

SOUZA, A. S. & NECHET, D. **Influência de Sistema frontal na Amazônia Oriental: Estudo de Caso**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, Fortaleza, CD Anais, 2004.

SUTCLIFFE R. C.; 'A Contribution to the Problem of Development', **QJRMetS/RMetS**, 73, 1947.

VAREJÃO-SILVA, M. A., Meteorologia e Climatologia. 2º Edição. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Pax, 2001.

VERA, C. S. & VIGLIAROLO, P. K., 2000. A Diagnostic Study Of Cold-air Outbreaks Over South America. **Monthly Weather Review**, v. 128, no. 1, p 3-24.

VERA, C. S. , VIGLIAROLO, P. K. , BERBERY, E. H. 2002. Cold Season Synoptic-scale Waves Over Subtropical South America. **Monthly Weather Review**, v.130, no. 3.

VIRJI, H. & KOUSKY, V. E. 1983. **Regional E Global Aspects Of A Low Latitude Frontal Penetration In Amazonas And Associated Tropical Activity.** In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY, São José dos Campos - SP - Brasil.

www.cdc.noaa.gov

www.ibge.gov.br

www.cptec.inpe.br

www.inmet.gov.br