



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

Nº MET – UFAL – MS – 062.

**UTILIZAÇÃO DOS CANAIS MULTIESPECTRAIS DO SENSOR SEVIRI NA
DETECÇÃO DE SISTEMAS CONVECTIVOS SEVEROS NO SUDESTE
BRASILEIRO – ESTUDOS DE CASOS**

PATRÍCIA PORTA NOVA DA CRUZ

**Maceió – Alagoas
Novembro – 2009**



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



**UTILIZAÇÃO DOS CANAIS MULTIESPECTRAIS DO SENSOR SEVIRI NA
DETECÇÃO DE SISTEMAS CONVECTIVOS SEVEROS NO SUDESTE
BRASILEIRO – ESTUDO DE CASOS**

Por

PATRÍCIA PORTA NOVA DA CRUZ

Orientador:

Prof. Dr. Humberto Alves Barbosa

**Maceió – Alagoas
Novembro – 2009**



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



**UTILIZAÇÃO DOS CANAIS MULTIESPECTRAIS DO SENSOR SEVIRI NA
DETECÇÃO DE SISTEMAS CONVECTIVOS SEVEROS NO SUDESTE
BRASILEIRO – ESTUDOS DE CASOS**

PATRÍCIA PORTA NOVA 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
Novembro – 2009**

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

C957u Cruz, Patrícia Porta Nova da.
Utilização dos canais multiespectrais do sensor Seviri na detecção de sistemas convectivos severos no sudeste brasileiro : estudos de casos / Patrícia Porta Nova da Cruz, 2009.
94 f. : il.

Orientador: Humberto Alves Barbosa.
Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2009.

Bibliografia: f. 88-94.

1. Atmosfera. 2. Tempestade (Meteorologia). 3. Sensoriamento remoto. 4. Imagens meteosat. 5. Radiometria. 6. Calibração. 7. Catástrofes naturais. I. Título.

CDU: 551.515.4



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

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-062.

***“UTILIZAÇÃO DOS CANAIS MULTIESPECTRAIS DO SENSOR
SEVIRI NA DETECÇÃO DE SISTEMAS CONVECTIVOS
SEVEROS NO SUDESTE BRASILEIRO – ESTUDO DE CASO”***

Patrícia Porta Nova 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. Dr. Humberto Alves Barbosa
(Orientador)

Prof. Dr. Flávio Barbosa Justino
(Membro Externo – UFV)

Prof.ª Dr.ª Natália Fedorova
(Membro interno)

Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion
(Membro Interno)

Maceió – AL
novembro/2009

- Aos meus pais, **Sidinei Mendes da Cruz (In memoriam)** e **Maria de Fátima Porta Nova da Cruz** pelo apoio incondicional para minha formação acadêmica.
- Às minhas irmãs, **Fábia Simone Porta Nova da Cruz Dias** e **Eliane Porta Nova da Cruz**, pelo carinho e compreensão.
- Ao **José Augusto de Souza Júnior**, pelo apoio e incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, irmãs, namorado e sobrinha por serem o alicerce na busca dos meus sonhos e realizações. Por fazerem parte do que sou hoje.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Humberto Alves Barbosa, pela orientação, incentivo e sugestões, no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores do Instituto de Ciências Atmosféricas da UFAL, sobretudo a Prof^ª. Dr^ª. Natalia Federova, Prof. Dr. Frederico Di Tejo Pace, Prof. Dr. Vladimir Levit e ao Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion, pelo conhecimento fornecido durante os anos do Mestrado.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Pelufo Foster e a Prof^ª. Ma. Maria Helena de Carvalho por serem exemplos de profissionais que quero seguir.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo que, possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos de laboratório Fernanda Claudino, Fabiano Prestelo, Anderlan Siqueira, André Maia, Neto e Ivon Wilson Júnior por incentivos, trocas de conhecimento e momentos de descontração.

Aos amigos Cristiano, Flávia, Ana Carla, Anelise, Fátima, Leni, Natália, Cacau, Wially, Tiago, Faglany, Jorge Eduardo, Walsyneide, Lúcia, Carol, Felipe, Lincoln e Daniel por momentos maravilhosos e por terem me recebido também nesta cidade.

Aos amigos e colegas de turma Alessandro, Adriano, Eduardo, Eliton, Gabriel e Ivens pelo companheirismo, incentivos e trocas de informação.

Aos amigos e colegas de profissão José Felipe, Angélica, Aline e Luiz pelo apoio apesar da distancia geográfica.

Aos “amigos família” Isabele, Lú, Grazi, Fábio, Márcia, Vanessa, Igor por me darem bons conselhos e me acrescentarem sempre mais.

A todos aqueles que de alguma forma auxiliaram e colaboraram na elaboração deste trabalho.

Finalmente, agradeço a Deus por ter me dado força, tranquilidade e sabedoria nesta etapa da minha vida!

MUITO OBRIGADO!

PENSAMENTO

“Se queremos progredir, não devemos repetir a história, mas fazer uma história nova.”

Mahatma Gandhi

CRUZ, Patrícia Porta Nova da. UTILIZAÇÃO DOS CANAIS MULTIESPECTRAIS DO SENSOR SEVIRI NA DETECÇÃO DE SISTEMAS CONVECTIVOS SEVEROS NO SUDESTE BRASILEIRO – ESTUDOS DE CASOS. Orientador: Prof. Dr. Humberto Alves Barbosa. Maceió-AL: ICAT/UFAL, 2009. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).

RESUMO:

Este trabalho teve por objetivo mostrar a importância que as características espectrais obtidas por meio das propriedades físicas das nuvens medidas pelos satélites geostacionários METEOSAT que auxilia a previsão e compreensão de tempestades severas. A região de estudo foi o sudeste brasileiro por essa região encontrar-se em uma faixa de transição entre o clima temperado das latitudes médias e o clima quente das latitudes baixas e, por isso, se torna uma área que tem influência de vários fenômenos meteorológicos. Com a topografia acentuada e a proximidade com o Oceano Atlântico, é uma zona propícia a tempestades severas, vendavais e chuvas contínuas. Foram utilizados os dados do MSG não apenas pelas imagens serem captadas de 15 em 15 minutos, mas também, porque o radiômetro SEVIRI a bordo desse satélite europeu possui 12 canais multiespectrais que geram vinte vezes mais informações do que os radiômetros da geração anterior do mesmo. Foram geradas informações qualitativas dos eventos atmosféricos nas composições coloridas RGB, análise da resposta espectral e diferenças dos canais multiespectrais de vapor de água. Os resultados obtidos indicaram que a composição colorida RGB (WV6.2 μ m – WV7.3 μ m; IR3.9 μ m – IR10.8 μ m; NIR1.6 μ m – VIS0.6 μ m) caracteriza de maneira satisfatória a convecção em tempestades, mostrando quando o sistema está-se dissipando, estabilizado ou intensificando, porém é indicada apenas para as tempestades que ocorrem durante o dia e quando analisada as 3 composições RGB (padrão, para massas de ar e convecção) geram mais informações do que analisando apenas 1 delas. Para o 1º estudo de caso os valores da diferença de canais do vapor de água que foram indicados como valores críticos propícios a formação de tempestades foram de 4 a 13°C e para o 2º estudo de caso foram de 8 a 13°C.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto da Atmosfera, Imagens METEOSAT, calibração radiométrica, tempestades.

CRUZ, Patrícia Porta Nova da. USE OF MULTISPECTRAL CHANNELS OF SEVIRI SENSOR IN THE DETECTION OF SEVERE CONVECTIVE SYSTEMS ON SOUTHEASTERN BRAZIL – CASE STUDIES. Mastermind: Prof. Dr. Humberto Alves Barbosa. Maceió-AL: ICAT / UFAL, 2009. Dissertation (Master's Degree in Meteorology).

ABSTRACT

This study had as objective to show the importance of the spectral characteristics obtained by the physical properties of clouds measured by the METEOSAT geostationary satellite that helps on the understanding and prediction of severe storms. The study area was Brazil's southeastern because this region is located in a transition range between the mid-latitude temperate climate and the low latitudes warm climate and, therefore, becomes an area that has influence of various meteorological phenomena. With the strong topography and the proximity to the Atlantic Ocean, is a severe storms, strong winds and continuous rainfall favorable zone. It were used MSg datanot only by the images been captured from 15 in 15 minutes, but also because the SEVIRI radiometer on board of the European satellite has 12 multispectral channels that generate twenty times more information than the previous generation radiometers of the same. Were generated qualitative information of the atmospheric events in RGB color compositions, spectral response analysis and differences in the water vapor multispectral channels. The obtained results indicated that the RGB color composition (WV6.2 μ m - WV7.3 μ m; IR3.9 μ m - IR10.8 μ m; NIR1.6 μ m - VIS0.6 μ m) characterizes in a satisfactory way the convection in thunderstorms, showing when the system is in dissipation, stabilization or increasing, but is indicated only for storms occurring during the day and when analyzed the 3 RGB compositions (standard for air mass and convection) generate more information than analyzing only 1 of them. For the first case study, the values of the channel difference of the water vapor that were indicated as critical values with a trend to storm formation were of 4 to 13 °C and for the second study case were of 8 to 13 °C.

Key-words: Atmosphere Remote Sensing, METEOSAT Images, radiometric calibration, storms.

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	XI
LISTA DE TABELAS	XV
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XVI
LISTA DE SÍMBOLOS	XVIII
1 - INTRODUÇÃO	01
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
2.1 - A importância do estudo dos fenômenos meteorológicos e da Meteorologia	07
2.2 - Chuva intensa e evento extremo	09
2.3 - O papel dos sistemas de escala sinótica	10
2.4 - O uso do Sensoriamento Remoto para estudar esses fenômenos	12
2.5 - Sensoriamento Remoto e técnicas de processamento	14
2.6 - Utilização dos canais multiespectrais nos eventos severos	16
2.7 - Descrição do METEOSAT e do Sistema EUMETCast	21
2.8 - Descrição do Radiômetro SEVIRI	25
3 - MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1.1 - Região de Estudo e informação geral sobre os casos estudados	29
3.1.2 - Descrição dos dois estudos de caso	30

3.2 -	Aquisições das imagens do METEOSAT	33
3.2.1 -	Banco de dados disponível pela EUMETSAT	34
3.2.2 -	Recepção das Imagens de Satélite no ICAT – UFAL	36
3.3 -	Calibração e Processamento	38
3.4 -	Software Xrit2Pic e composições das imagens	40
3.5 -	Utilização dos canais multiespectrais e composições RGB	43
3.6 -	Radiossondagens	44
4 -	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1 -	Análise do 1º caso	46
4.1.1 -	Visão Global das imagens do infravermelho e do vapor de água para o primeiro caso	46
4.1.2 -	Imagens nos canais termais 3.9µm e 10.8µm	47
4.1.3 -	Comparação das composições de imagens com os dados de radiossondagem	51
4.1.4 -	As composições coloridas RGB	64
4.1.5 -	Análise da informação gerada pela diferença dos canais de vapor de água	66
4.2 -	Análise do 2º evento	67
4.2.1 -	Visão Global das imagens do infravermelho e do vapor de água para o segundo caso.	67
4.2.2 -	Imagens nos canais termais 3.9µm e 10.8µm	68
4.2.3 -	Comparação das composições de imagens com os dados de radiossondagem.	74
4.2.4 -	As composições coloridas RGB	80
4.2.5 -	Análise da informação gerada pela diferença dos canais de vapor de água	83
4.2.6 -	Comparação entre as composições das imagens coloridas	84
5 -	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	86
6 -	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	O modelo conceitual de tempestades em forma de V. FONTE: Heymsfield e Blackmer (1988).	10
Figura 2 -	Satélites meteorológicos em órbita. FONTE: Instituto de Meteorologia, IP Portugal (2008).	15
Figura 3 -	Posicionamento das plataformas METEOSAT. FONTE: Kerk (2008).	23
Figura 4 -	Diagrama do Sistema EUMETCast. FONTE: EUMETSAT (2006).	24
Figura 5 -	Mapa do Brasil com a localização do Sudeste.	29
Figura 6 -	Imagens do radar meteorológico em: a) 4 de Fevereiro às 18:31HL e b) 5 de Fevereiro, 00:53 HL. A cidade de Bauru é localizada no centro da imagem. FONTE: Antonio et al (2008).	31
Figura 8 -	Mostra o Túnel Rebouças e o deslizamento de terra sobre ele. FONTE: http://noticias.terra.com.br/brasil/interna/0,,OI2019969-EI8139,00.html .	32
Figura 9 -	Imagem da temperatura de brilho no canal IR 10.8 μm do METEOSAT-9, às 17:30UTC sobre o Brasil e a ilustração da chegada de uma frente fria sobre uma região. FONTE: Barbosa e Ertük (2009).	33
Figura 10 -	Banco de dados para acessar as imagens disponíveis e fazer o pedido.	35
Figura 11 -	Diagrama do sistema de recepção das imagens na UFAL. FONTE: Silva et al (2009).	36
Figura 12 -	Os oito segmentos dos canais de baixa resolução do radiômetro SEVIRI.	38
Figura 13 -	O Software Xrit2Pic com os dados do SEVIRI referente ao evento estudado.	42
Figura 14 -	A janela no qual se escolhe os canais para gerar a composição RGB.	43
Figura 15 -	Imagens do globo através dos canais METEOSAT para o dia 05 de fevereiro de 2005 as 00:00UTC: a) canal 9 e b) canal 5.	47
Figura 16 -	Imagem do canal 3.9 μm do dia 4 de fevereiro de 2005 no horário das	48

18UTC.

- Figura 17** - Imagens do canal 3.9 μ m do dia 05 de fevereiro de 2005 nos horários: a)00UTC e b)06UTC. 49
- Figura 18** - Imagens do canal 10.8 μ m do dia 4 de fevereiro de 2005 nos horários: 18:00UTC. 50
- Figura 19** - Imagem do canal 10.8 μ m do dia 5 de fevereiro de 2005 no horário das 00UTC. 50
- Figura 20** - Imagem do canal 10.8 μ m do dia 5 de fevereiro de 2005 no horário das 06UTC. 51
- Figura 21** - Os valores de diferenças ou temperatura de brilho referente as cores RGB, o que significam cada cor gerada na imagem.
FONTE: Lensky e Rosenfeld (2008). 51
- Figura 22** - Composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 00UTC. 52
- Figura 23** - Recorte da composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 00UTC. 53
- Figura 24** - Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 00UTC do dia 4 de fevereiro de 2005. a) Confins em MG, b) Galeão em RJ e c) Campo de Marte em SP. 54
- Figura 25** - Composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 12UTC. 56
- Figura 26** - Recorte da composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 12UTC. 56
- Figura 27** - Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12UTC do dia 4 de fevereiro de 2005. a) Confins (MG), b) Galeão (RJ) e c) Campo de Marte (SP). 57
- Figura 28** - Composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m –8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 00UTC. 59
- Figura 29** - Recorte da composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 00UTC. 59
- Figura 30** - Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 00UTC do dia 05 de fevereiro de 2005. a) Confins (MG), b) Galeão (RJ) e c) Campo de Marte (SP). 60
- Figura 31** - Composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m –8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário às 12UTC. 62

- Figura 32** - Recorte da imagem de composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário às 12UTC. 62
- Figura 33** - Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12UTC do dia 05 de fevereiro de 2005. a) Confins (MG), b) Galeão (RJ) e c) Campo de Marte (SP). 63
- Figura 34** - Os valores de diferenças ou temperatura de brilho referente as cores RGB, o que significam cada cor gerada na imagem.
FONTE: Lensky e Rosenfeld (2008). 64
- Figura 35** - Imagens em composição colorida RGB (WV6.2 μ m – WV7.3; IR 9.7 μ m – IR 10.8 μ m; IR6.2 μ m) no dia 5 de fevereiro de 2005 as 00:15UTC. 65
- Figura 36** - Produto gerado pela diferença dos canais multiespectrais (WV6.2 μ m – WV7.3 μ m) no horário das 00:15UTC. 67
- Figura 37** - Imagens do globo através dos canais METEOSAT para o dia 24 de outubro de 2007 às 18UTC: a) canal 9 e b) canal 5. 68
- Figura 38** - Imagens do canal 3.9 μ m do dia 24 de outubro de 2007 nos horários: a)06UTC e c)18UTC. 69
- Figura 39** - Imagens do canal 3.9 μ m do dia 25 de outubro de 2007 nos horários: a)00UTC e b)06UTC 70
- Figura 40** - Imagens do canal 3.9 μ m do dia 25 de outubro de 2007 nos horários: a)12UTC e b)18UTC 71
- Figura 41** - Imagens do canal 10.8 μ m do dia 24 de outubro de 2007 nos horários: a)06UTC e c)18UTC. 72
- Figura 42** - Imagens do canal 10.8 μ m do dia 25 de outubro de 2007 nos horários: a)00UTC e b)06UTC. 73
- Figura 43** - Imagens do canal 10.8 μ m do dia 25 de outubro de 2007 nos horários: a)12UTC e b)18UTC. 74
- Figura 44** - Composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 08.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 12:30UTC. 75
- Figura 45** - Composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 08.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 12:30UTC. 75
- Figura 46** - Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12UTC do dia 24 de outubro de 2007. a) Confins (MG), b) Galeão (RJ) e c) Campo de Marte (SP). 76
- Figura 47** - Composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; 77

IR10.8 μ m) no horário das 12:30UTC.

- Figura 48** - Recorte da imagem de composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 12:30UTC. 78
- Figura 49** - Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12UTC do dia 25 de outubro de 2007. a) Confinos em MG, b) Galeão em RJ e c) Campo de Marte em SP. 79
- Figura 50** - Os valores de diferenças ou temperatura de brilho referente as cores RGB, o que significam cada cor gerada na imagem.
FONTE: Lensky e Rosenfeld (2008). 81
- Figura 51** - Imagens em composição colorida RGB (NIR 1.6 μ m; VIS0.8 μ m; VIS 0.6 μ m) do dia 24 de outubro de 2007 às 17:45UTC. 81
- Figura 52** - Imagem em composição colorida RGB (WV6.2 μ m – WV7.3; IR 9.7 μ m – IR 10.8 μ m; IR6.2i μ m) do dia 24 de outubro de 2007 às 17:45UTC. 82
- Figura 53** - Os valores de diferenças ou temperatura de brilho referente as cores RGB, o que significam cada cor gerada na imagem. 82
- Figura 54** - Imagens em composição colorida RGB (WV 6.2 μ m – WV7.3; IR 3.9 μ m – IR 10.8 μ m; NIR 1.6 μ m – VIS 0.6 μ m) do dia 24 de outubro de 2007 às 17:45UTC. 83
- Figura 55** - Produto gerado pela diferença dos canais multiespectrais (WV6.2 μ m – WV7.3 μ m) nos horários: 17:45UTC. 84
- Figura 56** - As composições coloridas RGB das 18UTC: a) Composição RGB padrão, b) Composição RGB para massas de ar, c) Composição RGB para convecção. 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Canais do SEVIRI	26
Tabela 2 –	Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 00UTC do dia 4 de fevereiro de 2005	55
Tabela 3 –	Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 12UTC do dia 4 de fevereiro de 2005	58
Tabela 4 –	Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 00UTC do dia 5 de fevereiro de 2005	51
Tabela 5 –	Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 12UTC do dia 5 de fevereiro de 2005	64
Tabela 6 –	Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 12UTC do dia 24 de outubro de 2007	77
Tabela 7 –	Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 12UTC do dia 25 de outubro de 2007	80

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATS	Applications Technology Satellite
ATSR	Along Track Scanning Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DVB	Digital Video Broadcast
EKU	EUMETCast Key Unit
EPS	Eumetsat Polar Systems
ERS	Earth Remote Sensing Satellite
ESA	Agência Espacial Européia
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GARP	Global Atmospheric Research Programme
GOSS	Sistema Global dos Sistemas de Observação da Terra
GERB	Geostationary Earth Radiation Budget
GMS	Geosynchronous Meteorological Satellite
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GOMS	Geosynchronous Operational Meteorological Satellite
GrADS	Grid Analysis and Display
HIRS	High Resolution Infrared Sounder
HRIT	High Resolution Information Transmission
ICAT	Instituto de Ciências Atmosféricas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INSAT	Indian Satellite
IR	Infravermelho
LAPIS	Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites
LRIT	Low Resolution Information Transmission
METEOSAT	Satélite Meteorológico Geoestacionário da Agência Espacial Européia
MetOp-A	Meteorological Operational Satellite-A
MOP	Meteosat Operational Programme
MSG	Meteosat Second Generation

MVIRI	Meteosat Visible and InfraRed Imager
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NIR	Infravermelho próximo
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration's
NSS	NewSkies
NW	Noroeste
OMM	Organização Meteorológica Mundial
SBGL	Aeroporto do Galeão
SBMT	Aeroporto Campo de Marte
SC	Sistemas Convectivos
SE	Sudeste
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
SGB	Satélite Geoestacionário Brasileiro
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UMARF	Unified Meteorological Archive and Retrieval Facility
VAS	VISSR Atmospheric Sonder
VIS	Visível
VISSR	Visible Infrared Spin-Scan Radiometer
WV	Vapor de água
ZCAS	Zona de Convergência da América do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

° C	Celsius (graus)
μm	Micrômetros (10^{-6} m)
T	Temperatura
Td	Temperatura de ponto de orvalho

1 - INTRODUÇÃO:

Muitos dos eventos meteorológicos alteram o cotidiano da sociedade, como, por exemplo, eventos extremos e desastres naturais. Furacões, ciclones extratropicais, chuvas torrenciais, precipitações de granizo e chuvas contínuas influenciam e alteram, muitas vezes, o meio em que se vive. Visando a estes eventos a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criou o programa Sistema Global dos Sistemas de Observação da Terra (GEOSS) que tem por finalidade integrar e sustentar observações da Terra incluindo pesquisa e instrumentação operacional, redes de observação com sensores sobre plataformas fixas e móveis, “links” de comunicação entre plataformas que fazem medidas entre outros (SILVA, 2006).

Com o GEOSS, pretende-se que as informações meteorológicas cheguem de maneira mais ágil para a sociedade científica, a fim de que essa se organize melhor para evitar problemas mais graves, alertando a defesa civil local para que medidas contra os efeitos causados por eventos meteorológicos sejam tomadas. Com o entendimento da atmosfera e seu comportamento, alerta-se sobre enchentes e deslizamentos de terra, poupam-se perdas de vidas humanas, evitam-se grandes prejuízos na agricultura por secas, geadas e outros fatores que possam vir a danificar as lavouras. Por isso nos dias de hoje é de extrema importância o conhecimento do tempo e do clima através do monitoramento atmosférico.

Apesar de o Brasil ser membro do Conselho Executivo representando a América do Sul na cooperação do Sistema Global dos Sistemas de Observação da Terra, o país não possui satélites meteorológicos próprios, dependendo assim de informações cedidas pela disseminação de dados por meio dos sistemas EUMETCast que cobre a Europa e África, GEONETCast que cobre as Américas e outros dados observacionais.

É importante salientar que os vários sensores remotos em satélites meteorológicos que monitoram o clima e auxiliam na previsão de tempo podem ser divididos entre geoestacionários, com os quais temos informações contínuas ao longo do dia da atmosfera, pois se encontram em mesma velocidade rotacional da terra numa distância de 36.000 km, aproximadamente e, o outro, conhecido como satélite de órbita polar que auxiliam na análise de eventos meteorológicos que ocorrem nos pólos, como também, em outras regiões do planeta. Porém, para avaliar fenômenos de formação rápida e monitorar como os mesmos se desenvolvem são utilizados, os satélites

geoestacionários, por serem mais apropriados, já que alguns fornecem informações de 15 em 15 minutos como é o caso do Meteorological Satellite (METEOSAT).

A OMM é responsável pela coordenação da rede dos satélites geoestacionários, dos quais fazem parte do programa o Global Atmospheric Research Programme (GARP) os satélites das séries Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), Geosynchronous Meteorological Satellite (GMS), Geosynchronous Operational Meteorological Satellite (GOMS), Indian Satellite (INSAT) e METEOSAT. O primeiro satélite geoestacionário foi lançado em 1966 pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), denominado Applications Technology Satellite (ATS) e em 1975 foi denominado GOES. O primeiro satélite da série METEOSAT possuía uma configuração parecida com a do GOES e foi lançado em 1977.

Como já mencionado, o Brasil não possui um satélite geoestacionário e por isso são utilizados os dados fornecidos gratuitamente dos satélites geoestacionários europeus (METEOSAT) e norte-americanos (GOES), sendo necessário somente equipamento para a recepção, armazenamento e processamento das informações.

Com o desenvolvimento do primeiro Satélite Geoestacionário Brasileiro (SGB) teríamos produtos para auxiliar nas previsões de tempo e clima para monitorar um país com dimensões continentais e, assim existiria uma plataforma com os sensores de interesses para o desenvolvimento de pesquisas e elaboração de informações primordiais gerando conhecimento e entendimento do que ocorre na atmosfera sobre o Brasil. No entanto, deve-se frisar que a utilização das informações fornecidas pela EUMETSAT, organização europeia responsável pela manutenção e disseminação dos dados do satélite geoestacionário europeu, se torna de grande valia e viável para as instituições de pesquisas e setores privados que necessitam das informações do tempo e do clima pela ausência de um SGB (BARBOSA; PRIETO, 2007).

As vantagens do METEOSAT são usadas por países da América do Sul e da África, além da comunidade europeia, para o planejamento do governo e para tomadas de decisões dos setores público e privado em curto e médio prazo. Vários pesquisadores utilizam os dados derivados e as imagens para gerar informações de fenômenos atmosféricos, como tempestades de areia, tempestades severas e detecção de queimadas. Ao manipular os dados de maneira adequada, podem-se gerar mapas de vegetação, auxiliar nas previsões meteorológicas e previsões de fenômenos extremos, dos quais são essenciais às tomadas nas decisões para a segurança populacional.

Existem várias maneiras de se obter as informações das imagens de satélite, por exemplo, através da calibração, do processamento, das composições e até da álgebra dessas. Os satélites são utilizados como plataformas em que são colocados os sensores, que possuem propriedades específicas, em concordância com o objetivo a que foram desenhados. Esses instrumentos também podem ser chamados de radiômetros, já que servem para decompor a radiação incidente em diferentes comprimentos de onda, onde a intensidade relativa de energia refletida ou emitida pelo objeto pode ser medida de uma maneira contínua ao longo do tempo no espectro eletromagnético (NOVO, 1992).

De modo geral, os sensores definem os canais ou faixas no espectro eletromagnético, divididos em termais ou solares, gerando informações sobre temperatura do topo das nuvens, altura em que elas se encontram na atmosfera, se as nuvens são formadas apenas de partículas de água ou se contém gelo, mostrando assim o perfil destas e dos sistemas nos quais estão inseridas.

A bordo dos satélites geoestacionários europeus de segunda geração está o sensor Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI) que possui 12 canais espectrais no visível, infravermelho próximo e infravermelho térmico. Possuindo um canal do visível com resolução espacial de 1 km, e 11 canais com 3 km no nadir. Esse radiômetro fornece 20 vezes mais informações sobre a atmosfera do que o sensor a bordo do satélite anterior, da mesma série de plataformas, já que o antigo radiômetro possuía apenas 3 canais e isso apresenta um grande ganho para a comunidade científica.

As imagens de satélite têm sido cada vez mais usadas para analisar a convecção em fenômenos meteorológicos, ou seja, com as imagens é possível analisar o potencial convectivo e assim acompanhar a formação e dissipação de eventos meteorológicos. Nos canais infravermelhos com a temperatura de brilho é possível caracterizar diferentes estágios de evolução da convecção (CARCALHO; MASSAMBANI, 1990).

Para analisar as informações obtidas através das imagens do sensor SEVIRI a bordo do satélite Europeu Meteosat Second Generation (MSG), foram utilizados dados reais retirados de radiossondagens, sendo também utilizados dados obtidos do National Centers for Environmental Predictions (NCEP), dos Estados Unidos, para gerar campos das variáveis meteorológicas.

A região de estudo escolhida foi o sudeste brasileiro, pois desperta grande interesse da comunidade científica pelo clima diferenciado e por ser uma região que sofre grandes influências de fenômenos meteorológicos específicos que geram um

impacto enorme para a sociedade. O clima dessa região, por situar-se nos sub-tropicais, corresponde a uma faixa de transição entre duas regiões de diferentes comportamentos climáticos: clima quente de uma região semi-árida ao norte (Região Nordeste do Brasil) das latitudes baixas e ao sul, um clima mesotérmico do tipo temperado (Região Sul do Brasil) das regiões das latitudes médias (BARBIERI et al., 2004).

A região possui uma topografia acidentada devido à presença das serras da Mantiqueira e do Mar, que em alguns pontos podem ultrapassar a 2000 metros acima do nível do mar. Essas montanhas geram efeitos orográficos que auxiliam na formação de chuvas. A associação de sistemas sinóticos de circulação e a orografia da região geram um aumento na quantidade de precipitação da mesma (JUSTI DA SILVA; SANTOS, 1994).

Na análise meteorológica da região, deve-se levar em consideração não só o efeito causado pelas montanhas, mas também a umidade proveniente da Floresta Amazônica. Os principais eventos que causam chuvas intensas e contínuas nessa região são a Zona de Convergência da América Sul (ZCAS) e sistemas frontais que ao se deslocarem para a região podem permanecer semi-estacionários por alguns dias. Outros eventos são o El Niño – Oscilação Sul (ENOS) e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs).

O sudeste é a região mais industrializada e mais desenvolvida economicamente do país, nela situa-se o maior porto do Brasil na cidade de Santos, no Estado de São Paulo. É a região que possui a maior população e a cidade com maior número de habitantes, São Paulo, com mais de 10 milhões seguidas de Rio de Janeiro e de Belo Horizonte. O crescimento desordenado dessas cidades gera grandes problemas para sociedade como desemprego, falta de moradia e desigualdade social. Por isso, o impacto de eventos severos nesta região é tão grande e gera muitos prejuízos para a economia do país.

Neste trabalho, motivado pela ocorrência de chuvas fortes que causaram danos à população da região Sudeste nos dias 4 e 5 de fevereiro de 2005 e 24 de outubro de 2007, foram realizados estudos de caso de eventos de tempestades severas, com o intuito de avaliar as características espectrais dos topos de nuvens associadas com estas tempestades. Essa motivação ocorreu tendo em vista que ambos os casos se caracterizaram pela presença de sistemas de baixa pressão muito profundos, desde os baixos níveis até a alta troposfera, atuando principalmente sobre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Neste contexto, a utilização dos canais multiespectrais do

Meteosat Segunda Geração permite extrair informações meteorológicas valiosas para o entendimento de diversos processos associados a tempestades severas, como ocorreu nos dois casos citados.

O objetivo geral do presente trabalho é mostrar a relevância que as características espectrais obtidas, a partir das propriedades físicas das nuvens, medidas por imagens do MSG, têm na previsão imediata de tempestades severas. A hipótese deste trabalho é a de que as características espectrais obtidas, a partir das propriedades físicas das nuvens, medidas por imagens MSG, possam auxiliar no conhecimento de eventos e aprimorando informações do mesmo para pesquisa. Os objetivos específicos são:

- Mostrar a estrutura dos dados do SEVIRI no nível 1.5 (produto bruto) partindo da recepção até o processamento destes.
- Verificar as características espectrais dos topos de nuvens associadas com tempestades e indicar as imagens de satélites meteorológicos como um potencial para análise convectiva na atmosfera.
- Analisar as imagens através de composições e subtração com os canais do MSG, gerando produtos e informações qualitativas e quantitativas.

A seguir foi descrito o conteúdo dos demais capítulos que fazem parte deste trabalho:

- *CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:* Neste capítulo, é abordada a revisão bibliográfica e mostra-se o embasamento teórico para a metodologia utilizada nesta pesquisa.
- *CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS:* Neste capítulo, são descritos os dados usados para os dois estudos de casos e a metodologia empregada partindo da recepção dos dados pela antena e a obtenção pelo acervo de imagens da EUMETSAT até a calibração radiométrica e as informações geradas dos canais multiespectrais. Também é mostrada a região de estudo neste capítulo.
- *CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES:* São apresentados os resultados e discutidos os dois estudos de casos através das imagens multiespectrais e de técnicas de composições com as imagens.

- *CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES*: São realizadas as principais considerações sobre as conclusões retiradas durante o desenvolvimento deste trabalho como as informações geradas pelas diferenças de canais multiespectrais e composições RGB.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, foram apresentados alguns trabalhos que deram o fundamento teórico para a metodologia utilizada nesta pesquisa. Foram indicadas também algumas técnicas, utilizando os canais multiespectrais para extrair informações sobre os sistemas convectivos profundos.

2.1 - A importância do estudo dos fenômenos meteorológicos e da Meteorologia

A Ciência Atmosférica vem se tornando, ao longo do tempo, uma das ciências mais discutidas e de extrema importância para a sociedade, pois está diretamente relacionada com o bem-estar e atividades sócio-econômicas do homem. Este depende diretamente da influência do clima e dos fenômenos meteorológicos. Um exemplo é o tempo severo, que pode ser particularmente destrutivo, tanto para o homem como para os habitats naturais. Associados a tempo severo, estão às tempestades, ventanias, rajadas, pancadas de chuva e granizo.

O principal para compreender os processos que levam ao tempo severo, auxílio à previsão do tempo e entender o balanço de radiação seria o detalhamento da microfísica das nuvens, convecção profunda e os eventos aos quais estão envolvidas (WALLACE; HOBBS, 2006).

Entender como funcionam os processos dentro das nuvens, sua movimentação ou o que a influencia na formação de uma tempestade severa ou de um evento extremo é de fundamental importância, já que a convecção profunda está relacionada com grande quantidade de energia e faz com que as nuvens tenham um grande desenvolvimento vertical. Para Rogers (1977), a explicação da formação das nuvens, seu desenvolvimento e as precipitações estão no vapor d' água e seus efeitos termodinâmicos, nos processos básicos de mistura e convecção, na formação e crescimento de cristais de gelo, nos temporais violentos e granizo, nos modelos numéricos das nuvens.

Na América do Sul, muitos dos casos estudados sobre a microfísica das nuvens e, principalmente, sobre convecção profunda, no que ela implica e como se origina, foram realizados na Amazônia, entre esse pode-se citar Stith et al (2002) que fizeram comparação de três casos de tempestades na Amazônia (26 de Janeiro, 17 e 23 de fevereiro de 1999), com dois de Kwajalein que fica localizado na República das Ilhas Marshall no oceano Pacífico (17 e 22 de Agosto de 1999) e mencionam o movimento

ascendente dentro das nuvens. Apesar de serem regiões distintas, eles encontraram várias similaridades nas características da microfísica das nuvens na Amazônia e em Kwajalein. Em ambos os casos, um forte “updraft” (refere-se à ascendência do ar) que é maior do que 5 m s^{-1} pode conter alta concentração de pequenas gotículas de água ou pequenas partículas de gelo quando comparado com os “updrafts” mais fracos. E isto é válido tanto para “quentes” ou “frias” porções de nuvens.

Seguindo os estudos sobre convecção, Siqueira et al (2004), apresentam uma descrição das propriedades de nuvens e precipitações nos sistemas convectivos interligados com a propagação meridional na América do Sul, na época da estação úmida, entre 1998 e 2000. Encontraram três tipos de propagação meridional de convecção e que esse modula a nebulosidade convectiva e regimes de chuva fortemente em cima da América do Sul. Mostraram, também, diferenças estruturais significantes entre os sistemas convectivos durante os seus estágios intensos de desenvolvimento convectivo.

Acreditava-se que todos os eventos meteorológicos ocorriam somente na troposfera, mas atualmente algumas pesquisas que estão sendo desenvolvidas consideram, que com a convecção intensa, existe a possibilidade de transporte de vapor d’ água para a estratosfera, fazendo com que as nuvens mais profundas possam alcançar a tropopausa e até a estratosfera inferior. Wang (2003) tenta explicar, mostrando como o vapor de água chega à baixa estratosfera na tempestade do dia 2 de agosto de 1981, na Região Sudeste de Montana localizado nos Estados Unidos da América. Concluiu que, quebrando as ondas da gravidade, o topo de nuvens pode possibilitar a injeção do vapor de água da nuvem para dentro da estratosfera em forma de plumas acima de uma bigorna de tempestade. Revelou, também, que são dois tipos de plumas, “folha de bigorna” plumas e “overshooting” plumas. Em seu recente estudo, no ano de 2007, ele faz uma avaliação da estrutura termodinâmica do topo da tempestade e a formação da pluma acima da bigorna da tempestade. E mostrou que ambos, a pluma e o fenômeno de injetar vapor de água na estratosfera são produzidos não apenas pela quebra de onda da gravidade como por alta instabilidade atmosférica.

O conhecimento da influência de alguns fenômenos atmosféricos sobre a oscilação da variabilidade da cobertura de nuvens é de grande valia já que os mesmos devem estar relacionados à convecção na Amazônia Central, (Alves et al (2007), analisaram o que mais contribuem para variabilidade, e verificaram se há modificações nas oscilações em anos de El Niño e La Niña. Os maiores desvios interanuais foram

obtidos para a cobertura de nuvens altas, indicando que os processos associados à convecção são aqueles que mais sofrem influências interanuais. As frentes frias que alcançam a janela de 10° de longitude e $2,5^\circ$ de latitude centrada em Manaus, podem favorecer ou induzir a convecção no local, atuando como forçantes das oscilações.

2.2 - Chuva intensa e evento extremo

Chuvas intensas não são tão raras de acontecerem e provocam grandes problemas para a sociedade, diferenciando-se de um evento extremo que é considerado um evento raro de acontecer para uma determinada região devido à referência estatística encontrada na literatura. Ou seja, o que for extremo para uma determinada região não necessariamente será para outra, pois os regimes dos fenômenos meteorológicos que influenciam os eventos nessas regiões são diferentes ou, pelo menos, as suas influências têm proporções diferenciadas.

Associados eventos extremos de chuvas intensas, estão as tempestades severas que são estudadas no mundo inteiro. Nos Estados Unidos, alguns fenômenos associados a essas tempestades foram analisadas como é o caso da formação do padrão (“em forma de V”) conhecido também como “V-Shaped”. Alguns pesquisadores, como Negri (1982), estudaram a estrutura do topo da nuvem de tornados das tempestades em Wichita Falls, Texas, no dia 10 de abril de 1979. Heymsfield et al (1983) fizeram uma análise da formação do “V-Shaped”, estudando uma tempestade severa, em 2 de maio de 1979. Já, Heymsfield e Blackmer (1988) sugeriram nove sistemas de convecção diferentes e de diferentes estruturas de 1979 a 1982 para descrever o fenômeno. Eles fizeram algumas comparações, das quais podemos mencionar, entre o que foi observado e um modelo dinâmico das nuvens; a relação entre a extensão da bigorna da tempestade e a intensidade do *updraft*. O fenômeno foi marcado por todas as tempestades, exceto numa. Segundo Adler et al (1985), o “V-Shaped” possui uma estrutura fria com pontos quentes, que podem ser correlacionados com relato de tempo severo como pode ser visto no modelo conceitual na figura 1.

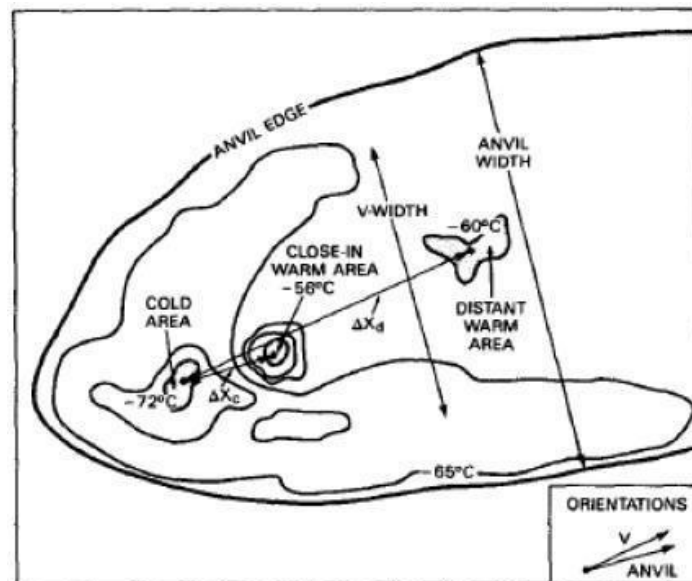


Figura 1 – O modelo conceitual de tempestades em forma de V.

Fonte: Heysfield e Blackmer (1988).

Já, no Brasil, existem alguns estudos que identificaram os sistemas meteorológicos responsáveis por precipitações intensas. A maioria aponta para sistemas como ZCAS na Região Sudeste, aglomerados convectivos (sistemas convectivos de mesoescala) na Região Sul e linhas de instabilidades nas Regiões Norte e Nordeste, como responsáveis pelos episódios de chuvas fortes. Precipitações intensas e fenômenos adversos na Região Sudeste, geralmente, são ocasionados pelas zonas frontais, Zona de Convergência América do Sul (ZCAS) e por Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Por isso, a importância de estudar esses fenômenos, a ocorrência deles na região e como se formam. Como proposto por Santo e Satyamurty (2002), chuvas intensas e ventos fortes no Brasil estiveram associados a sistemas convectivos de mesoescala. E, também, comentaram que, nessa região, os sistemas meteorológicos de mesoescala estão embutidos nos movimentos atmosféricos da escala sinótica que é o caso das bandas frontais e ZCAS.

Na Região do Nordeste Brasileiro, segundo Fedorova et al (2004), uma perturbação ondulatória nos ventos dos Alísios com o desenvolvimento de um complexo convectivo de mesoescala (CCM) pode provocar precipitações muito intensas como foi o caso do dia 12 de Junho de 2002 no Estado de Alagoas. Para chegar a essa conclusão, os autores mostraram a importância na Meteorologia da utilização da radiossondagem para verificar a instabilidade atmosférica, os satélites meteorológicos

para identificar os padrões do CCM e os campos sinóticos para mostrar os movimentos atmosféricos.

2.3 – O papel dos sistemas de escala sinótica

Segundo Fedorova (2008a), a análise meteorológica engloba a avaliação das causas da formação e a análise dos fenômenos associados, descrevendo os principais problemas da Meteorologia Sinótica e informações importantes para o estudo dessa ciência, da qual podemos destacar, para o presente estudo, a análise das nuvens, usando, linhas de instabilidade e convecção.

Conhecer o regime de circulação da região facilita muito a compreensão do que leva a formação da precipitação intensa. Para Jourdan et al (2008), a Região Sudeste do Brasil apresenta dois regimes de circulação bem diferentes durante o ano. Entre o outono e o inverno, essa Região tem como sistemas meteorológicos mais significativos, as frentes frias que vêm do sul do continente. No entanto, nessa época do ano, esses sistemas não conseguem provocar muita precipitação, pois dispersam grande parte de sua energia em regiões de latitudes mais altas, chegam geralmente enfraquecidos e encontram pouco conteúdo de umidade no ar. Já, na primavera e verão, quando o componente termodinâmico ganha importância, a combinação dos componentes dinâmica e termodinâmica potencializa as condições de ocorrência de tempo severo. Nessas estações, os fenômenos de natureza convectiva adquirem relevância devido ao intenso aquecimento da superfície e ao elevado teor de umidade do ar.

Segundo Ferreira et al (2004), a Zona de Convergência da América do Sul tem um papel fundamental no regime de chuvas na região em que atua, e acarreta altos índices pluviométricos. A ZCAS é um fenômeno típico de verão na América do Sul. Sua principal característica é a persistência de uma faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE), cuja área de atuação engloba o centro sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do Estado do Paraná e prolongam-se até o Oceano Atlântico sudoeste. Caracterizando os casos de ZCAS com: a) permanência de uma banda de nebulosidade por no mínimo 4 dias, estendendo-se do sul da Amazônia até o Oceano Atlântico sudoeste; b) convergência de umidade na baixa troposfera, c) penetração de ar frio ao sul da banda de nebulosidade; d) presença de um cavado a leste da Cordilheira dos Andes, associado a movimentos ascendentes orientado na direção noroeste sudeste em 500 hPa; e) presença da Alta da Bolívia em altos níveis e um cavado sobre a Região Nordeste do Brasil ou em

determinadas situações um vórtice ciclônico e f) uma faixa de vorticidade anticiclônica em altos níveis. O acompanhamento dessa nebulosidade pode ser feito pela as imagens de satélite.

O clima dessa região é bem variado no que se refere à temperatura, por três fatores fundamentais: a posição latitudinal, a topografia acidentada e a influência dos fenômenos atmosféricos.

Vários autores tentam evidenciar o que influência na ocorrência das chuvas nesta região, Ferreira (2005); Alves et al (2002); Barbieri (2005). Os fenômenos mais evidentes são a ZCAS e as bandas de nebulosidade associadas a frentes frias. Essas frentes frias são as mesmas que atingem o sul do país só que ao chegarem à região sudeste, elas possuem diferenças em termos de intensidade e sazonalidade do sistema. Outros eventos que podem influenciar a distribuição de chuva para a região são o El Niño e complexos convectivos de mesoescala.

O regime anual de precipitação é sazonal com dois períodos: estação chuvosa (novembro a abril) e a estação seca (maio a outubro), com um total de chuva média anual que varia entre 1500 e 2000mm. Nessa região, se observa que 50% ou mais da chuva anual ocorre durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro; nos meses de março, abril e maio apresentam menos de 20% desta; durante os meses de junho, julho e agosto são menores que 5% da chuva anual; a quantidade de chuva começa a aumentar até 25% nos meses de setembro, outubro e novembro.

Lemos e Calbete (1996) observaram as frentes durante os anos de 1987 a 1995 que atuaram no litoral. Lembrando que a influência mútua entre a convecção tropical e os sistemas frontais ocorrem geralmente na faixa entre 20° S e 35° S quando estes sistemas se encontram nessa faixa, eles identificaram que, nos meses entre abril a junho e setembro a novembro, a média foi de três sistemas atingindo as latitudes de 25°S-20°S (denominada de (Banda C)).

2.4 - O uso do Sensoriamento Remoto para estudar esses fenômenos

O Sensoriamento Remoto da Atmosfera é uma técnica em que se acompanha a movimentação do fluxo atmosférico e o comportamento de certos sistemas. Para Kidder e Vonder Haar (1995), a proposta da interpretação das imagens de satélites meteorológicas é para relatar os traços significantes nas imagens para os processos físicos que estão ocorrendo ou que já tiveram ocorrido dentro da atmosfera. O simples fato de ter uma nuvem na imagem pode induzir a várias conclusões. O mecanismo

poderia ser mecanismo de levantamento, poderia ser convecção devido ao aquecimento. A nuvem poderia ser um resíduo de uma massa de nuvens que deve ter sido advectada longe do seu ponto de origem. A interpretação das imagens pode nos dar alguns indícios para ajudar na identificação dos mecanismos. Esse conhecimento pode ajudar a entender o estado hidrodinâmico atual ou futuro da atmosfera.

Ao longo dos anos, essa técnica tem sido de primordial importância para estudar os eventos da Meteorologia. Pode-se mencionar alguns pesquisadores como Adler e Fenn (1979a) que utilizaram canais no infravermelhos de um satélite geosincronizado (SMS 2) no dia 6 de Maio de 1975 para estudar taxas de crescimento verticais de temporais e estrutura do topo de nuvens em relação à ocorrência de tempo severo (tornados, granizo e ventos fortes), fazendo o acompanhamento de relatos de tornados. Seguindo essa linha de pesquisa, em 1979b, os mesmos autores usaram imagens do canal do infravermelho do satélite geosincronos SMS/GOES com um intervalo de 5 minutos entre imagens para calcular a taxa de ascensão do topo de temporais no estudo de caso de dois dias. Em 1981, examinaram 11 casos de temporais com respeito a temperatura do topo de nuvem (altura) e variações relativo ao tempo em que os tornados tocam ao chão. Em 8 dos 11 casos, há um período de ascensão do topo da nuvem rápida de 30-45 minutos antes do tornado tocar o chão. Nos três casos restantes, a ascensão de topo da nuvem é evidente nos dados de satélite no tornado tocando ao chão. Adler e Fenn (1981) utilizaram imagens do canal do visível, também de satélites geosincronos e fizeram uma comparação entre esses dados e dados do radar Doppler. Evidenciaram as características antes da formação dos tornados.

Utilizando também o canal do infravermelho do METEOSAT, Machado et al (1992) mostraram as características de sistemas de convecção profunda sobre o Oceano Atlântico e Oeste da África. Segundo os autores a técnica utilizada nessa pesquisa é de grande utilidade na parametrização de nuvens convectivas em modelos de circulação geral. Isso sugere que os dados de sensoriamento remoto não são apenas como uma ferramenta para ser utilizada individualmente como também em auxílio ou servindo de dados de entrada para modelos.

Além do processamento das imagens, existem algumas técnicas que auxiliam o conhecimento do desenvolvimento do sistema, como realce físico na estimativa de altura das nuvens. Dois tipos de realce físico são comuns e exibidos em “loop” e tridimensional. Segundo Novo (1992), as técnicas de processamento de imagens digitais podem ser classificadas em três conjuntos: técnicas de processamento (preparação de

imagens), técnicas de realce (manipulação de contraste) e técnicas de classificação. As técnicas de préprocessamento referem-se ao conjunto de programas que permitem a transformação de dados digitais brutos em dados corrigidos radiométrica e geometricamente. A correção dos efeitos atmosféricos (remoção de bruma) é, também, uma operação típica de técnicas de préprocessamento.

Alguns pesquisadores avaliaram a altura das nuvens usando observações estereoscópicas de nuvens e suas mudanças temporais por meio de dois satélites com imageadores geosincronizados simultaneamente. Hasler (1981), por exemplo, fez medições “estéreas” de alturas, por causa da boa resolução horizontal e dependência de relações geométricas de fácil entendimento, representando uma grande melhora sobre técnicas anteriores usando a base infravermelha. Essas observações estéreas foram aplicadas a problemas de Meteorologia, incluindo contorno de altura do topo de nuvens com intensa convecção em furacões e tempestades severas; estimativa do topo e da base das nuvens pela atribuição da altitude do vento nas nuvens; perfil da temperatura atmosférica através da combinação da altura “estérea” e da temperatura do topo das nuvens pelo infravermelho e determinação da emissividade das nuvens.

Com a mesma ferramenta mencionada anteriormente, Mack et al (1983) mediram a altura de topo das nuvens pela estereoscopia do GOES num curto intervalo (3 minutos) destes dados para 2-3 de Maio de 1979 no caso SESAME especificamente medir a altura do topo de nuvens no crescimento de tempestades em função do tempo. O contorno de altura estereoscópica é comparado com as temperaturas padrões do topo de nuvens observadas no infravermelho com tempestades intensas e usadas para avaliar diversas teorias da causa das assinaturas infravermelhas do “V-Shaped”.

2.5 - Sensoriamento Remoto e técnicas de processamento

Segundo Centeno (2004), o conhecimento do espaço onde o ser humano vive e desenvolve suas atividades constitui a base para o aproveitamento dos recursos naturais e desenvolvimento da sociedade. Nesse contexto, novas tecnologias trouxeram a possibilidade de ampliar a capacidade do ser humano de enxergar o meio ambiente, das quais podemos destacar a fotografia e o desenvolvimento de câmeras acopladas em aviões e posteriormente satélites. E, assim, surgiu o Sensoriamento Remoto. Em sua pesquisa, ele fez menção a algumas definições, mas da ênfase ao de Swain e Davis (1978), que restringem Sensoriamento Remoto aos procedimentos destinados à

obtenção de imagens, mediante o registro das variações gravimétricas, ondas sísmicas, ondas acústicas e energia eletromagnética constante.

Dos sensores remotos existentes, os mais utilizados na Meteorologia são o satélite de monitoramento do tempo e radares meteorológicos. Isso porque as informações que eles fornecem referem-se ao estado no qual se encontra a atmosfera e por disponibilizar essas informações continuamente, num intervalo de tempo curto. Os satélites de monitoramento de órbita polar, que também são chamados de heliosíncronos, por manterem constante a sua posição angular relativa ao Sol. Esses satélites oferecem observações da Terra, para uma mesma região, a partir das passagens desses satélites que se repetem a cada doze horas. Quando se dispõe de dois satélites, o intervalo se reduz para 6 horas. A Figura 2 mostra os satélites em órbita tanto os geoestacionários como os de órbita polar.

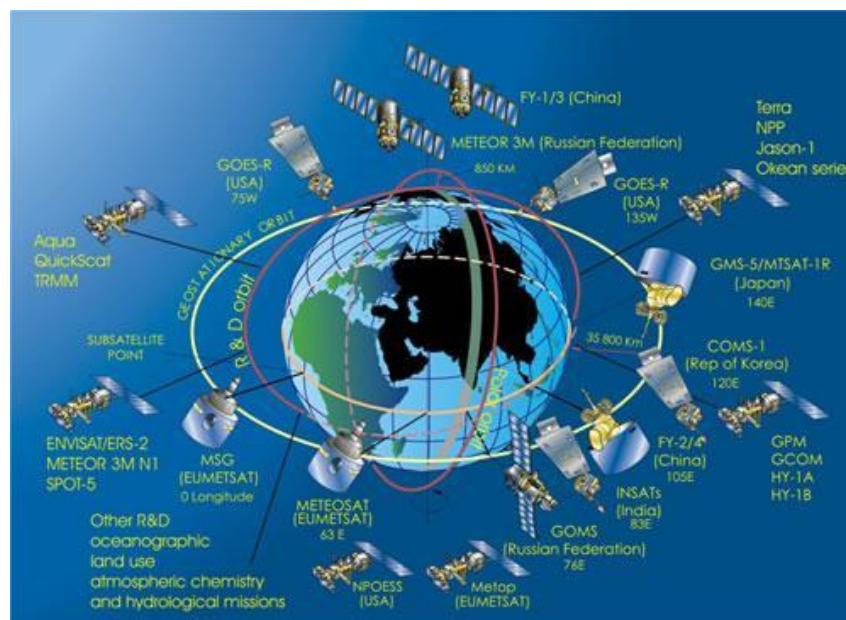


Figura 2 - Satélites meteorológicos em órbita. Fonte: Instituto de Meteorologia, IP Portugal, 2008.

Como mencionado por Conforte (2002), os satélites geoestacionários recebem esse nome, pois aparentemente eles estão fixos em relação a um mesmo ponto na superfície terrestre e ficam localizados a 36.000 km, aproximadamente, acima desta. Já os satélites de órbita polar ficam posicionados a aproximadamente 700 e 800 km acima da Terra. Uma diferença relevante entre eles é que o satélite geoestacionário tem uma cobertura melhor da região analisada pela relação da altitude em que ele se

encontra, mas, em compensação, o satélite de órbita polar monitora mais detalhadamente as regiões polares.

Atualmente, os satélites geoestacionários da série METEOSAT possuem uma resolução temporal de 15 minutos e proporcionam observações multiespectrais de mudanças rápidas nos fenômenos de convecção profunda e também auxiliam na análise de campos dos ventos que são obtidos a partir do deslocamento de nuvens e vapor de água, além de dar capacidade de detectar a instabilidade e a mudança da microfísica das nuvens com o tempo (SCHMETZ, 2007).

Em 1977, a Agência Espacial Europeia (ESA) deu início a série METEOSAT que hoje é mantida pela Organização Europeia de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT Europe's Meteorological Satellite Organization), que é uma organização intergovernamental, da qual fazem parte dezoito países europeus. O último satélite lançado até o momento dessa série foi o METEOSAT 9, em dezembro de 2005 conhecido também como METEOSAT de Segunda Geração (METEOSAT Second Generation – MSG2). Nos satélites de segunda geração, foram colocados a bordo os radiômetros SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) que é um imageador de alta rotação no visível e infravermelho e o radiômetro GERB (Geostationary Earth Radiation Budget), que serve para estimar o saldo de radiação terrestre.

O SEVIRI, que é sensível à radiação visível e termal, em diferentes bandas do espectro, é um radiômetro que varre a superfície da Terra, linha por linha, e cada linha consiste de uma série de elementos de imagem ou pixels. Para cada pixel, o radiômetro mede a energia radiativa de uma determinada banda espectral. Essa medição é digitalmente codificada e transmitida para a estação terrena. O SEVIRI possui 12 canais espectrais com resolução espacial de até 1 km e fornece dados primordiais para uma série de aplicações no que diz respeito à previsão de condições meteorológicas ao monitoramento do clima e do ambiente (ALVALÁ, 2006).

2.6 - Utilização dos canais multiespectrais nos eventos severos

Atualmente, o método multiespectral tem sido aplicado com os dados de satélite do National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA), Terra, GOES e METEOSAT para detecção e estudo da estrutura do topo de nuvens. Nos últimos anos, diferentes autores fazem o uso de propriedades espectrais das imagens de satélites

tendo como o foco o estudo eventos severos. As análises multiespectrais têm se mostrado de fácil compreensão para representar essas estruturas através dos primeiros dados do infravermelho do satélite geoestacionário.

Alguns cientistas usaram as técnicas relacionadas aos canais espectrais para estudar um evento severo como McCann (1983) que estudou o realce na imagem infravermelho do satélite a tempestade severa que mostra uma mancha quente acompanhada por uma assinatura do "Enhanced-V". Ele acreditava que um alarme infundado era a razão de fazer essa técnica de identificação uma potencial ferramenta advertência de tempestade severa.

Segundo Setvák (1989), o número de métodos baseados em dados de satélites vindos dos canais 10-12.5 μm tem sido desenvolvido com o propósito de estimativa da intensidade de vários fenômenos meteorológicos ele faz menção ao critério para estimativa de intensidade da precipitação (e.g. BARRETT, 1985; YAMASHITA et al., 1981), critério definindo dos complexos convectivos de mesoescala (MADDOX, 1980), ou a descrição de um distinto padrão de temperatura do topo de nuvens de uma área de tempestades severas (FUJITA, 1981), mas que não tem se dado o devido valor a utilização do canal 3 do sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), para as nuvens os valores da refletividade no canal 3 dependem a maior parte de toda composição da microfísica do topo das nuvens. Foi desenvolvido um método para avaliação da reflectividade no canal 3. Esse método foi usado em pesquisa da tempestade convectiva e para a detecção da cobertura de neve.

Setvák e Doswell (1991) utilizaram em sua pesquisa o sensor AVHRR que está a bordo do satélite de órbita polar NOAA e produz imagens de boa resolução (resolução de 1.1 km no Nadir) na banda de 3.55 - 3.93 μm , denominado canal 3. A característica dos dados da reflectividade no canal 3 é completamente diferente do visível (canal 1, 0.58-0.68 μm) e na janela espectral do infravermelho próximo (NIR-canal 2, 0.725-1.1 μm), por exemplo, o comportamento do gelo na janela do canal 3 é muito parecido a um corpo negro (i.e., um albedo próximo de zero). As tempestades mostraram um crescimento de reflectividade do topo de nuvens que estavam ligadas as propriedades físicas do topo de nuvens convectivas. Algumas foram relacionadas entre a assinatura espectral do topo de nuvens e a severidade da tempestade, especialmente quando considerado para granizo.

Levizzani e Setvák (1996) utilizaram imagens do mesmo radiômetro mencionado nos canais 2, 3 e 4 e uma combinação entre esses canais sugerindo a

relação entre o surgimento e a origem de pequenas partículas de gelo (diâmetro de 37 μm , canal 3 onda eletromagnética) do topo de nuvens. Foram feitas observações de tempestade de convecção profunda sobre a Europa.

Segundo Schmetz et al (2002) e Prestelo (2008), a escolha das faixas no espectro eletromagnético da maioria dos canais espectrais do SEVIRI foi estabelecida com o conhecimento de outros satélites, como o AVHRR do NOAA, Along Track Scanning Radiometer (ATSR) a bordo do Earth Remote Sensing Satellite (ERS), High Resolutio Infrared Sounder (HIRS) do NOAA e VISSR Atmospheric Sonder (VAS) do GOES, onde VISSR é Visible Infrared Spin-Scan Radiometer . Isto facilita a utilização das observações do SEVIRI, pelo conhecimento do comportamento dessas bandas em relação a atmosfera, e por fornecer informações sobre a instabilidade atmosférica.

Segundo Schmetz et al (1997), a temperatura de brilho das nuvens de convecção profunda ou “overshooting” pode ser maior no canal de vapor de água do que no canal infravermelho. A essa conclusão eles chegaram analisando simultaneamente os dois canais coletando imagens de ambos de meia em meia hora do satélite da primeira Geração da Eumetsat o Meteosat – 5 do sensor Meteosat Visible and InfraRed Imager (MVIRI). Neste artigo é encontrado que sobre os topos de nuvens de altos níveis a temperatura de brilho no canal do vapor de água (WV) pode ser maior que no canal infravermelho (IR) tanto quanto 6 - 8 K, e também, que a diferença pode ser positiva sobre o topo frio da nuvem de todas as latitudes.

Para esta diferença de resposta de temperatura de brilho entre os canais de vapor de água e do infravermelho, Ottenbacher e Schmetz (1994) encontraram uma plausível explicação examinando os efeitos do espalhamento da radiação por partículas de gelo e encontraram que nuvens consistentes puramente de pequenas partículas de gelo (aproximadamente 4 μm de raio) tem a temperatura de brilho na banda WV (T_{WV}) maior que a temperatura no IR (T_{IR}) devido ao alto espalhamento do albedo na banda WV. De qualquer maneira, isto é mais do que satisfatório para a inclusão da realidade da absorção do vapor de água dentro da nuvem.

Com a observação dos canais infravermelho e vapor de água, pode-se fazer uma análise mais aprimorada da previsão de chuva através de seqüências das imagens. Rivera Amores (2001) utiliza uma seqüência de imagens e verifica as regiões propícias a precipitações através de um padrão da diferença de temperatura nos pixels em dados com o intervalo de 30 minutos no METEOSAT de Primeira Geração.

Já Barbosa e Ertürk (2009) fizeram uma análise parecida com a de Schmetz et al (1997) para os Satélites de Segunda geração da EUMETSAT tendo como objetivo principal do trabalho investigar a distinção espectral da assinatura do topo das nuvens identificado pelo radiômetro SEVIRI-METEOSAT-9 tendo como foco principal o estudo de convecção profunda ocorrida no fenômeno que será analisado nesta dissertação no Sudeste Brasileiro. Os autores acreditam que esta avaliação foi de grande importância para analisar o tempo e outro ponto relevante é a assinatura do topo das nuvens esta associada com tempestades severas. Para determinar a radiância obtida nos topos das nuvens através dos canais do radiômetro SEVIRI eles seguiram duas hipóteses; 1) as nuvens são cumulonimbus e por isso podem ser consideradas opticamente grossas; 2) elas são consideradas corpos negros.

Em estudos mais recentes, como Setvák et al (2007), constatam que a extração de propriedades multiespectrais para reconhecer a estrutura V-Shaped nas imagens MODIS é de grande importância. Isto serviu de base para análises da temperatura de brilho (T_b) para identificar os pontos de origem do ar frio e do ar quente. Como resultado da análise do topo das nuvens, eles conseguiram reconhecer uma área termal fria "V-Shape" e uma área quente "U-Shape". Já Brunner et al (2007), chamam este fenômeno também de "Enhanced-V". E sua pesquisa investiga a característica do "Enhanced-V" observada com imagem de satélite de 1 km de resolução como uma ajuda para prever e advertir os tempos severos comparando com o estudo de McCann (1983) do mesmo tipo de fenômeno. Calcularam estatísticas de verificação como a probabilidade de descoberta, falsa relação de alarme, e índice de sucesso crítico e, também, compararam a importância de ventos de altos níveis para ocorrência de tempo severo com os parâmetros quantitativos de características do "Enhanced-V".

No Brasil, pesquisas feitas utilizando as informações dos canais multiespectrais têm sido realizadas há algum tempo como por Ferreira et al (1988) que utiliza informações de três canais (7, 8, 10) do sondador atmosférico VAS (VISSR Atmospheric Sounder- Sondador Atmosférico VISSR) do satélite GOES, por serem canais de informações a respeito da umidade na baixa troposfera: o canal 7 em 12,67 μm , detecta a radiação emitida pelo H₂O na baixa troposfera; o canal 8 em 11,1 μm , situado na janela em ondas longas, traz informação sobre a umidade próximo do solo e o canal 10 em 6,73 μm , por sua vez, foi configurado para prover informações sobre o vapor de água na camada centrada em 400 mb. A água precipitável foi calculada para 3 casos (287 sondares) em latitudes médias nos Estados Unidos da América e para 1 caso

em região tropical úmida (Amazônia) e comparados com dados obtidos por radiossondagens coincidentes e simultâneas. O número reduzido de radiossondagens para a região Amazônica impossibilitou comparações como as realizadas para os casos de latitudes médias. Os resultados superestimam ligeiramente os valores de água precipitável. Porém os autores acreditam que este tipo de técnica possibilita detectar quase que de forma contínua a evolução do conteúdo de vapor de água nos trópicos.

Outra pesquisa utilizando a mesma série de satélites geoestacionários foi a de Machado et al (1992) que analisou o ciclo de vida e as trajetórias de sistemas convectivos através do canal infravermelho do GOES-12. Conclui que os sistemas convectivos são responsáveis pela maior parte da precipitação nos trópicos e em algumas latitudes médias durante o verão.

Como proposto por Bottino et al (2003), é apresentado um método simples de classificação e identificação de sistemas convectivos (SC) profundos em imagens multiespectrais do satélite geoestacionário GOES-8, baseando-se na diferença de temperatura de brilho nos canais do vapor de água (WV; 6,7 μm) e do infravermelho termal (IR; 10,5 μm). O método permite estimar o número e tamanho dos SC presentes numa cena de satélite. Este estudo foi aplicado para um conjunto de imagens com intervalo de 3 horas no período de 1 de janeiro de 1998 a dezembro de 2000 sobre a faixa tropical da América do Sul. Os autores acreditam que este método pode ser utilizado para o monitoramento de sistemas convectivos de grande escala como ZCAS e o ciclo diurno de agrupamentos de sistemas convectivos e concluíram também, que regiões com intensas precipitações anuais estão associados à maior frequência de sistemas convectivos.

Para Bottino e Ceballos (2000), é interessante caracterizar a nebulosidade sobre um local baseando-se em imagens de satélite, mas utilizando-se de um "método objetivo", o que permite eliminar o processo "subjetivo" de análise de cenas visualizadas. Em particular, a nefanálise, baseada num único canal (ou mesmo em mais canais), requer o trabalho de um técnico com experiência nesse tipo de identificação. Uma nuvem baixa é de difícil identificação no canal do infravermelho, pois a sua temperatura está muito próxima da temperatura da superfície terrestre. Já, nuvens altas como as nuvens cirros finas não são muito visualizadas no canal visível, mas são capazes de ocultar a radiação térmica proveniente dos níveis inferiores, e, portanto, contrastando nas imagens infravermelhas. Neste trabalho, foi desenvolvido um método de classificação de alvos em imagens GOES 8, baseado no uso de quatro variáveis:

reflectância (canal 1) e temperatura de brilho (canal 4), e suas respectivas texturas (variâncias locais). A aplicação das imagens foi para o Sul-Sudeste do Brasil e permitem que estas imagens sejam utilizadas para classificação de novas imagens, agora por um processo não supervisionado.

Algumas pesquisas mais recentes feitas com canais multiespectrais do satélite servem também para a estimativa da altura das nuvens como proposto por Negri e Machado (2006) que descrevem uma técnica de estimativa da altura da base das nuvens utilizando imagens dos canais infravermelhos janela ($10,7\mu\text{m}$) do satélite GOES-12. Essa técnica faz parte do modelo de estimativa do vento para os baixos níveis desenvolvidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo utilizada para determinar a altura dos vetores estimados. Os resultados iniciais mostraram que a técnica apresenta bons resultados para as regiões oceânicas.

Como foi visto, várias aplicações aos canais multiespectrais de um radiômetro é de extrema importância para a análise da atmosfera e suas estruturas. São várias as metodologias para identificar ou auxiliar no conhecimento dos eventos meteorológicos.

Para compreender como as imagens do SEVIRI chegam aos usuários, deve-se entender toda a estrutura que envolve a recepção, disseminação e captação destes dados. Enfim, um histórico das plataformas METEOSAT e o sistema EUMETCast da organização europeia European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT).

2.7 – Descrição do METEOSAT e do Sistema EUMETCast

O primeiro satélite da série METEOSAT foi lançado em 23 de Novembro de 1977 e foi batizado de METEOSAT-1. Atualmente, a manutenção dos satélites e gerenciamento é feita pela organização intergovernamental EUMETSAT, esta foi criada em 1986 pelo sucesso do lançamento dos primeiros satélites meteorológicos europeus com a finalidade da exploração de satélites meteorológicos. A ESA e a EUMETSAT trabalham em parceria nos satélites mais recentes da série, pois os satélites que tem a sua vida útil quase esgotada estão sendo substituídos por uma nova geração de METEOSAT. Quatro satélites irão assegurar a cobertura meteorológica até 2018 e eles estarão nesta parceria entre a ESA e a EUMETSAT.

A EUMETSAT é uma instituição intergovernamental formada através de uma convenção internacional que envolve vinte e dois países da Europa, entre eles Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Eslovênia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Itália, Letônia, Noruega, Polônia, Portugal, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido e República Eslováquia. Além destes, mais seis nações europeias mantêm acordos de cooperação com a organização europeia Bulgária, Estônia, Islândia, Lituânia, República Tcheca e Romênia (site da EUMETSAT - <http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/WhoWeAre/MemberandCooperatingStates/?l=en> acessado em 27 de Abril de 2009). A EUMETSAT é responsável pelo Programa Operacional Meteosat (Meteosat Operational Programme - MOP) desde 1995.

Os satélites geoestacionários da Meteosat ficam em órbita aproximadamente 36.000 km de altitude e imageiam 42% da Terra e já foram lançados até o momento nove satélites. Os METEOSAT- 2, 3 e 4 foram lançados nos anos de 1981, 1988 e 1989, respectivamente. Estes satélites são chamados de primeira geração assim como os outros três seguintes METEOSAT-5, 6 e 7.

O METEOSAT-5 foi lançado em 2 de Março de 1991, o METEOSAT-6 no dia 20 de Novembro de 1993 e o METEOSAT-7 em 02 de Setembro de 1997 e possuem uma inclinação de 5°. Os satélites são equipados com um radiômetro que opera em diferentes comprimentos de onda. No modo visível (0,45-1,00 μ m) com resolução espacial de 2,5 km, no modo infravermelho (10,5-12,5 μ m) e modo vapor d'água (5,7-7,1 μ m) com 5 km de resolução espacial.

O primeiro satélite de segunda geração lançado foi o MSG-1(METEOSAT-8) em 28 de Agosto de 2002 e considerado em operação a partir de 2004. Com o lançamento desse satélite, as imagens têm sido enviadas de 15 em 15 minutos em vez de 30 em 30 minutos como acontecia com os satélites de primeira geração e mais uma vantagem é que são 12 canais espectrais em vez de 3 e, por essa razão, fornecem 20 vezes mais informação do que seus antecessores. Isto é considerado mais adequado para fazer previsões de curto prazo de fenômenos meteorológicos significantes, assim como neve, nevoeiro e trovoadas. O METEOSAT-9 ou METEOSAT de Segunda Geração (MSG-2) foi lançado em 21 de Dezembro de 2005 e a primeira imagem do MSG-2 foi realizada em 24 de Janeiro de 2006.

Assim, existem dois satélites MSG em órbita geoestacionária um operacional numa longitude de 0° sobre a África Ocidental Equatorial e o outro em “stand-by” com

10° de separação aproximadamente, quando o MSG-2 precisa de manutenção o MSG-1 fica em operação para garantir o monitoramento das condições atmosféricas. A Figura 3 mostra a posição dos satélites METEOSAT que estão atualmente em operação.

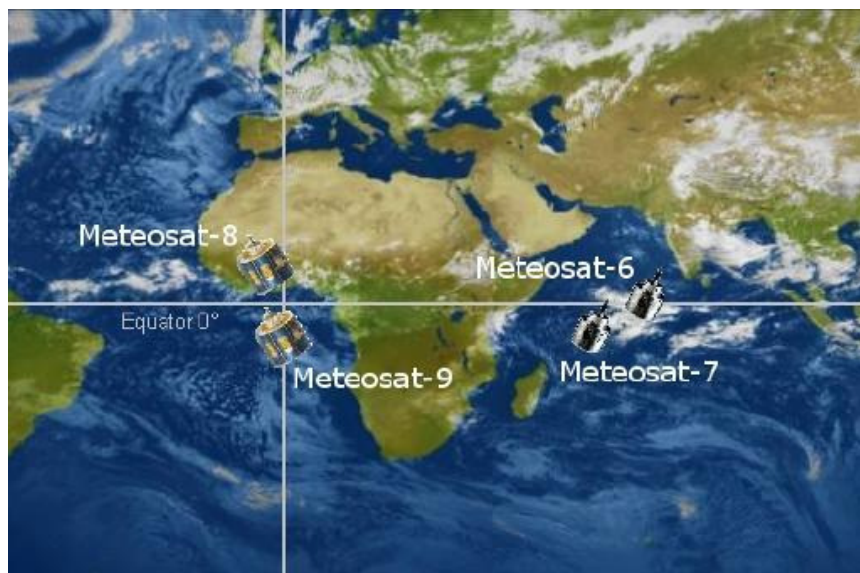


Figura 3 - Posicionamento das plataformas Meteosat. Fonte: Kerk em 2008.

O instrumento primário do METEOSAT foi o radiômetro de varredura e rotação visível e no infravermelho VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer), que é sensível à radiação visível e termal, em diferentes bandas do espectro. O canal visível (na banda espectral de 0,5 a 0,9 μ m) e o canal infravermelho (10,5 a 12,5 μ m) com resolução de 2,5 km e 5,0 km, respectivamente, no ponto subsatélite. Devido à curvatura da Terra, esta resolução degrada em direção às bordas mais externas da imagem (por exemplo, a resolução para o visível torna-se aproximadamente de 4,5 km sobre a Europa).

Nos novos satélites da série METEOSAT, os MSG carregam a bordo novos radiômetros: o imageador de alta rotação no visível e infravermelho SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) e o radiômetro geoestacionário de saldo de radiação da terra GERB (Geostationary Earth Radiation Budget). O SEVIRI tem um canal no visível de alta resolução espacial que chega a 1 km e possui outros 11 canais (no visível, infravermelho e o vapor d'água) que chegam a 3 km no nadir. Como já mencionado, esses sensores representam uma mudança de grande importância para o uso dos dados de satélites uma vez que foram projetados para contribuir de maneira mais adequada as exigências da previsão de tempo e o monitoramento ambiental.

Para complementação das observações feitas pelo METEOSAT a ESA e criaram o primeiro satélite de órbita polar Meteorological Operational Satellite-A (MetOp-A) da série Eumetsat Polar Systems (EPS) que fica a 817 km de distância da Terra. Para os países da América Latina, essas observações ainda não estão disponíveis pelo sistema de recepção (BARBOSA; PRIETO, 2007).

No Brasil, a primeira instituição de pesquisa a receber imagens do METEOSAT foi o INPE que está recebendo dados desde Junho de 2006 imagens do MSG-1 e -2. Com isso, teve avanços nas pesquisas e um auxílio maior nas previsões e monitoramento de fenômenos meteorológicos no Brasil, mas isto em especial ao Nordeste, à costa brasileira e ao Atlântico Sul.

Para recepção dos dados da METEOSAT, existe um sistema que faz a transferência de um servidor, localizado na Alemanha em Darmstadt, que é o Centro Europeu de Transmissão conhecido como EUMETCast para as Estações individuais de recepção da EUMETCast para cada cliente registrado.

O sistema EUMETCast que é um sistema de recepção e disseminação de dados da EUMETSAT trabalha com três sistemas de difusão dos dados: um à Europa que através da plataforma Hotbird-6 e funciona na banda KU; outro à África através do satélite AtlanticBird 3 que funciona na banda C; e o último à América através do satélite NewSkies (NSS)–806 que funciona na banda C, permitindo assim que cada Estação Receptora consiga manipular de maneira satisfatória esses dados conforme as suas necessidades ou interesses. A seguir, a Figura 4 mostra como funciona o Sistema EUMETCast para a disseminação dos dados.

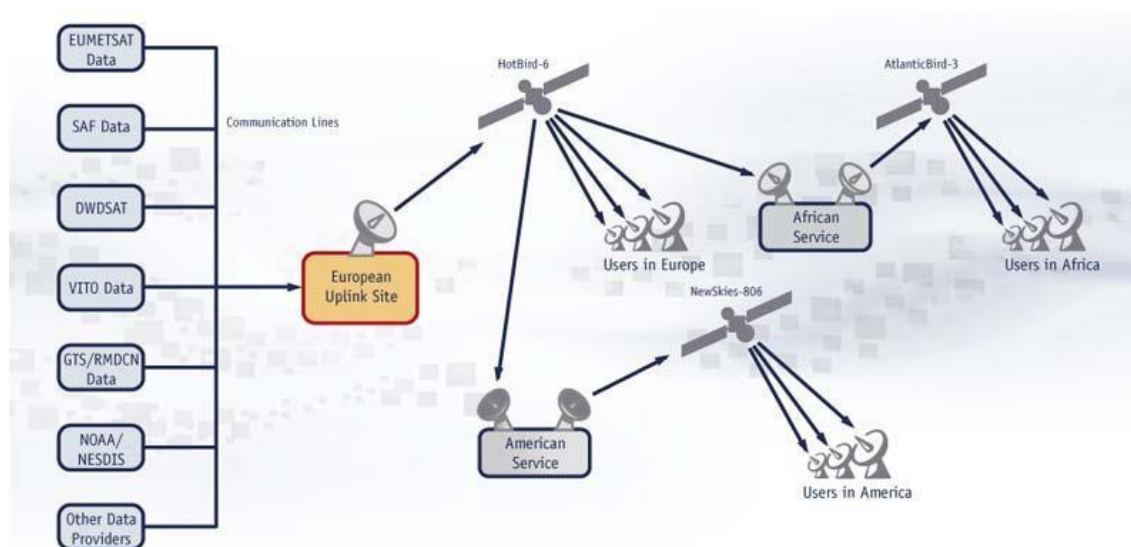


Figura 4 – Diagrama do Sistema EUMETCast. Fonte: EUMETSAT (2006).

No Brasil, estas Estações de recepção, através da EUMETCast, utilizam o sistema DVB/MPEG-2 para captar as informações, pois permite o uso mais eficiente do espectro eletromagnético devido ao aumento da taxa de transmissão de dados na banda de frequências disponível, já que a largura de banda ocupada por um canal analógico é utilizada por 12 canais digitais codificados e assim permite criar a compressão dos dados. Comprimindo o sinal para um volume 100 vezes inferior ao do sinal de origem.

Para montar uma Estação, é necessária basicamente uma antena apropriada para receber o sinal, dois computadores, um para receber e outro para processar as informações, e alguns softwares. É necessária também, uma chave específica de acesso EUMETCast Key Unit (EKU) e um software de controle fornecido pela EUMETSAT chamado Tellicast verifica se a chave está apta para a recepção dos dados e libera o armazenamento dos dados em disco, que devem ser descompactados. O sistema EUMETCast utiliza a banda C para retransmitir arquivos de dados e de imagens usando o padrão Digital Video Broadcast (DVB) (EUMETSAT, 2006).

No Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), existe uma antena de recepção do EUMETCast. Esta foi a terceira instituição a implantar a recepção dos dados MSG no Brasil, as duas primeiras estações instaladas foram no CPTEC/INPE (Cachoeira Paulista, SP) e a outra na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, Fortaleza, CE), respectivamente. A UFAL é a primeira universidade nacional que inseriu o sistema.

2.8 – Descrição do Radiômetro SEVIRI

O instrumento utilizado nesta pesquisa foi o SEVIRI pelas vantagens em relação à quantidade de canais e informações que eles podem gerar através das técnicas. Este sensor esta abordo do MSG-1 e 2 possui 12 canais e destes de 1 a 11 com resolução espacial de 3 km, com resolução temporal de 15 minutos e a imagem é composta de 3.712 x 3.712 pixels. O canal 12 com resolução espacial de 1 km, com resolução temporal de 15 minutos e imagem é de 11.136 x 7.700 pixels.

A principal missão da MSG é a contínua observação da Terra na forma completa do disco. Isto é conseguido com o imageador SEVIRI, no qual seus canais observando a sistema terra-atmosfera, onze fazem essa observação repetindo o ciclo de 15 em 15 minutos e um canal do visível de alta resolução que cobre metade da totalidade do disco na direção leste-oeste e um disco na íntegra direção norte-sul.

O canal 12 tem uma resolução espacial de 1 km no nadir e de 1,67 km à medida que vai se afastando desse ponto. Os correspondentes valores de resolução espaciais são de 3 km no nadir e de 4,8 km nos pontos mais afastados na imagem para os oito canais térmicos IR e os outros três solares.

O telescópio óptico tem um layout baseado em um conceito de três espelhos com um espelho primário de 51 cm de diâmetro. O plano focal com os detectores do IR é esfriado de maneira passível permitindo duas temperaturas controladas uma de 85 ou 95 K. A óptica da bancada dos canais solar está em uma temperatura de 293 K. Instrumento massa a 260 kg e consumo de energia de 150 W.

A Tabela 1 mostra os doze canais e suas respectivas faixas no espectro eletromagnético.

Tabela 1- Canais do SEVIRI

NÚMERO DO CANAL	$\lambda_{(CENTRAL)}\mu\text{m}$	$\lambda_{(MINIMO)}\mu\text{m}$	$\lambda_{(MAXIMO)}\mu\text{m}$	PRINCIPAIS GASES ABSORVEDORES OU JANELA
1 (VIS 0.6)	0.635	0.56	0.71	JANELA
2 (VIS 0.8)	0.81	0.74	0.88	JANELA
3 (NIR 1.6)	1.64	1.50	1.78	JANELA
4 (IR 3.9)	3.90	3.48	4.36	JANELA
5 (WV 6.2)	6.25	5.35	7.15	VAPOR DE ÁGUA
6 (WV 7.3)	7.35	6.85	7.85	VAPOR DE ÁGUA
7 (IR 8.7)	8.70	8.30	9.10	JANELA
8 (IR 9.7)	9.66	9.38	9.94	OZÔNIO
9 (IR 10.8)	10.80	9.80	11.80	JANELA
10 (IR 12.0)	12.00	11.00	13.00	JANELA
11 (IR 13.4)	13.40	12.40	14.40	DIÓXIDO DE CARBONO
12 (HRV)	Broadband (aproximadamente 0.4 – 1.1)			JANELA/ VAPOR DE ÁGUA

Cada canal pode fornecer boas informações sobre as nuvens, superfície terrestre, vapor de água e o ozônio. A combinação de canais tem informações úteis sobre a instabilidade atmosférica (SCHMETZ et al, 2002). Alguns cientistas como Machado (2008), Moreira (2007) e Kermann e Rosenfeld (2004) mostram várias aplicações para cada banda do SEVIRI. A seguir, foram descritos os canais e as informações que esses destacam:

VIS 0.6 e VIS 0.8: bandas do visível que são de grande importância para detecção de nuvens, rastreamento das nuvens, aerossóis, monitoramento da superfície terrestre e da vegetação. O canal VIS0.6 indica a espessura ótica da nuvem e se é formada por água ou gelo.

- NIR 1.6: banda no infravermelho próximo que distingue entre neve e nuvem, nuvens de água ou gelo e informações sobre aerossóis. Tamanho da partícula e fase (água ou gelo)
- IR 3.9: banda no infravermelho medidas de temperatura da superfície do mar e terrestre durante a noite e a detecção de nuvens baixas e nevoeiro, Temperaturas de terra e do mar durante a noite. Tamanho da partícula e fase (água ou gelo).
- WV 6.2 e WV 7.3: canais que observam o vapor de água e ventos. Reforçada por dois canais que culminam em dois níveis diferentes da troposfera. Identificação de nuvens semitransparentes. Imagem WV é construída a partir da re-emissão de radiação pelo vapor de água. O canal WV6.2 μm está no centro da banda de absorção onde há forte absorção - desta forma apenas radiação de níveis mais altos atinge o satélite. O canal WV7.3 μm está no bordo da banda de absorção onde há menos absorção – desta forma a radiação de níveis inferiores também atinge o satélite.
- IR 8.7: informações quantitativas de nuvens cirrus finas e suporte para distinção entre nuvens de água e gelo. Informação quantitativa de cirrus tênues. Discriminação entre gelo e nuvens de água.
- IR 9.7: Intensidade de radiação para entrarem em modelos NWP (“Numerical Weather Prediction”). Como um canal representativo, ele pode ser usado para o rastreamento dos padrões de ozônio que deveriam ser representativos para o movimento dos ventos na baixa estratosfera. A evolução do ozônio total na atmosfera com o tempo pode ser monitorado.
- IR 10.8 e IR 12.0: região da janela atmosférica e é fundamental para medir temperatura do mar, da superfície terrestre e topo de nuvens; e

também para a detecção de nuvens cirros e nuvens de cinzas vulcânicas. O IR10.8 temperatura do topo (se são topos frios ou quentes).

- IR 13.4: canal de absorção do dióxido de carbono e auxilia na localização das nuvens cirros tênues. Informação da temperatura na baixa troposfera (áreas de céu limpo) para estudos de instabilidade.
- HRVIS serve para analisar em escalas menores as estruturas.

Os canais VIS0.6 (ou HRV), IR3.9, WV6.2 e IR10.8 podem ser visualizados individualmente, os outros devem ser visualizados em combinação.

Os canais solares e termais são processados e calibrados antes de serem analisados, pois estão como dados brutos quando são recebidos pela estação e precisam ser transformados em temperatura de brilho (canal infravermelho) e refletividade (canal visível). A calibração das imagens é considerada de extrema importância, pois aproxima os dados recebidos ao que realmente acontece na atmosfera, eliminando a transparência atmosférica e as características ópticas e eletrônicas do sensor, auxiliando assim a manutenção dos satélites.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS:

Neste capítulo foi mostrada a região de estudo, descritos os dois estudos de caso e a metodologia para fazer a análise destes eventos.

3.1.1 – Região de Estudo e informação geral sobre os casos estudados

O território do sudeste abrange aproximadamente entre 16 e 26°S de latitude e entre 40 e 54°O de longitude sendo composto pelos Estados de Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. Na Figura 5, mostra-se o mapa do Brasil e em destaque a região Sudeste do país com a divisão e os nomes dos Estados que compõem esta área.

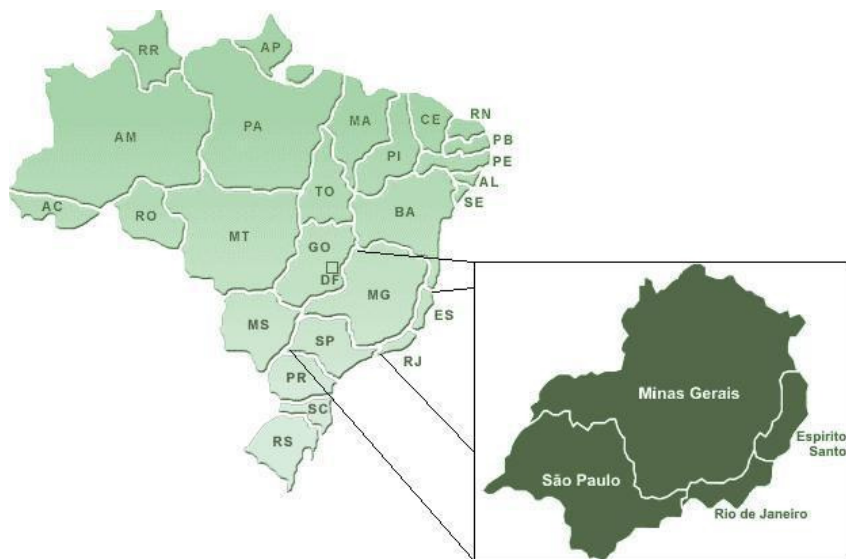


Figura 5 - Mapa do Brasil com a localização do Sudeste.

A região de estudo foi o Sudeste Brasileiro, pois os dois eventos estudados ocorreram nesta região. O 1º caso estudado ocorreu sobre o interior de São Paulo com características de um vórtice ciclônico de mesoescala nos dias 04 e 05 de fevereiro de 2005 e o 2º caso em grande parte do Sudeste, pois é caracterizado com muita nebulosidade e células convectivas sobre a região no dia 24 de outubro de 2007. Os dois eventos causaram danos sendo que o primeiro ocorreu sobre uma zona rural, mas com ventos superiores a 15 m/s. O segundo ocorreu sobre uma grande área, mas as maiores perdas ocorreram sobre a cidade do Rio de Janeiro.

3.1.2 – Descrição dos dois estudos de caso

Ambos os estudos de casos já foram explorados em pesquisas anteriores e por isso esta pesquisa se deteve apenas em analisar as imagens e comparar as informações obtidas com as informações geradas por Antonio et al (2008) para o primeiro estudo de caso e por Barbosa e Ertük (2009) para o segundo caso.

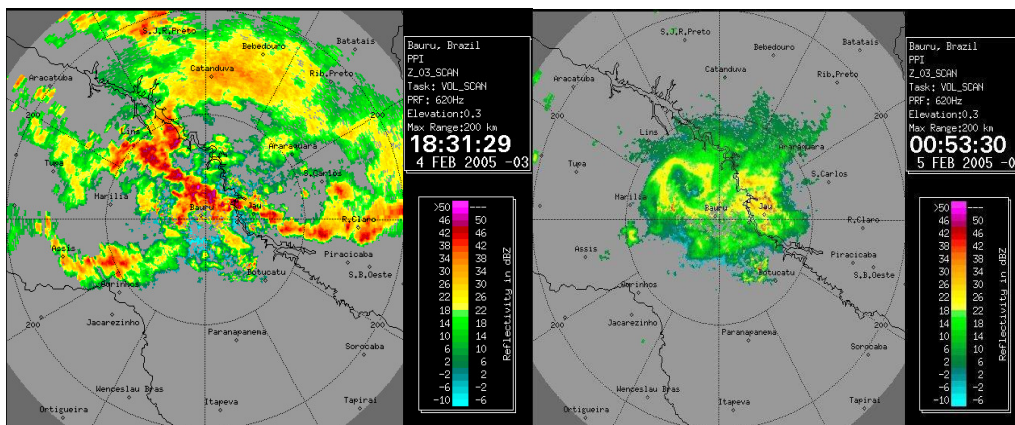
Nesta seção, foi descrita a análise de cada pesquisa feita sobre os eventos e as hipóteses que cada pesquisador levantou para compreender a formação e caracterizar esses.

- **1º Estudo de caso**

O evento ocorreu na noite de 04 e na madrugada do dia 05 de fevereiro de 2005. Foi considerado por Antonio et al (2008) um vórtice convectivo de mesoescala com diâmetro estimado de 30 – 40 km e com ventos superiores a 15m s^{-1} desenvolvido sobre o noroeste do Estado de São Paulo.

Para os pesquisadores chegarem a esta conclusão, eles utilizaram dados de reanálise do NCEP de 6 horas para os dias 4-6 de fevereiro de 2005 para os campos meteorológicos, imagens de satélite GOES, ecos de um radar Doppler meteorológico, localizado no centro do Estado de São Paulo, e dados de radiossondagens dos perfis atmosféricos de 5 estações (São Paulo - SBMT, Rio de Janeiro - SBGL, Curitiba - SBCT, Florianópolis - SBFL e Porto Alegre - SBPA). O objetivo era analisar a situação sinótica que gerou os complexos convectivos de mesoescala associados ao vórtice.

Na Figura 6, são mostradas as imagens do radar meteorológico, na Figura 6a são percebidas as posições de duas linhas de rajada, uma para o nordeste e a outra perto do centro da imagem. Houve a convergência das duas linhas às 20 Horas Locais (HL), pois a linha de rajada do nordeste se deslocou ao sul e se fundiu com a linha do centro da imagem dando origem ao complexo convectivo de mesoescala que foi observado. Um vórtice convectivo associado com um CCM apareceu as 21HL e se dissipou cerca de 3 horas depois como pode ser visualizado na Figura 6b. O horário local corresponde a menos 3 horas UTC.

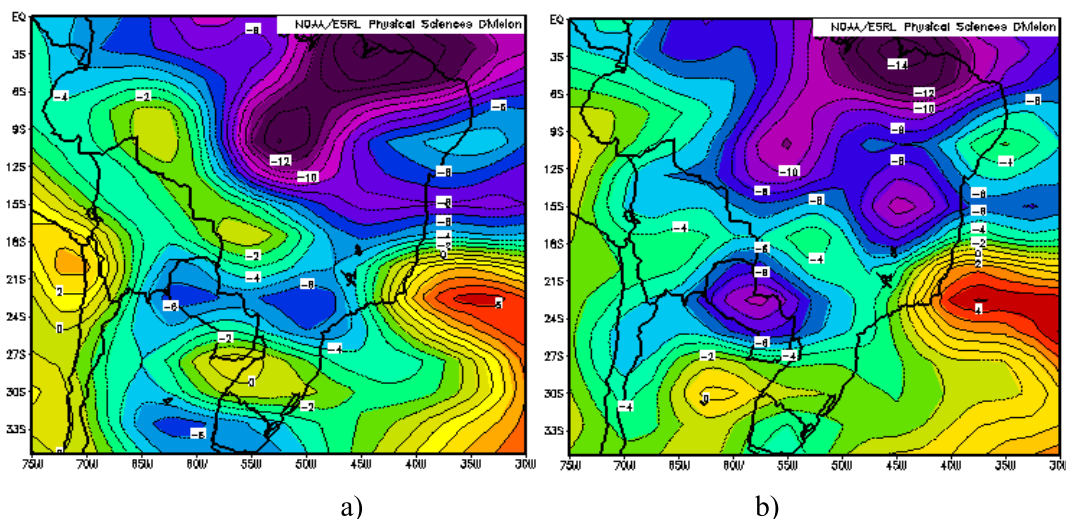


a)

b)

Figura 6 - Imagens do radar meteorológico em: a) 4 de Fevereiro às 18:31HL e b) 5 de Fevereiro, 00:53 HL. A cidade de Bauru é localizada no centro da imagem. Fonte: Antonio et al (2008).

Este vórtice foi resultante de uma forte zona de cisalhamento que foi gerada pela presença de um sistema de baixa pressão na região e um conseqüente reforço de Leste dos jatos de baixos níveis. Na Figura 7a, às 21HL no nível de 850 hPa, os ventos de sul foram superiores a 10 m s^{-1} por uma vasta área ao longo da encosta do Brasil e do Oceano Atlântico, a secção transversal longitudinal ao longo de $22,5^\circ\text{S}$, ao mesmo tempo indicava que o jato subtropical nos níveis superiores propagava para os níveis inferiores. Ventos fortes de norte superiores a 15 m s^{-1} dominaram o interior do continente e a zona de cisalhamento se formou em torno de 45°O de longitude.



a)

b)

Figura 7 - Componente zonal do vento (m/s) no nível de 850 hPa: a) 4 de Fevereiro às 21 HL e b) 5 de Fevereiro às 03 HL. Valores “negativos” são ventos de Leste. Fonte: Antonio et al (2008).

A entrada do ar mais frio e seco foi a causa provável da dissipação do vórtice de mesoescala 3 horas mais tarde, como foi visto na Figura 6b. A situação persistiu até às 03HL, mas como pode ser visto na Figura 7b a zona de cisalhamento foi enfraquecida já que se propagou para oeste.

- **2º Estudo de caso**

O estudo de caso ocorreu no dia 24 de outubro de 2007, motivados pela chuva forte que atingiu o Estado do Rio de Janeiro, os pesquisadores Barbosa e Ertük (2009) descreveram a formação do evento meteorológico.

Na cidade do Rio de Janeiro, foi fechado o Túnel Rebouças quando houve deslizamento de toneladas de areia no dia 24 de outubro de 2007. A Figura 8 mostra a entrada do túnel e o deslizamento de terra sobre ele.



Figura 8 - Mostra o Túnel Rebouças e o deslizamento de terra sobre ele.

Fonte: <http://noticias.terra.com.br/brasil/interna/0,,OI2019969-EI8139,00.html>.

Segundo Barbosa e Ertük (2009), a razão para a formação de uma frente semi-estacionária foi a ocorrência de uma massa de ar instável e úmida sobre o Estado do Rio de Janeiro associada com uma intensa frente fria vinda do sul do Brasil. Essa frente trouxe ar seco e frio para o sudeste brasileiro. Esse contraste das duas massas de ar gerou a precipitação contínua sobre a região e foi mais intensa às 17:30UTC.

Na figura 9, pode ser visualizado alguns aglomerados de nuvens convectivas através do canal IR10.8 μm do SEVIRI, com o realce em cores das nuvens com os topos mais frios. A frente semi-estacionária é caracterizada pela grande faixa de nebulosidade sobre a região Sudeste do Brasil e sobre a costa do Oceano Atlântico.

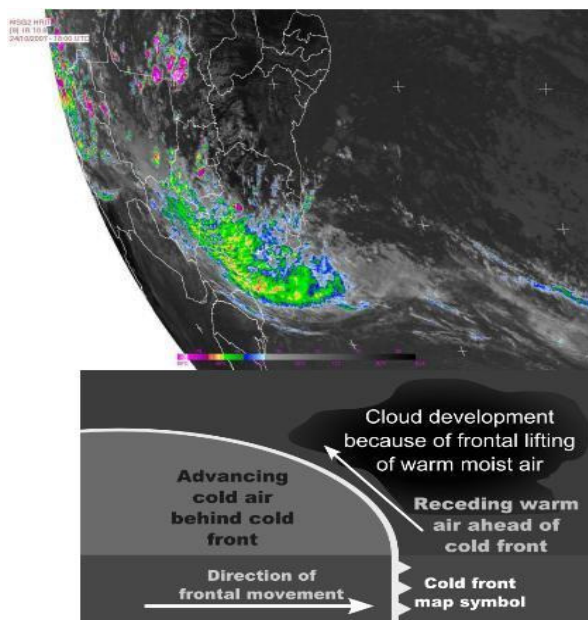


Figura 9 - Imagem da temperatura de brilho no canal IR 10.8 μm do METEOSAT-9, às 17:30UTC sobre o Brasil e a ilustração da chegada de uma frente fria sobre uma região. Fonte: Barbosa e Ertük (2009).

O Sistema foi se deslocando para o Oceano Atlântico e perdendo a sua intensidade.

3.2 – Aquisições das imagens do METEOSAT

A seguir, foi apresentada a metodologia utilizada nesta pesquisa para avaliar os estudos de caso através das imagens de satélite.

Foram baixadas imagens do SEVIRI no site <http://www.sat.dundee.ac.uk/> no intuito de fazer uma análise e comparação superficial do globo terrestre nos canais do infravermelho (canal 9) e do vapor de água (canal 6).

As imagens para os dois estudos de casos foram adquiridas de maneiras diferentes, pois o 1º evento ocorreu num período aonde não havia estação de recepção das imagens no Brasil. Assim, para o 1º caso, os dados utilizados foram fornecidos por

um banco de dados disponibilizados pela EUMETSAT e para o 2º caso foram captados os dados pela estação de recepção da UFAL.

3.2.1- Banco de dados disponível pela EUMETSAT

O Arquivo Unificado Meteorológico e Restauração Facilitada (Unified Meteorological Archive and Retrieval Facility - UMARF) fornece arquivos e produtos das imagens dos satélites meteorológicos da EUMETSAT. O processo de arquivar é automatizado e são realizados 24 horas por dia todos os dias do ano. O arquivo oferece um serviço de restauração dos dados completo, incluindo o acesso aos dados catalogados e outras informações.

Para acessar esse acervo de imagens, é necessário entrar nos serviços de arquivo da EUMETSAT e através de uma web interface no endereço eletrônico <http://archive.eumetsat.org/umarf/> os usuários são capazes de pesquisar e encomendar os dados desejados. É necessário também ter, no computador, a linguagem de programação JAVA e assim acessar o software disponibilizado pela EUMETSAT, UMARF, porém é indispensável se cadastrar e criar uma conta para receber esses dados.

No UMARF, os dados podem ser acessados numa variedade de formatos inclusive para o Eumetsat Polar Systems (EPS) os dados podem ser em formato bruto ou em HDF5. Aproximadamente 250 GB de dados são arquivados por dia e 1.000 ordens são tratadas em cada mês. Em 2007 foram processados 245.000 ordens (<http://www.eumetsat.int/Home/Main/Media/News/706636>).

As imagens e dados dos satélites METEOSAT e METOP são armazenadas consecutivamente assim que são recebidas. Os dados do METEOSAT de primeira geração são fornecidos com resolução temporal de 30 minutos em 3 canais e os de segunda geração de 15 minutos em 12 canais espectrais. O METOP gera uma gama de produtos devido à duração de cada órbita ser de aproximadamente 100 minutos e são gerados 15 produtos que são recebidos por dia pelo UMARF. Os dados são fornecidos gratuitamente.

Os dados das imagens podem ser fornecidos por qualquer um ou por todos os canais espectrais para todo o globo ou para pequenas áreas geográficas. As imagens podem ser solicitadas em formato bruto ou corrigidas em outros formatos. Os dados brutos são fornecidos com todas as informações necessárias para gerar os produtos desejados.

Em 2 de abril de 2008, o arquivo da EUMETSAT recebeu um importante reforço para a sua biblioteca robotizada. O arquivo anterior utilizava duas bibliotecas SUN L5500 para armazenar todos os dados meteorológicos recebidos através dos satélites meteorológicos da EUMETSAT.

Com uma crescente demanda de arquivos e recuperações valiosas dos dados, um contínuo upgrade das componentes de hardware e de software é necessário para permitir a capacidade suficiente de dados para as futuras missões da EUMETSAT. Conseqüentemente, as bibliotecas da SUN L5500 têm sido substituídas pelas bibliotecas do SUN STORAGE Tek SL8500.

Na Figura 10, mostrou-se o procedimento para adquirir às imagens do SEVIRI neste banco de dados. É importante frisar que no software utilizado devem ser pedidas as imagens no formato bruto, ou seja, no mesmo formato recebido pelo sistema EUMETCast, pois o programa no qual elas foram processadas funciona com dados brutos. Depois de feito o pedido em alguns dias é liberado por FTP para baixar as imagens.

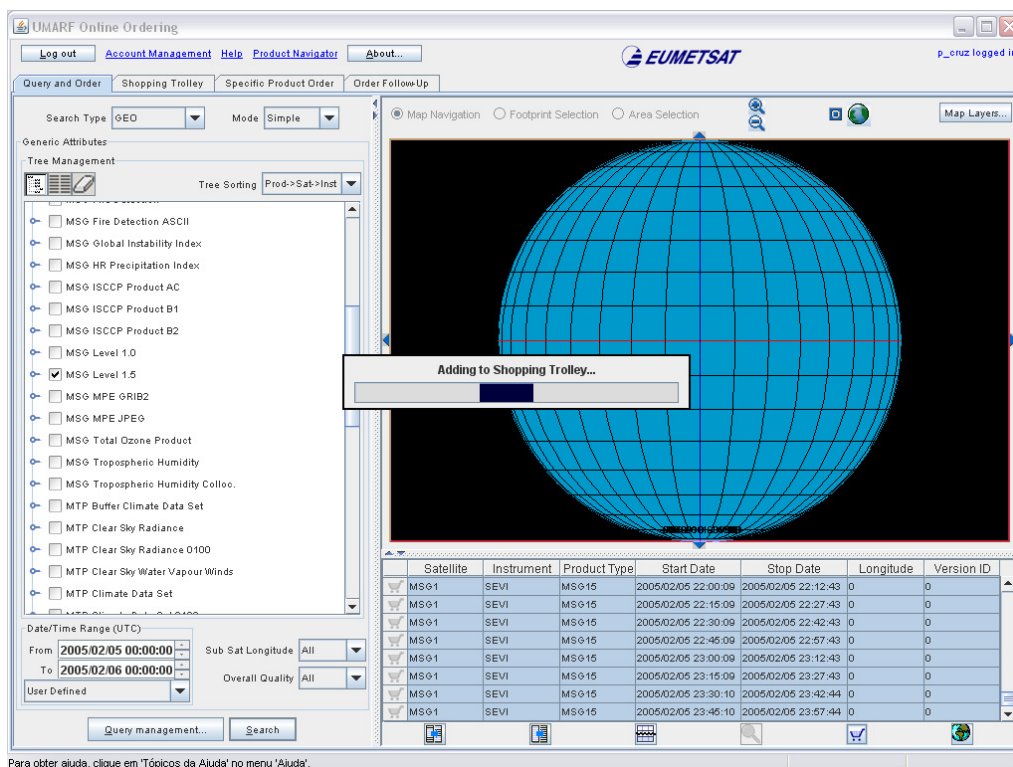


Figura 10 - Banco de dados para acessar as imagens disponíveis e fazer o pedido.

A única diferença que essas imagens não estão em tempo real e são de grande valia para analisar eventos que já passaram, mas ainda existe um interesse em estudá-los. Para o 2º evento foram utilizadas as imagens captadas pela antena da recepção da UFAL.

3.2.2 – Recepção das Imagens de Satélite no ICAT – UFAL:

A Estação de Recepção da EUMETCast na UFAL fica localizada na cobertura do ICAT na latitude 9° 33,3' S e longitude 35° 46,6'. No dia 10 de Abril de 2006, foram instalados os equipamentos necessários para o sistema entrar em funcionamento.

Os dados são recebidos e processados pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Processamento de Imagens de Satélite (LAPIS) do ICAT . A primeira imagem processada pelo grupo do Meteosat-9 foi no dia 11 de Maio de 2007.

Na Figura 11, mostrou-se o esquema de recepção das imagens no LAPIS a partir do momento em que o satélite capta a informação até o momento em que os dados chegam aos usuários e são armazenados. A Estação de Superfície principal fica localizada na Itália e recebe as informações do Meteosat, posteriormente envia os dados para Estação da Alemanha. Esta estação retransmite a informação para o NSS-806 e a antena na UFAL capta o sinal deste.

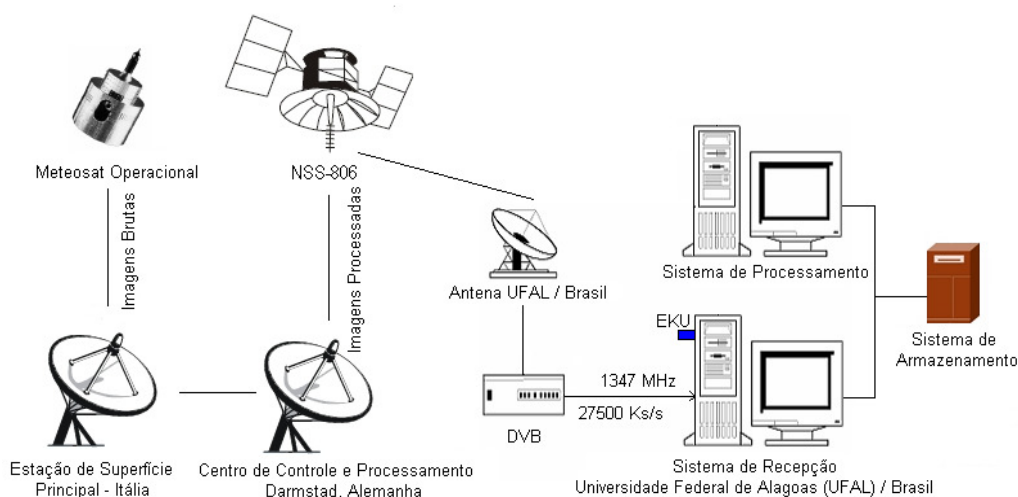


Figura 11 - Diagrama do sistema de recepção das imagens na UFAL. Fonte: Nobrega et al (2009).

Os arquivos recebidos estão no nível 1.5, pois já foram corrigidos dos efeitos radiométricos e geométricos, e também, foram georeferenciados com uma projeção

padronizada. Passaram por um tipo de calibração e linearização (EUMETSAT, 2007A). Os dados recebidos contêm imagens encriptadas, segmentadas e compactadas em formato wavelet lossless compression. (EUMETSAT, 2001, 2003).

Toda vez que o satélite faz a varredura, ou seja, de 15 em 15 minutos, são recebidos arquivos referentes às doze bandas espectrais do SEVIRI. Estes arquivos vêm divididos em três seções: a primeira é o cabeçalho da imagem (prólogo); o segundo são os arquivos das bandas (linhas das imagens), ou seja, as matrizes que correspondem às imagens dos canais e o terceiro é o trailer da imagem (epílogo).

Cada uma dessas seções traz consigo uma grande importância para o processamento das imagens, sendo que o prólogo origina o início da varredura e também as informações que caracterizam as imagens. Além de trazer os coeficientes de calibração da imagem o *cal_slope* e *cal_offset* que são necessários para calibrar e fazer a conversão de número digital (count) em radiância espectral.

Nos arquivos que correspondem às matrizes das imagens, os dados são captados pelo processo de varredura conhecido como *spinning*, este tipo de procedimento é feito quando o satélite executa uma revolução completa em seu próprio eixo com velocidade de 100 rotações por minuto, no sentido Leste-Oeste e Sul-Norte. Os arquivos de imagens são codificados em níveis de cinza numa escala radiométrica de 10 bits (1024 níveis de cinza) e são obtidas pelo sensor em 30 milissegundos. Cada canal de baixa resolução possui oito segmentos com resolução de 3712x464 pixels compactados no formato “wavelet lossless compression” ao todo a imagem do globo fica numa matriz de 3.712 x 3.712 pixels e a disseminação destes dados emprega o sistema Low Resolution Information Transmission (LRIT). Para o canal de alta resolução existem 24 segmentos com resolução de 5568x464 gerando uma matriz de 11.136 x 7.700 e a disseminação é no sistema High Resolution Information Transmission (HRIT).

A seguir, na figura 12, podem ser visualizados os oito segmentos das imagens dos canais de baixa resolução formando uma matriz completa do globo. Eles são enumerados conforme é feita a varredura, ou seja, de sul para norte e de leste para o oeste.

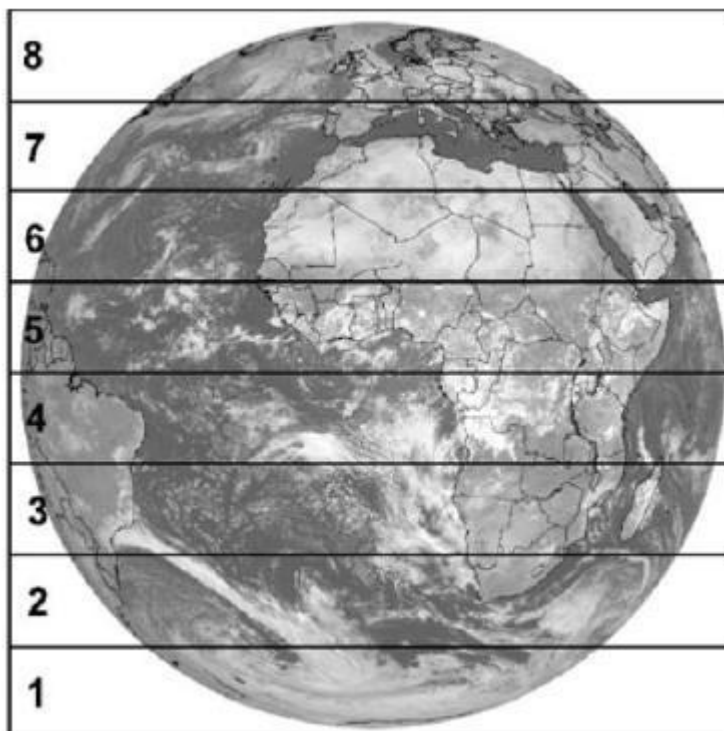


Figura 12 - Os oitos segmentos dos canais de baixa resolução do radiômetro SEVIRI.

O arquivo epílogo contém as informações referentes ao fim do ciclo da varredura como o tempo de varredura, situação do satélite e até uns parâmetros referentes à qualidade da imagem (SILVA JÚNIOR ET AL, 2009).

Para fazer a varredura da superfície da Terra, o radiômetro varre linha por linha e essas linhas contêm uma série de pixels com informações, pois o radiômetro estima a energia radiativa de uma determinada faixa no espectro eletromagnético. Esta medição é codificada na forma digital e transmitida para a estação terrestre.

3.3 – Calibração e Processamento:

As imagens são recebidas e pré-processadas no Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites do ICAT. Primeiramente, será descrito a calibração e o processamento feito no laboratório seguindo a metodologia utilizada por Silva Júnior et al (2009), no intuito que se compreenda como funciona a transformação de valores count em radiância e esta em refletividade e temperatura de brilho para os canais visíveis e termais, respectivamente.

Inicialmente foi feito um script em Linux para calibrar os dados recebidos em HRIT que são referentes aos onze canais do SEVIRI, pois o canal de alta resolução do visível é recebido em LRIT. Nessa rotina, foram usados os seguintes programas:

- Para descompactar os arquivos foi utilizada a biblioteca Wavelet Decompression Library. Essa se encontra disponível na página da EUMETSAT, através do preenchimento de um formulário online para ser licenciado como um usuário da EUMETCast. O aplicativo responsável pela descompactação dos dados é o *xRITDecompress*.
- Para unir os segmentos que foram descompactados, é utilizado um programa chamado *monta_msg_3km* organizado no script, tornando os oito arquivos representando os oito segmentos em um único arquivo ou segmento da imagem referente ao canal.
- Para extrair as constantes utilizadas na calibração (*cal_slope* e *cal_offset*) do arquivo prólogo ou arquivo de cabeçalho das imagens foi utilizado o software chamado *Calibra*, fornecido através do curso da EUMETSAT realizado pelo o INPE, em 2008.

Nesse script, também são inseridas algumas fórmulas para transformar a radiância em refletividade ou temperatura de brilho dependendo do canal. Nos canais infravermelhos do sensor SEVIRI são calibrados através de um corpo negro a bordo do satélite e a relação linear entre o número digital e a radiância observada pelo sensor é dada na fórmula:

$$C(L) = g R(\lambda, T) + C_0$$

onde, $C(L)$ é o valor de count obtido pelo sensor SEVIRI como dado de saída, $R(\lambda, T)$ é a radiância medida pelo instrumento, λ é o comprimento de onda também considerado como o intervalo espectral, T é a temperatura efetiva de corpo negro observado na imagem, g é o ganho, o inverso é o coeficiente de calibração, e C_0 é o descolamento. É válido considerar essa relação como linear desde que pequenas não-linearidades entre os detectores sejam corrigidas e para isso serão usados os coeficientes medidos antes do lançamento do sensor. Algumas diferenças entre os valores medidos pelos detectores são corrigidas através do procedimento de equalização denominadas normalização, semelhante ao procedimento aplicado nos satélites GOES.

Para transformar a radiância em temperatura de brilho, é utilizada uma relação fornecida pela equação de Plank. A relação entre a temperatura de brilho (T_b) e a radiância observada (R) é dada pela fórmula:

$$T_b = \left(\frac{c_2 v_c}{\log(1 + c_1 v_c^3 / R)} - B \right) / A,$$

onde R é a radiância observada em $\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-1}$, T_b é a temperatura de brilho equivalente em Kelvin, v_c é o comprimento de onda central de canal em cm^{-1} ; $c_1 = 2hc^2$ e $c_2 = hc / k$ onde, h é a constante de Plank, c é a velocidade da luz e k é a constante de Boltzmann.

Alguns valores como comprimento de onda central v_c e os coeficientes de correção A e B são fornecidos no site da EUMETSAT (<http://www.eumetsat.int/Home/index.htm>) determinados por uma regressão não-linear de uma tabela pré-calculada usando a equação de Plank para os diferentes canais termais do SEVIRI.

A calibração nos canais solares é realizada de maneira diferente, pois não possuem uma calibração a bordo do satélite. Porém, existe um método de calibração alternativo (vicário) baseado na observação de alvos bem caracterizados, como desertos e oceanos com céus claros e nuvens opticamente espessas de altos níveis, juntamente com modelos de transferência radiativas (EUMETSAT, 2007B). Esse método de calibração alcançou valores melhores depois do primeiro ano de operação, porque a caracterização dos alvos foi aperfeiçoada e os parâmetros de controle de qualidade tornaram-se mais ajustados.

Nesta pesquisa, também foi utilizado o programa MATLAB® na versão 7.0 para ler as matrizes com os dados já transformados em temperatura de brilho, nele foram feitos os cortes nas coordenadas desejadas e feito as imagens com as diferenças dos canais de vapor de água.

Para trabalhar essas imagens, foi utilizado um software gratuito e apropriado para fazer o processamento e assim caracterizar e realçar os fenômenos meteorológicos significativos auxiliando na previsão do tempo.

3.4 – Software Xrit2Pic e composições das imagens

O software Xrit2Pic é livre e a licença é gratuita foi publicado pelo pesquisador Rob Alblas, possui o código fonte aberto e trabalha com dados binários tanto para Windows como para Linux. Esse programa trabalha com os dados brutos do SEVIRI e não necessita do pré-processamento do sistema EUMETCast para transformar de count para refletividade

ou temperatura de brilho (KERK, 2008). Por essa razão, foi escolhido nesta pesquisa pela facilidade de manipulação com os dados brutos do SEVIRI e pela manipulação de imagens através de álgebras e composições. Pode-se fazer o download do Xrit2Pic através do site MSG software: XRIT2PIC no http://www.alblas.demon.nl/wsats/software/soft_msg.html.

Além de utilizar imagens no formato HRIT e LRIT para os satélites de Segunda Geração da Meteosat, aceita dados no formato LRIT para o Meteosat-7 e anteriores, GOES e MTSATR, LRIT para satélites geoestacionários americanos; o AVHRR dos satélites polares NOAA (formatado como HRPT.bz) e METOP (formatado em EPS) essas informações foram tiradas do manual do XRIT2PIC acessado através do site http://www.alblas.demon.nl/wsats/software/man_xrit2pic.html, transformando em dados com extensão JPEG, PPM, PGM (ambos 1 byte e 2 bytes por pixel) e extensão de filme AVI.

Os dados das imagens podem ser vistos diretamente ou convertidos para formatos de imagens padrão. Com o Xrit2pic, podem ser feitos alguns processamentos simples como imagens pseudo-coloridas que são geradas através de canais multiespectrais com cores diferentes. São construídas algumas imagens de nevoeiro, tempestade de areia e também gera análise de imagens em 3D que é gerada com a temperatura de brilho que é convertida em altura. Todo o processamento de dados é feito pela utilização direta dos dados brutos e sem geração de arquivos intermediários.

No software, foram descritas, na janela principal, todas as informações dos dados recebidos e em azul mostra os dados brutos detalhadamente com o horário, a data, o formato mostra os canais como: V = no espectro do visível, I = Infravermelho e W = vapor de água e H = alta resolução no visível, o tipo (LRIT ou HRIT), mostra também, os canais que estão completos em cor verde e quando estão faltando segmentos fica em cor vermelha. No formato o método de compressão usado para receber a imagem é informado (Wavelet, JPEG).

Na Figura 13, mostraram-se os dados do SEVIRI referente a um dos casos estudados. Em azul, estão todos os dados brutos para a hora 17:30UTC e todas as informações como: data, formato, hora e o satélite. Em rosa, estão os arquivos prólogo e epílogo, posteriormente vem os canais que estão em verde e junto deles a informação se contém todos os segmentos, a latitude de cada segmento e o formato.

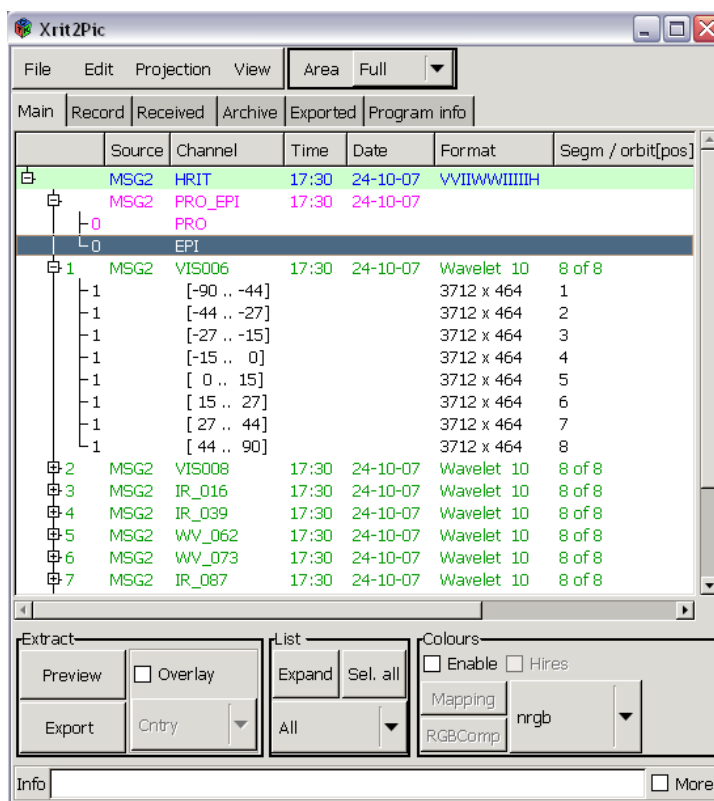


Figura 13 - O Software Xrit2Pic com os dados do SEVIRI referente ao evento estudado.

Este software gera as imagens para os canais do infravermelho com uma paleta de cores que varia entre 60 °C e -40 °C para realçar as nuvens com tops mais frios. Foram utilizados canais do infravermelho e composições com os canais do MSG para tornar melhor a interpretação e identificação dos fenômenos atmosféricos, pois em alguns canais, por exemplo, é difícil de distinguir as nuvens formadas apenas por gotículas de água das formadas por partículas de gelo além da água.

Essas composições associam uma banda ou uma composição de bandas a uma cor no caso vermelho, verde ou azul, pois são cores primárias. Na Figura 14 mostra a janela de uma das funções no XRIT2PIC, que é utilizada para gerar a composição RGB e outras composições.

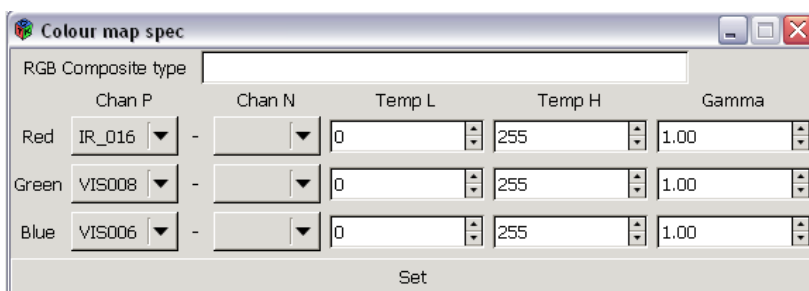


Figura 14 - A janela no qual se escolhe os canais para gerar a composição RGB.

Essa ferramenta é de grande valia uma vez que a análise dos canais pode ser feita associando-os e assim gerando maiores informações da atmosfera. Muitos pesquisadores na Europa utilizam estas composições para descrever e compreender melhor os eventos atmosféricos, entre eles podemos citar, Putsay et al (2009), Pistotnik et al (2009) e Prieto (2008).

3.5 – A utilização dos canais multiespectrais e composições RGB

Os satélites meteorológicos geoestacionários produzem informações em pelo menos duas bandas do espectro eletromagnético: visível e infravermelho. Esses são canais infravermelhos (IR), visíveis (VIS) e de vapor d'água (WV) que é um canal no infravermelho, porém em um determinado comprimento de onda. As informações contidas nos três canais podem ser utilizadas juntas para definir melhor alguns fenômenos meteorológicos (FERREIRA, 2006).

As imagens no visível identificam o fluxo de radiação solar refletida pela superfície terrestre e pelas nuvens, enquanto as do infravermelho medem o fluxo de energia infravermelha emitida pela superfície ou pelas nuvens. Nos canais de vapor d'água, a energia emitida pelo vapor d'água é captada pelo sensor e as informações geradas são usadas para localizar as concentrações de vapor d'água e suas características na média e alta troposfera. Por isso, nessa pesquisa foram utilizados os canais de vapor de água WV6.2 μ m e WV7.3 μ m.

Assim, as informações quantitativas das imagens podem ser de grande importância e um diferencial, pois através da subtração dos canais de vapor d'água do MSG podemos verificar a umidade existente na atmosfera, pois se a diferença de valores for muito pequena indica que esta apresenta a mesma umidade em diferentes níveis atmosféricos, ou seja, ela permanece úmida com a altitude.

Os canais utilizados para ambos os estudos de casos foram: canal 3.9 μm , canal WV6.2 μm , WV7.3 μm e o canal IR10.8 μm .

O canal 3.9 μm é muito utilizado para identificar focos de queimada por ser uma banda que esta na faixa de transição entre refletividade e emissividade. Esse é o único canal do METEOSAT que contém essas duas informações.

O canal IR10.8 μm fornece informações sobre a altura das nuvens quanto menor a temperatura nesse canal mais alta vai estar a nuvem.

O canal WV6.2 μm serve para estudar a umidade nos níveis mais altos da troposfera, em 300hPa aproximadamente, e o canal WV7.3 μm para estudar a umidade presente nos níveis médios da troposfera, em 600hPa.

As únicas composições coloridas RGB que foram utilizadas para ambos os casos foi a de massa de ar que é WV6.2 μm – WV7.3; IR 9.7 μm – IR 10.8 μm ; IR6.2i μm , onde o “i” no canal IR6.2i μm indica que ela esta sendo utilizada com os mesmos valores mas com sinais invertidos, ou seja, o que for positivo será negativo e vice-versa. E, a composição RGB IR12.0 μm – IR10.8 μm ; IR10.8 μm –8.7 μm ; IR10.8 μm que é usada para estudar a microfísica das nuvens.

As outras duas composições foram utilizadas apenas para o 2º estudo de caso, pois o 1º evento ocorre à noite e as composições utilizam canais no visível. A composição colorida RGB NIR 1.6 μm ; VIS0.8 μm ; VIS 0.6 μm é considerada a composição padrão e pode-se visualizar a diferença de nuvens formadas apenas de gotículas de água e nuvens compostas de cristais de gelo e a composição colorida RGB WV6.2 μm – WV7.3 μm ; IR3.9 μm – IR10.8 μm ; NIR1.6 μm – VIS0.6 μm que é indicada para estudar a convecção e as tempestades.

3.6 – Radiosondagens:

Foram analisados dados de radiossondagem dos quais geraram diagramas termodinâmicos nos dois horários das 00UTC e 12UTC obtidos no site <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

Para os dois casos, foram adquiridos dados para os dias 4 a 5 de Fevereiro de 2005 e para os dias 24 e 25 de outubro de 2007 dos perfis atmosféricos de 3 estações: Aeroporto Campo de Marte (SBMT) que fica localizado na zona norte da cidade de São Paulo; Aeroporto do Galeão (SBGL) localizado na Ilha do Governador na zona norte do Rio de Janeiro; do Aeroporto Internacional de Confins no estado de Minas Gerais. Esses

dados foram obtidos na intenção de analisar como se comportou a atmosfera até o evento, verificando a instabilidade próxima da região através dos índices de instabilidades e o CAPE.

Para as comparações dos perfis verticais, foram utilizados os índices de instabilidade, tais como, Índice-K (K, K-Index), Índice Total Totals (TT, Total Totals), Índice Levantado (LI, Lifted Index) e Índice de Showalter (IS, Index Showalter), e, também, foi calculada a energia potencial de convecção ou energia de instabilidade (CAPE, *convective available potential energy*).

Alguns autores, como Diniz (2006), Fedorova (2008b) e Silva Dias (2000), descrevem os valores para cada índice e o CAPE serem considerados de eventos severos e mau tempo.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Os resultados obtidos para os dois eventos foram mostrados nesta seção. Para cada estudo de caso, foram utilizadas as imagens do SEVIRI e dados de radiossondagem.

4.1 – Análise do 1º caso

Foram apresentados os dados referentes aos dias 4 e 5 de fevereiro de 2005 na análise do evento através das imagens de satélites que ocorreu sobre o interior de São Paulo.

4.1.1 – Visão Global das imagens do infravermelho e do vapor de água para o primeiro caso

As imagens dos canais do infravermelho IR10.8 μ m (canal 9) e do vapor de água WV6.2 μ m (canal 5) do globo para o dia 5 de fevereiro de 2005 as 0UTC foram mostradas na figura abaixo. Essas imagens, quando analisadas juntas, podem evidenciar melhor as condições do tempo, segundo Rivera Amores (2001).

Na Figura 15, a primeira imagem (Figura 15a) é a do canal infravermelho e a segunda (Figura 15b) é utilizada para ver a quantidade de vapor de água nos níveis altos da troposfera. Na segunda imagem é vista uma região escura que indica áreas com pouca umidade nos altos níveis, o que é visto também, na imagem do infravermelho já que a mesma região é visualizada escura e indica que não contêm nuvens nos altos níveis, pois as temperaturas nestas regiões não são tão baixas e a banda IR10.8 μ m é utilizada para identificar a temperatura do topo das nuvens ou temperatura da superfície terrestre. Já as áreas mais claras nas imagens indicam umidade alta e topos de nuvens mais frios.

Existe muita nebulosidade sobre o nordeste e sobre o sudeste do Brasil. Nas imagens quando a mesma área está com valores muito baixos de temperatura de brilho (mais clara) nos dois canais indica que são sistemas com nuvens em altos níveis ou podem ser nuvens com grande desenvolvimento vertical. Pode-se levantar a hipótese de que existem nuvens convectivas nas regiões mencionadas pela aparência dessas. As regiões foram indicadas por setas na Figura 15a e 15b, a seta vermelha sobre o nordeste brasileiro e a seta azul a região onde ocorreu o 1º estudo de caso.

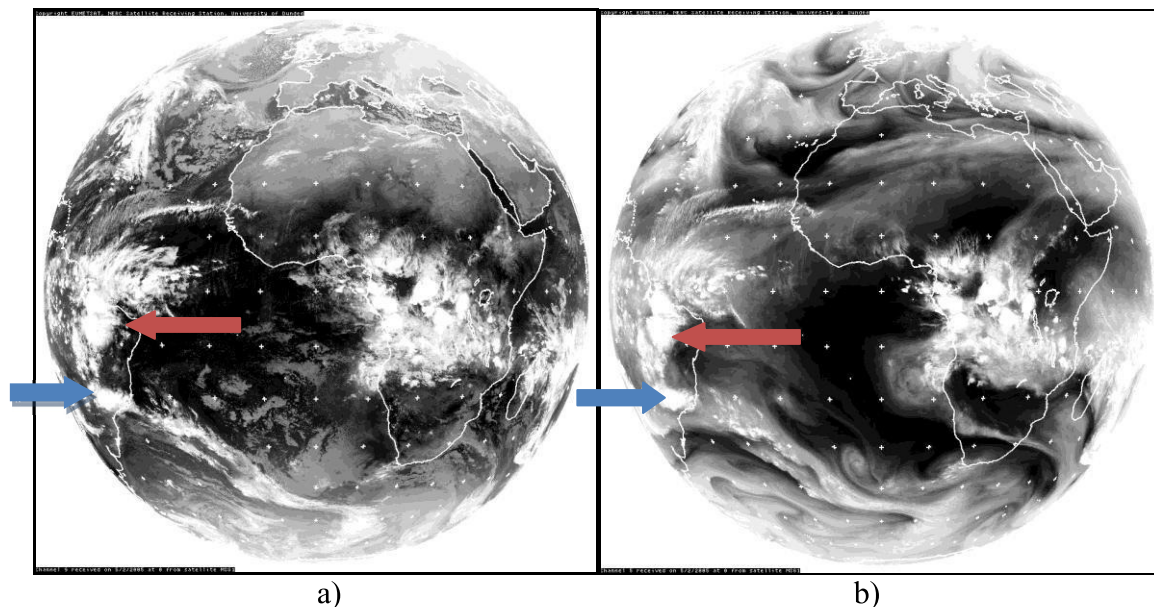


Figura 15 – Imagens do globo através dos canais METEOSAT para o dia 5 de fevereiro de 2005 as 00UTC: a) canal 9 e b) canal 5. A seta azul mostra a região de estudo e a seta vermelha mostra o nordeste brasileiro.

Entretanto, a imagem na banda WV6.2 μm não fornece informação sobre a umidade em níveis baixos e médios. Sendo necessário analisar outros canais do SEVIRI para obter mais características do evento.

4.1.2 – Imagens nos canais termais 3.9 μm e 10.8 μm

Para acompanhar a formação do fenômeno, foram observadas as imagens nos horários sinóticos dos dias 4 e 5 de fevereiro de 2005, no intuito de compreender qual foi o momento em que o evento se intensificou. O canal IR3.9 μm mostra melhor a estrutura do topo de nuvens do que no IR10.8 μm , pois é mais sensível ao tamanho da partícula.

- **CANAL 3.9 μm**

Na Figura 16 mostrou-se a imagem do dia 4 de fevereiro de 2005 no canal 3.9 μm no horário das 18UTC. Este canal é o único que contém tanto informações de refletividade como de emissividade. Na região onde a seta amarela aponta a temperatura de brilho é mais fria e indica assim que se a reflectância foi alta as nuvens estão em altos níveis e são formadas de pequenas partículas de gelo e se foi baixa as nuvens estão em altos níveis e são formadas por grandes partículas de gelo.

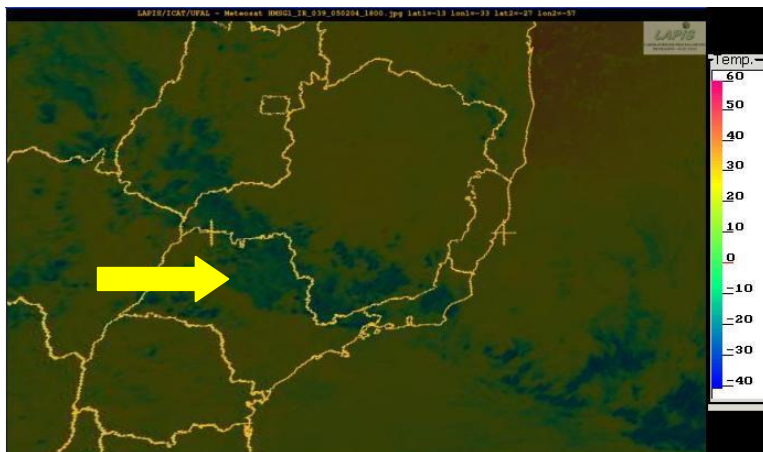


Figura 16 - Imagem do canal 3.9 μ m do dia 4 de fevereiro de 2005 no horário das 18UTC.

O horário do evento é mostrado e escolhido devido à formação das nuvens sobre o interior de São Paulo. Na Figura 17 mostraram-se as imagens do canal 3.9 μ m do dia 5 de fevereiro de 2005 nos horários 00UTC e 06UTC.

Houve uma queda significativa na temperatura sobre o interior de São Paulo entre as 18UTC e as 00UTC do dia seguinte, evidenciando a formação de um sistema sobre a região de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Esse sistema está com temperaturas entre -30 e -40°C e possui um núcleo frio sobre a região aonde ocorreu o evento com temperaturas menores do que -40°C, mostrando assim um sistema convectivo e propicia a formação de tempestades severas. Este núcleo foi indicado na Figura 17a pela seta amarela e também foi indicado por uma seta, um núcleo pequeno e frio sobre o Estado de Minas Gerais (seta vermelha). Pode-se observar, pela Figura 17b, que o sistema dissipou em menos de 6 horas como proposto por Antonio et al (2008). No horário das 00UTC, a temperatura de brilho alcançou valores inferiores ou iguais a -40°C sobre a região estudada indicando nuvens em altos níveis ou com desenvolvimento vertical (setas em amarelo na Figura 17b).

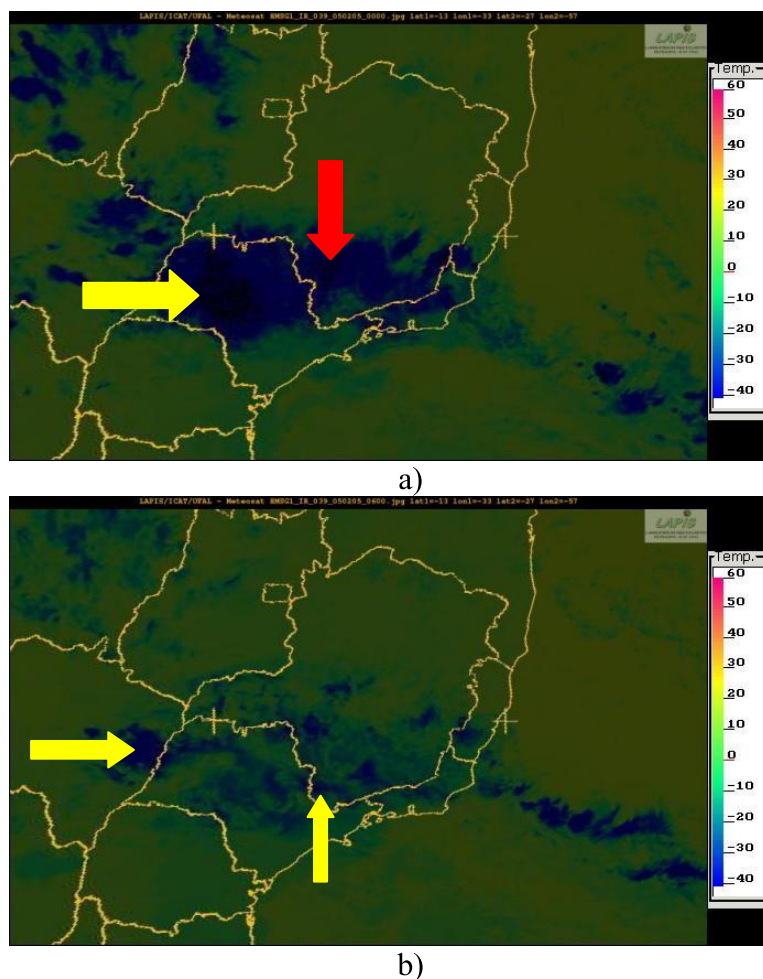


Figura 17 - Imagens do canal $3.9\mu\text{m}$ do dia 05 de fevereiro de 2005 nos horários: a)00UTC e b)06UTC.

O outro canal utilizado foi o canal $\text{IR}10.8\mu\text{m}$ por indicar a temperatura do topo das nuvens gerando a informação se as nuvens possuem um topo mais frio e conseqüentemente estão nos níveis altos da troposfera (nuvens em altos níveis ou com desenvolvimento vertical) ou se são nuvens em níveis médios e baixos.

- **CANAL $\text{IR}10.8\mu\text{m}$**

Na Figura 18, mostrou-se a imagem do dia 4 de fevereiro de 2005 no canal $10.8\mu\text{m}$ no horário das 18:00UTC, pode-se visualizar através da imagem topos bem frios com temperaturas próximas de -40°C no sul do Estado de Minas Gerais e norte do Estado de São Paulo, indicado pelas setas amarelas e um núcleo frio sobre o Rio de Janeiro (seta vermelha).

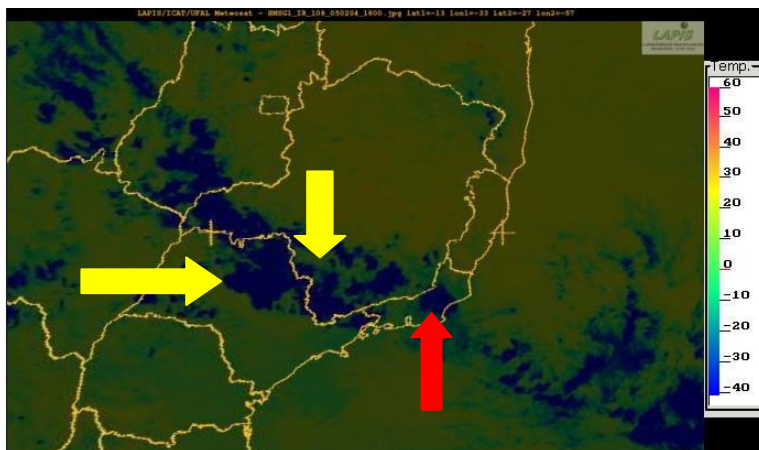


Figura 18 - Imagens do canal 10.8 μ m do dia 4 de fevereiro de 2005 no horário das 18:00UTC.

Nas Figuras 19 e 20, mostraram-se imagens do canal 10.8 μ m do dia 5 de fevereiro de 2005 nos horários 00UTC e 06UTC, respectivamente. No horário da formação do vórtice ciclônico de mesoescala que gerou a formação do complexo convectivo de mesoescala existia a formação de uma nebulosidade com temperaturas próximas a -40°C indicada pela seta amarela na Figura 19. Essa faixa de nebulosidade diminui na Figura 20, ou seja, na imagem é visualizado um aumento de temperatura na região apenas com alguns fragmentos com temperaturas frias ainda (seta vermelha). Evidenciando também, a dissipação do evento em menos de 6 horas. Nem este vórtice e nem o complexo convectivo são visualizados nas imagens apenas é visualizado o aglomerado de nuvens com o topo frio.

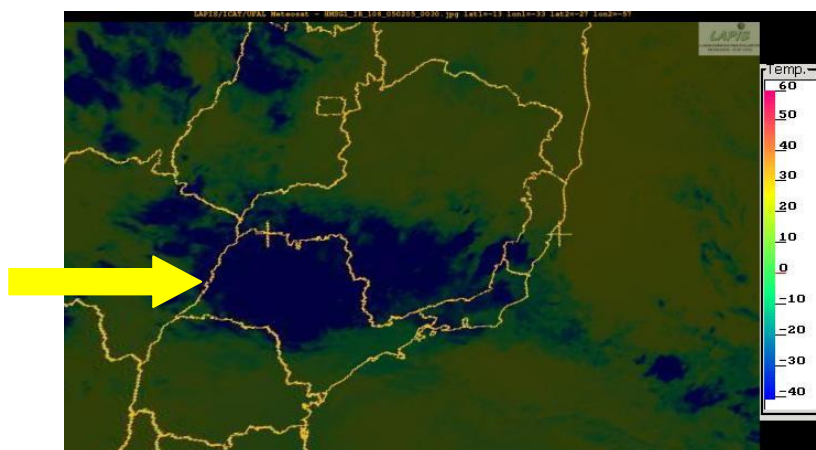


Figura 19 – Imagem do canal 10.8 μ m do dia 5 de fevereiro de 2005 no horário das 00UTC.

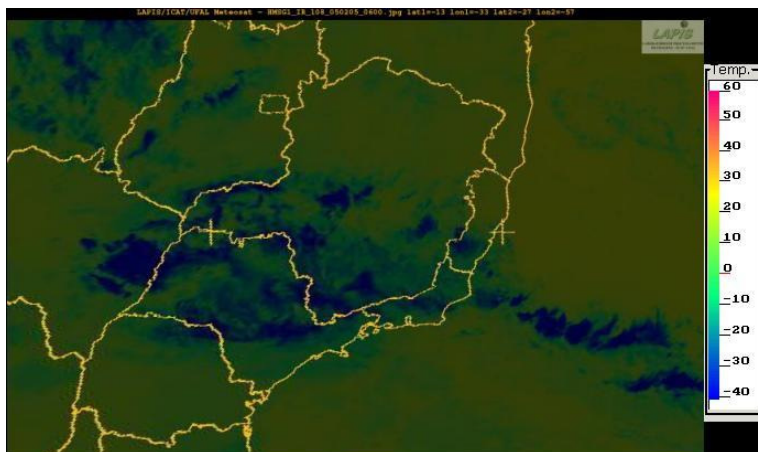


Figura 20 - Imagem do canal 10.8 μ m do dia 5 de fevereiro de 2005 no horário das 06UTC.

As imagens, quando analisadas apenas de um canal, geram várias possibilidades e pode não conter tanta informação sobre o evento ou até mesmo dificultando a percepção desse. Por isso, as combinações de imagens aparecem como uma boa ferramenta para estudar os fenômenos meteorológicos.

4.1.3 – Comparação das composições de imagens com os dados de radiossondagem

Foram geradas composições de imagens para o mesmo horário das radiossondagens no intuito de acompanhar como a atmosfera se comportou próximo a região e também para comparar as composições RGB geradas para este horário.

A composição colorida RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 08.7 μ m; IR10.8 μ m) é indicada no software XRIT2PIC para analisar a microfísica das nuvens. Na Figura 21 são mostradas as cores e o que representam nessa imagem colorida RGB que serve tanto para o dia como para a noite.

Day and Night	BTD _{12.0-10.8}	BTD _{10.8-8.7}	T _{10.8}	
Deep Cb clouds	-0.5	-1	-60	Dark Red
Thick water clouds	-0.5	1	-10	Olive Green
Clouds with small particles	-6	3	0	Light Green
Thin Ci clouds	-4	-4	-40	Black
Desert dust	3	-2	10	Pink
Sands with quartz mineral	1	12	35	Light Blue

Figura 21 – Os valores de diferenças ou temperatura de brilho referente as cores RGB, o que significam cada cor gerada na imagem. Fonte: Lensky e Rosenfeld (2008).

- 00UTC do dia 4 de fevereiro de 2005.

Na Figura 22, foi mostrada essa composição para o dia 04 de fevereiro as 00UTC. A cor marrom representa nuvens com desenvolvimento vertical (Cbs) sobre as regiões dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Sobre uma parte da região do Estado de São Paulo há um aglomerado de nuvens Cbs. Sobre o estado em si tem muitas nuvens espessas de água e nuvens com pequenas partículas.

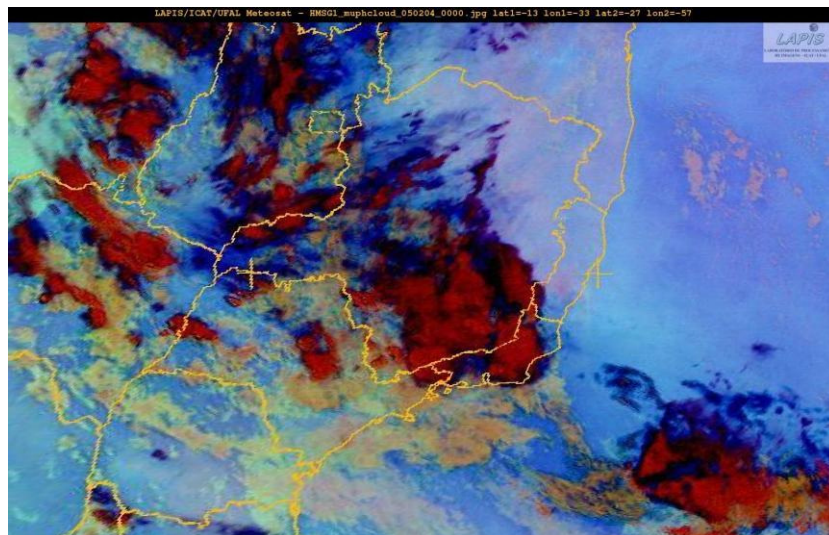


Figura 22 – Composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 00UTC.

Nessa composição colorida RGB se pode notar várias tonalidades de cores, pois cada temperatura de brilho ou diferença de canais possui um valor como resposta espectral e gera uma tonalidade diferente.

Para melhor visualizar os aeroportos, foi feito um corte na imagem colorida utilizada para estudar microfísica de nuvens e foram marcadas as regiões onde esses estão localizados. Na Figura 23, pode-se visualizar que sobre o Aeroporto de Confins (indicado pela seta azul) existiam nuvens Cbs. No Aeroporto do Galeão (indicado pela seta verde), existiam nuvens espessas formadas com partículas de água e no Aeroporto Campo de Marte (indicado pela seta preta) nuvens com pequenas partículas.

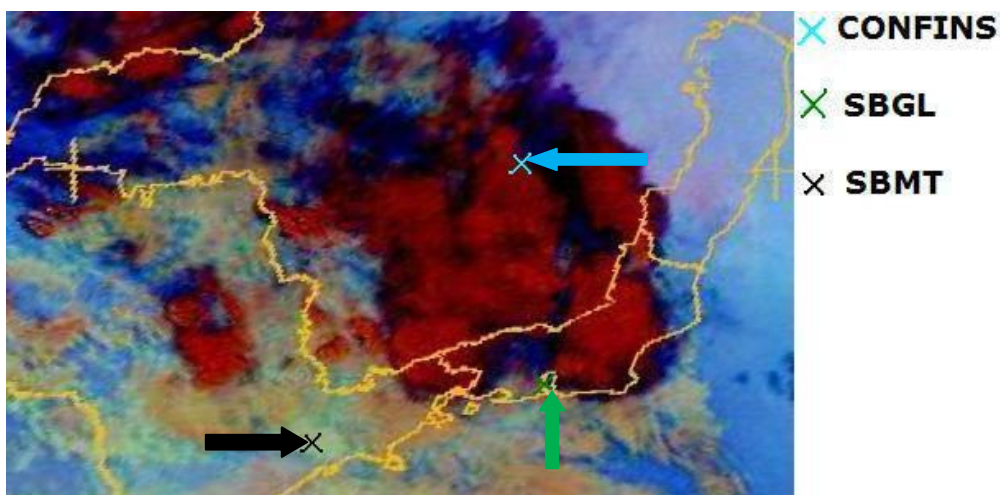


Figura 23 – Recorte da composição RGB (IR12.0 μm – IR10.8 μm ; IR10.8 μm – 8.7 μm ; IR10.8 μm) no horário das 00UTC.

Notou-se também que na figura 23, que as nuvens presentes sobre o aeroporto de Confins foram encontradas em uma grande parte da região sobre Minas Gerais, sobre o estado do Rio de Janeiro e sobre o interior do estado de São Paulo na região onde ocorreu o estudo de caso.

Na figura 24, mostraram-se os dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 00UTC do dia 4 de fevereiro de 2005. Confins em Minas Gerais, Galeão no Rio de Janeiro e Campo de Marte em São Paulo. Esses horários de imagens foram escolhidos devido aos dados de radiossondagem serem coletados de 12 em 12 horas sempre as 00UTC e as 12UTC.

Cada uma dessas radiossondagens possui na sua lateral direita os valores calculados para os índices de instabilidade e o CAPE junto com a latitude e longitude que foram coletados, ou na hora do lançamento do balão meteorológico.

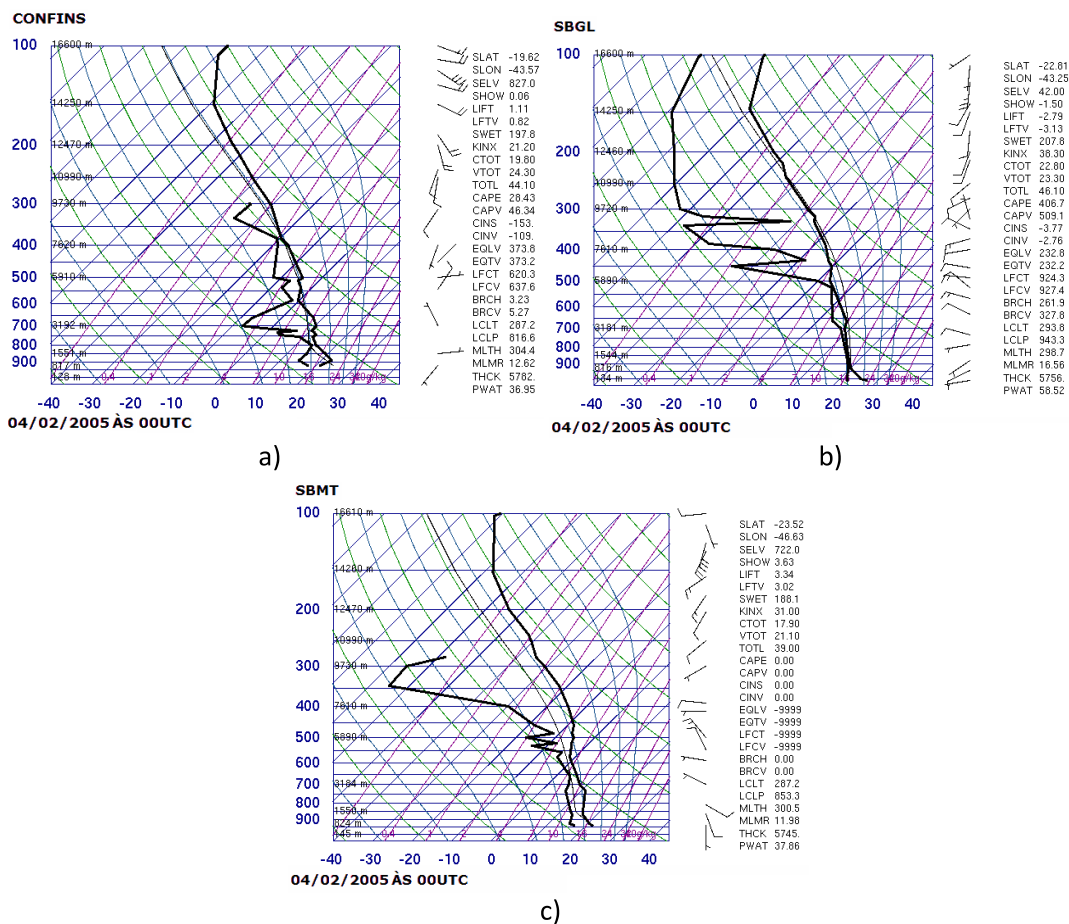


Figura 24 – Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 00UTC do dia 4 de fevereiro de 2005. a) Confins em MG, b) Galeão em RJ e c) Campo de Marte em SP.

Na Figura 24a, temos aproximação da linha Td e T em alguns níveis o que mostra as camadas úmidas, inversão térmica em 150 hPa que mostra o topo da troposfera e inversão de subsidência em baixos níveis (900 -925). Esta inversão térmica em 150 hPa é vista nas 3 radiossondagens indicando a inversão da troposfera. Já na Figura 24b, há isotermita em algumas camadas finas e na 24c, há pouca umidade nos níveis mais altos da troposfera (acima de 500 hPa). Nas figuras 24b e 24c, há camada superficial instável com gradiente vertical igual adiabático seco. Na Tabela 2, foram mostrados os valores dos índices instabilidade e o CAPE para as 3 radiossondagens da Figura 24.

Tabela 2 – Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 00UTC do dia 4 de fevereiro de 2005.

ÍNDICES DE INSTABILIDADE E CAPE	Campo de Marte	Confins	Galeão
Índice K	31,00	21,20	38,30
Índice de Showalter	3,63	0,06	-1,50
Índice Total Totals	39,00	44,10	46,10
Índice Levantado	3,34	1,11	-2,79
CAPE	0,00	28,43	406,7

O Índice K, para ser significativo, tem que ser maior do que 24, ele representa calor e umidade em baixos níveis desde a superfície até 700 hPa. Esse Índice foi alto nos aeroportos de São Paulo (31,00) e do Rio de Janeiro (38,30) indicando bastante umidade em baixos níveis sendo propícia a formação de nuvens em níveis baixos da troposfera que são formadas por partículas de água como indicava a Figura 23. Já no aeroporto de Confins o valor do índice não foi tão significativo (21,20) e isso também pode ser visualizado na radiossondagem (Figura 23a), pois o Índice K diminui tem seu valor reduzido se houver uma camada seca em 700 hPa que foi o que aconteceu neste caso, T e Td se afastaram a partir de aproximadamente 725 hPa a 700 hPa.

Os Índices de Showalter e de Levantamento informa apenas a instabilidade da camada e para serem significativos precisam ser menor que -3 isso ocorre, quando há umidade e calor nos níveis baixos e ar frio em 500 hPa.

Para o Índice Total Totals ser significativo, precisa ser maior que o valor 45 e isso só ocorre na radiossondagem do Galeão em que o valor chegou a 46,10, o que indica calor e umidade em 850 hPa, como pode ser visualizado na Figura 24b pelas curvas de T e Td estarem muito próximas desde a superfície até 700 hPa. O valor desse índice não é afetado se houver uma camada seca em 700 hPa e isso ocorre no aeroporto de Confins, onde o valor foi alto apesar de não chegar a ser significativo. O valor mais baixo foi em Campo de Marte aonde houve uma inversão térmica em 870 e 750 hPa inibindo a formação de nuvens nestes níveis e isso é confirmado na análise da Figura 23 onde as nuvens em baixos níveis são mais espessas no aeroporto do Galeão do que no Campo de Marte. O CAPE mostrado nas radiossondagens são baixos como se pode notar na tabela 2. No Galeão o CAPE foi de 406,7 e também indica fraca convecção.

- 12UTC do dia 4 de fevereiro de 2005.

Na figura 25, mostrou-se a composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 08.7 μ m; IR10.8 μ m) para o horário das 12UTC. Na região sudeste em grande parte dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e na metade do Estado de Minas Gerais existiam aglomerados em tonalidades beges o que indica nuvens espessas formadas por gotículas de água.

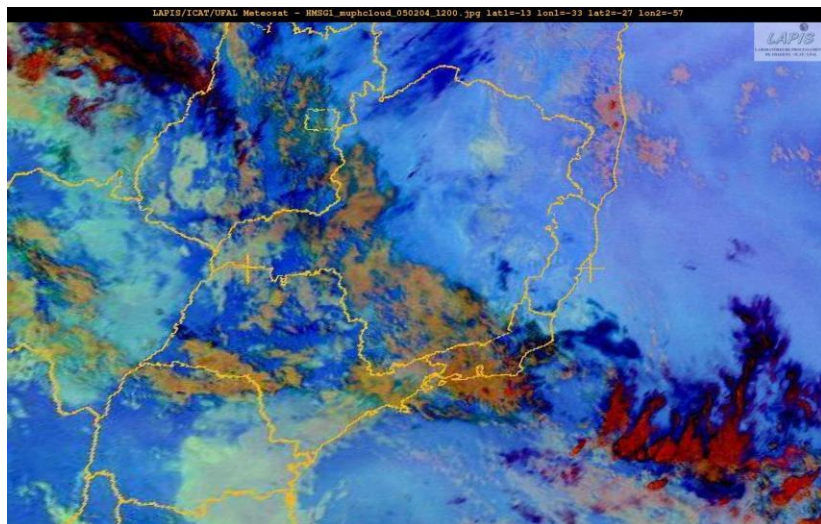


Figura 25 – Composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 12UTC.

Na Figura 26, o Aeroporto do Galeão possui nuvens espessas formadas por gotículas de água indicado pela seta verde, no Aeroporto de São Paulo as nuvens são formadas por pequenas partículas apontadas pela seta preta e no Aeroporto de Confins o céu claro e limpo (seta laranja).

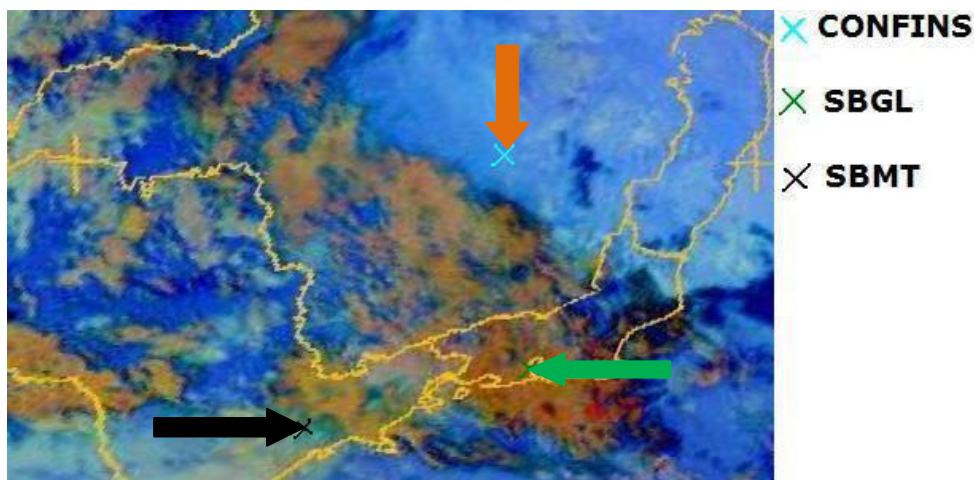


Figura 26 – Recorte da composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 12UTC.

Na figura 27, mostraram-se os dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12UTC do dia 4 de fevereiro de 2005, Confins em Minas Gerais, Galeão, no Rio de Janeiro e Campo de Marte em São Paulo.

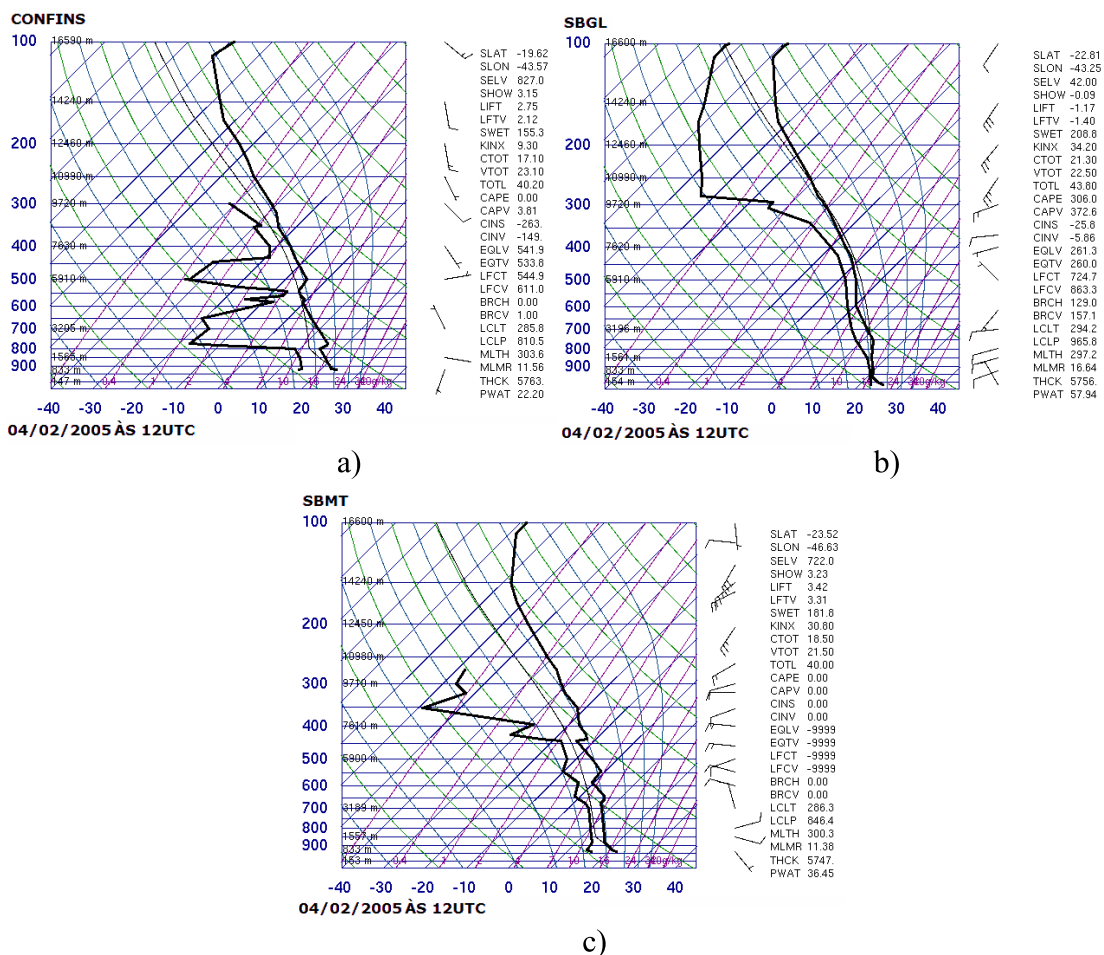


Figura 27 – Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12UTC do dia 4 de fevereiro de 2005. a) Confins (MG), b) Galeão (RJ) e c) Campo de Marte (SP).

A Figura 27a mostra uma atmosfera com camadas bem secas, devido ao afastamento de T e Td, tendo inversão térmica entre 800 e 750 hPa, 550 e 500 hPa. Na Figura 27b o perfil da atmosfera é bem úmido desde a superfície até 350 hPa. No aeroporto de São Paulo, há inversão de subsidência fraca ou isoterma 680 a 650 hPa, de 600 hPa a 550 hPa e inversão mais intensa perto de 400 hPa. Nas 3 radiossondagens tem inversão no topo da troposfera em 120 hPa e nas figuras 27b e 27c existe uma camada superficial instável entre 1000 e 925 hPa.

Na Tabela 3, podem ser visualizados os índices de instabilidade e os dados das radiossondagens da Figura 27.

Tabela 3 - Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 12UTC do dia 4 de fevereiro de 2005.

ÍNDICES DE INSTABILIDADE E CAPE	Campo de Marte	Confins	Galeão
Índice K	30,80	9,30	34,20
Índice de Showalter	3,23	3,15	-0,09
Índice Total Totals	40,00	40,20	43,80
Índice Levantado	3,42	2,75	-1,17
CAPE	0,00	0,00	306,0

O Índice K é o único índice com valores significativos nas radiossondagens do aeroporto do Galeão e do aeroporto de Campo de Marte com valores de 34,20 e 30,80, respectivamente. Isso indica que possuem umidade em baixos níveis propícios a formação de nuvens baixas e no perfil do aeroporto do Rio de Janeiro possui muita umidade até altos níveis aproximadamente 390 hPa e pode haver formação de nuvens em níveis médios. Como é mostrado na figura 26a tem camadas finas das nuvens em médios níveis, já na 27b nuvens estratiformes (Ns, Sc, As) em toda atmosfera e na 27c os mesmos mostrados na figura 27b mas até 450 hPa.

Na imagem da Figura 26, o aeroporto que Confins esta com o céu claro, ou seja, o céu livre da presença de nuvens e isto é confirmado pelos índices de instabilidade que não possuem valores significativos na radiossondagem e pelo CAPE ser zero tendo as curvas de T e Td afastadas e quando essas se aproximam logo em seguida tem uma camada de inversão o que vai inibir a formação de nuvens.

- 00UTC do dia 05 de fevereiro de 2005

Na Figura 28, a composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) mostrou um grande aglomerado de Cbs. Essa imagem refere-se ao horário do 1º estudo de caso, notou-se que esta tonalidade esta sobre a região onde ocorreu o evento.

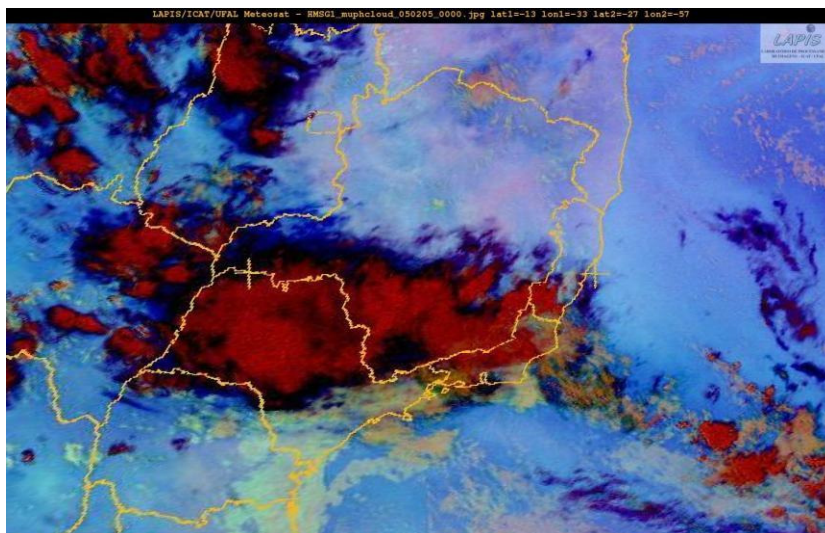


Figura 28 - Composição RGB (IR12.0 μm – IR10.8 μm ; IR10.8 μm – 8.7 μm ; IR10.8 μm) no horário das 00UTC.

Na Figura 29, o Aeroporto do Galeão possui nuvens espessas e formadas por gotículas de água indicadas pela seta verde e já no Aeroporto de São Paulo nuvens formadas por pequenas partículas pela seta preta e no Aeroporto de Confins esta sobre uma zona de tonalidades diferentes (seta azul).

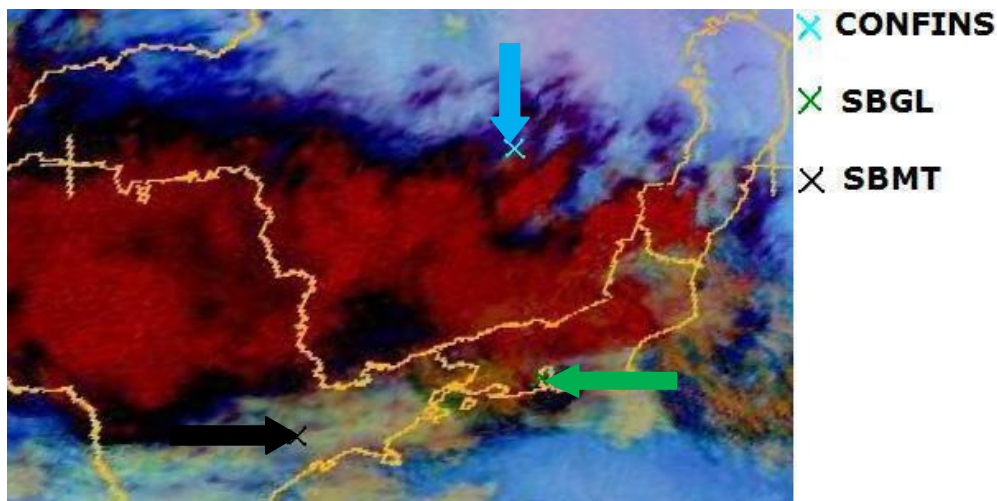


Figura 29 – Recorte da composição RGB (IR12.0 μm – IR10.8 μm ; IR10.8 μm – 8.7 μm ; IR10.8 μm) no horário das 00UTC.

Na Figura 30, mostraram os dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 00UTC do dia 05 de fevereiro de 2005, Confins em Minas Gerais, Galeão no Rio de Janeiro e Campo de Marte em São Paulo.

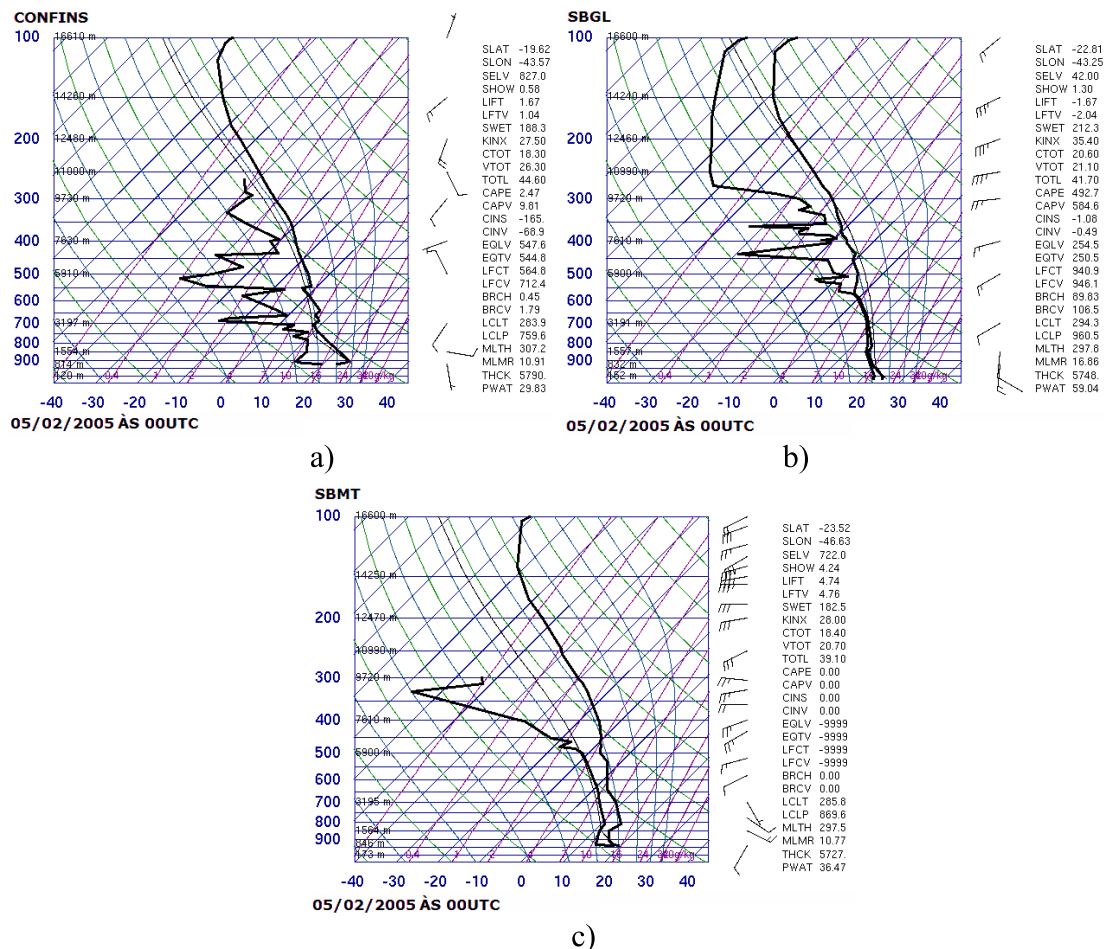


Figura 30 – Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 00UTC do dia 05 de fevereiro de 2005. a) Confins (MG), b) Galeão (RJ) e c) Campo de Marte (SP).

Na Figura 30a a radiossondagem mostra inversões de subsidência aproximadamente nas camadas 550 hPa, 700 hPa e entre 1000 e 900 hPa e mostra também camadas finas das nuvens nos médios níveis. Na Figura 30b tem umidade de 100% até o nível de 550 hPa com nuvens estratiformes (As e Sc) até 500 hPa e acima camadas finas das As e na 30c tem inversão frontal entre 800 e 850 hPa, o perfil indica umidade até 500 hPa e as nuvens são as mesmas visualizadas na Figura 30b, mas foram visualizadas até 450 hPa.

A Tabela 4 mostra os valores dos Índices de instabilidade e o CAPE retirados das radiossondagens da Figura 30.

Tabela 4 - Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 00UTC do dia 5 de fevereiro de 2005.

ÍNDICES DE INSTABILIDADE E CAPE	Campo de Marte	Confins	Galeão
Índice K	28,00	27,50	35,40
Índice de Showalter	4,24	0,58	1,30
Índice Total Totals	39,10	44,60	41,70
Índice Levantado	4,74	1,67	-1,67
CAPE	0,00	2,47	492,7

O Índice K é significativo nos 3 aeroportos, ou seja, Campo de Marte é 28,00, Confins é 27,50 e Galeão é 35,40. O Índice de Showalter e o Índice Levantado não são significativos nos 3 aeroportos, mas eles indicam apenas a instabilidade da camada.

- 12UTC do dia 5 de fevereiro de 2005.

Na Figura 31 do horário das 12UTC mostra a composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m), pode-se notar que não se vê mais aquela formação de nuvens com desenvolvimento vertical. Nos Estados de São Paulo e Minas Gerais as nuvens formadas são espessas com gotículas de água, nuvens com pequenas partículas e nuvens cirrus finas. No Rio de Janeiro existem nuvens espessas com gotículas de água.

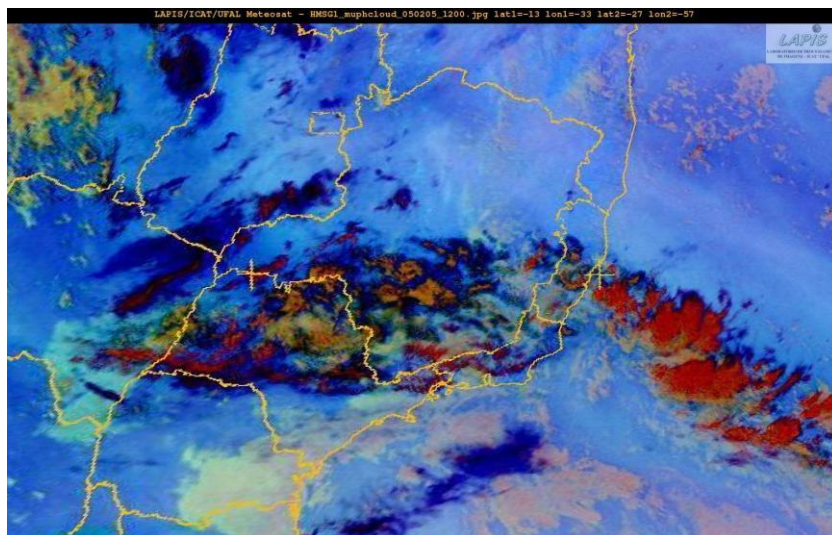


Figura 31 - Composição RGB (IR12.0 μm – IR10.8 μm ; IR10.8 μm – 8.7 μm ; IR10.8 μm) no horário às 12UTC.

Na Figura 32, os Aeroportos de São Paulo, indicados pela seta preta, e Rio de Janeiro, pela seta verde, estão com nuvens formadas por pequenas partículas e no Aeroporto de Confins existem nuvens cirros finas (seta azul).

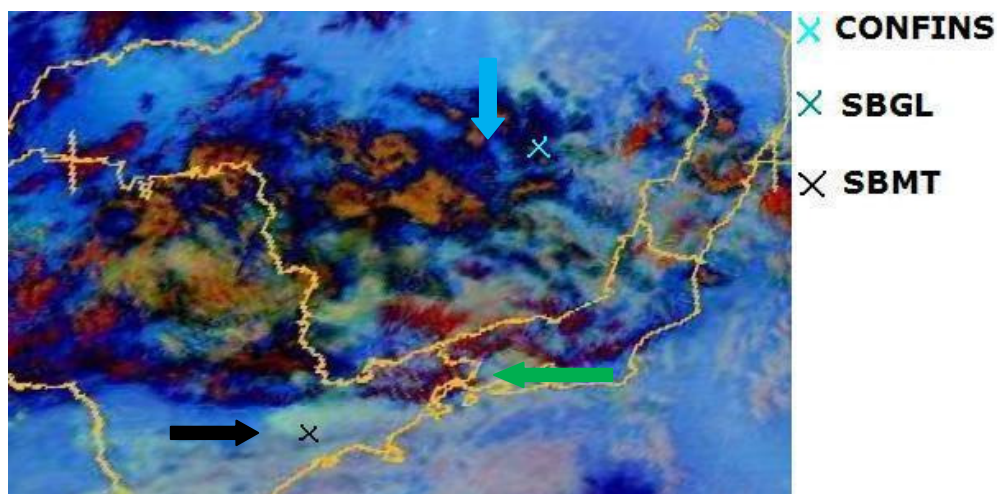


Figura 32 – Recorte da imagem de composição RGB (IR12.0 μm – IR10.8 μm ; IR10.8 μm – 8.7 μm ; IR10.8 μm) no horário às 12UTC.

Na figura 33, mostraram-se os dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12 UTC do dia 5 de fevereiro de 2005, Confins, em Minas Gerais, Galeão, no Rio de Janeiro, e Campo de Marte, em São Paulo.

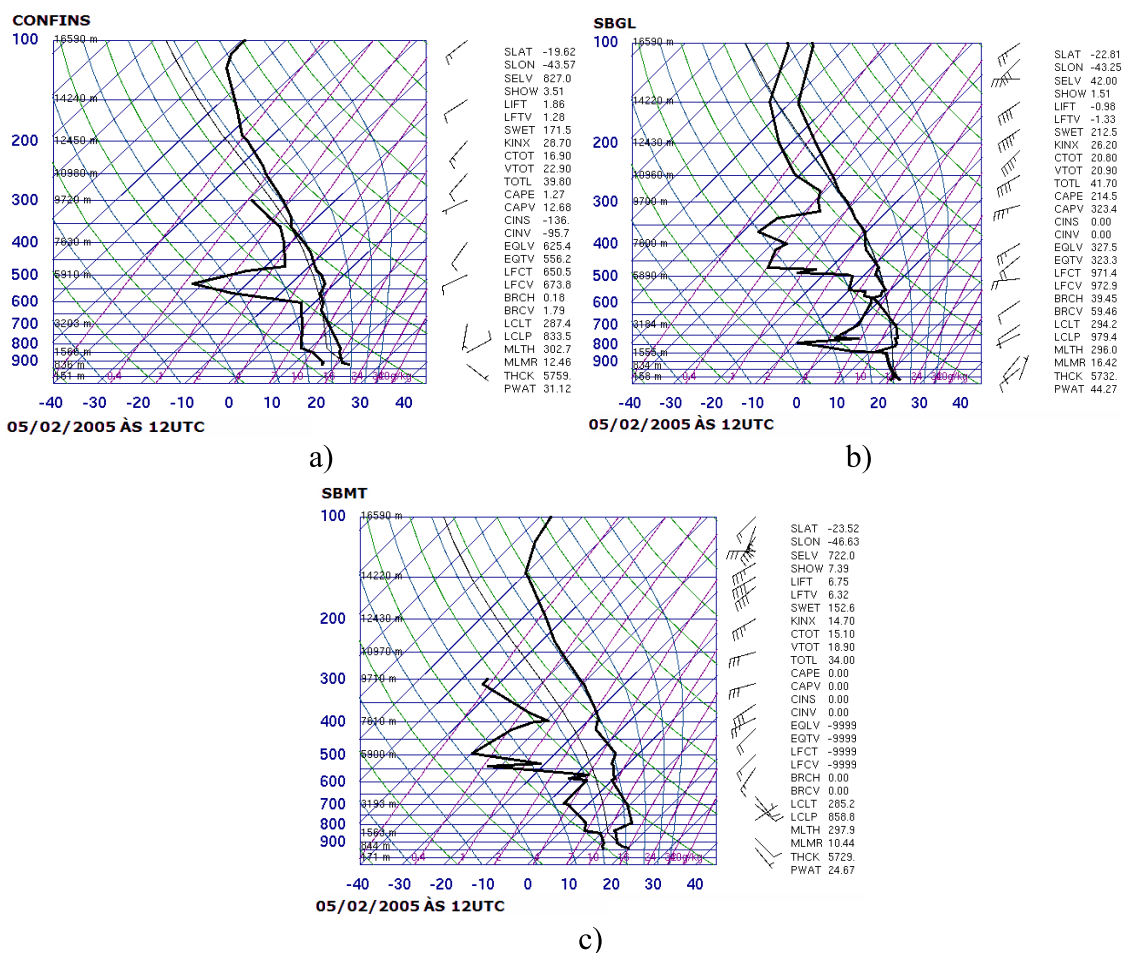


Figura 33 – Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12UTC do dia 05 de fevereiro de 2005. a) Confins (MG), b) Galeão (RJ) e c) Campo de Marte (SP).

Na Figura 33a, tem uma fina camada das nuvens As e Cs em 350 hPa e na 33b pode se observar formação de nuvens Stratuscumulus (Sc), Cumulus e Altocumulus (Ac) nas camadas entre 1000 e 850 hPa, aproximadamente em 600 hPa e acima destas nuvens camadas de subsidência entre 800 e 850 hPa e entre 550 e 600 hPa. Na Tabela 5, são mostrados os valores dos índices de instabilidade encontrados nas radiossondagens da Figura 33.

Tabela 5 - Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 12UTC do dia 5 de fevereiro de 2005.

ÍNDICES DE INSTABILIDADE E CAPE	Campo de Marte	Confins	Galeão
Índice K	14,70	28,70	26,20
Índice de Showalter	7,39	3,51	1,51
Índice Total Totals	34,00	39,80	41,70
Índice Levantado	6,75	1,86	-0,98
CAPE	0,00	1,27	214,5

4.1.4 – As composições coloridas RGB:

As composições de imagens foram geradas para os horários de 23:30 às 00:30UTC de 15 em 15 minutos mostrando a evolução do evento. No caso desse fenômeno, foi utilizada a composição RGB para distinguir massas de ar com alta e baixa concentração de ozônio, pois o evento ocorre à noite e algumas composições como de convecção profunda e RGB padrão utilizam canais solares. Essa composição é utilizada para distinguir ciclogêneses e análises de corrente de jato. Na figura 34 é ilustrado o que corresponde cada cor resultante da combinação das bandas na composição RGB.


Air Mass	BTD _{6.2-7.3}	BTD _{9.7-10.8}	T _{6.2}	
Thick, high-level clouds	-1	10	-60	
Thick, mid-level clouds	-5	-5	-50	
Rich Ozone Polar air mass	-20	-35	-40	
Dry descending stratospheric air	-16	-33	-30	
Low Ozone tropical air mass	-22	-22	-32	

Figura 34 – Os valores de diferenças ou temperatura de brilho referente as cores RGB, o que significam cada cor gerada na imagem. Fonte: Lensky e Rosenfeld (2008).

A Figura 35 mostrou a composição colorida RGB (WV6.2 μm – WV7.3; IR 9.7 μm – IR 10.8 μm ; IR6.2 μm) para a região no horário das 00:15UTC, esta composição é a indicada para visualizar massas de ar.

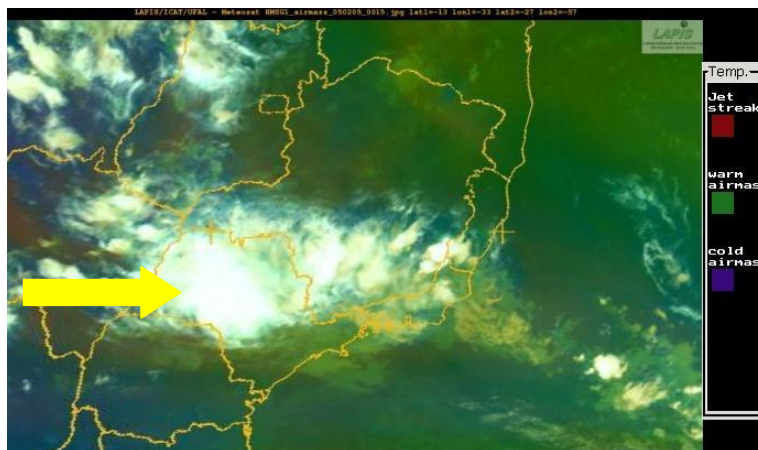


Figura 35 - Imagens em composição colorida RGB (WV6.2 μm – WV7.3; IR 9.7 μm – IR 10.8 μm ; IR6.2 μm) no dia 5 de fevereiro de 2005 as 00:15UTC

Pode-se ver que o aglomerado, indicado pela seta amarela, sobre o Estado de São Paulo, é de nuvens altas e provavelmente essas nuvens sejam Cbs, pois esta tonalidade branca numa composição RGB é originada pelas bandas associadas a cada cor correspondente, pois tem forte componente de vermelho devido a temperatura do vapor de água serem semelhantes nos canais WV6.2 μm e WV7.3 μm , forte componente de verde, pois a diferença IR9.7 μm -IR10.8 μm é positiva, já que existe ozônio abaixo do topo das nuvens e este ozônio origina absorção no canal IR9.7 a níveis inferiores (mais quentes) que o nível do topo da nuvem, cuja a temperatura é dada pelo canal IR10.8 μm . E possui também, uma forte componente de azul, pois o vapor de água existe nos níveis muito elevados, logo mais frios. Esse aglomerado deve ser o sistema convectivo gerado pelo vórtice ciclônico de mesoescala mencionado por Antonio et al (2008).

A massa de ar quente é vista sobre a região na parte do sudeste na cor esverdeado, isto ocorre devido ao ar ser seco nos níveis médios e altos e o ar ser úmido nos níveis mais baixos. Então a temperatura de brilho é maior no canal WV7.3 que é mais sensível à umidade em níveis mais baixos do que no canal WV6.2, desta maneira a diferença desses canais associados ao vermelho vai ser negativa, ou seja, a componente vai ser pequena. Vai ter pouca componente de azul, pois o vapor de água existe em níveis relativamente mais baixos e logo mais quentes na troposfera. Mesmo em áreas com nuvens ou sem nuvens existe uma componente de verde, pois a diferença dos canais associados ao verde vai ser negativa.

A massa de ar frio tem a tonalidade em azul, pois o ar é seco nos níveis médios-altos e mais úmido nos níveis baixos, isto é, a temperatura de brilho é maior no

canal WV7.3 que é sensível a umidade nos níveis mais baixos do que no canal WV6.2. Assim, a diferença é negativa (aproximadamente -20°C) e tem pouca resposta no vermelho. Tem pouca componente da cor verde porque a diferença é negativa e tanto mais negativa quanto maior for a concentração de ozônio, pois a “temperatura do ozônio” (canal IR9.7) é mais baixa que a temperatura da superfície ou topo de nuvens baixas (IR10.8). Tem uma componente da cor azul considerável, pois o vapor de água responsável pela absorção de radiação na banda WV6.2 tem uma temperatura mais baixa (níveis mais altos) do que na massa de ar quente, mesmo tendo em conta que na massa de ar frio, a tropopausa está mais baixa do que na massa de ar tropical.

Com os dados brutos, foram geradas também matrizes onde os valores de temperatura de brilho dos canais puderam ser analisados e comparados. Esses dados são apenas transformados em temperatura de brilho e não estão em projeção mercator.

4.1.5 – Análise da informação gerada pela diferença dos canais de vapor de água

Com informações de temperatura de brilho, foi feita nesta seção uma subtração de canais do vapor de água, explorando melhor e destacando ou realçando o evento. Segundo Moreira (2007) se a diferença dos canais WV6.2 μm (canal 5) - WV7.3 μm (canal 6) tiver valores próximos de zero indica elevados conteúdos de vapor de água nos níveis altos e se essa diferença tiver valores negativos sugere que existem elevados conteúdos de vapor de água nos níveis médios, mas não nos níveis altos.

- **WV 6.2 μm – WV 7.3 μm**

O canal WV6.2 μm serve para estudar a umidade nos níveis altos da troposfera e o canal WV7.3 μm para estudar a umidade presente nos níveis médios da troposfera.

Como a atmosfera tende a ter menos vapor de água com a altitude, essa diferença de temperatura de brilho entre estes dois canais pode indicar em que região da imagem tem maior probabilidade de umidade no seu perfil e, assim, pode se identificar as regiões em que o evento está se formando ou se intensificando.

Na Figura 36, mostrou-se o produto gerado pela diferença dos canais multiespectrais (WV6.2 μm – WV7.3 μm) no horário das 00:15UTC sobre a região sudeste no dia 5 de fevereiro de 2005.

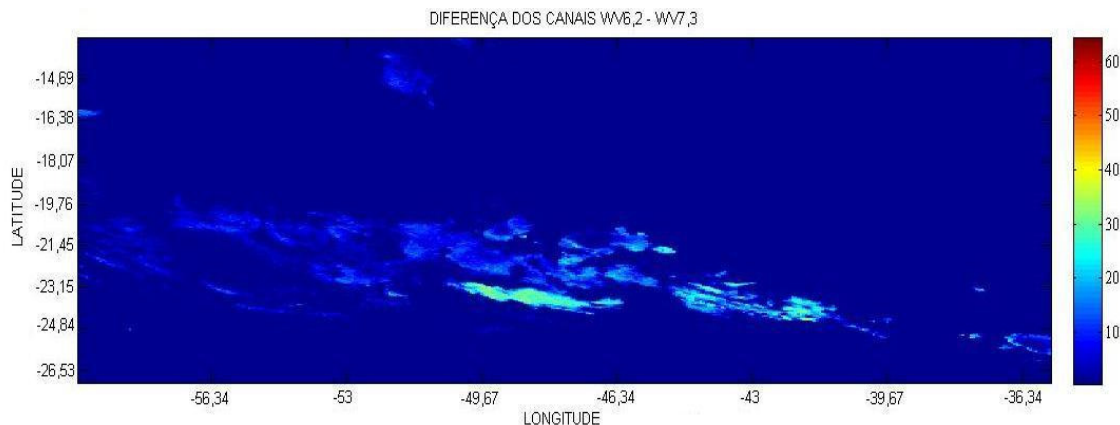


Figura 36 – Produto gerado pela diferença dos canais multiespectrais (WV6.2 μm – WV7.3 μm) no horário das 00:15UTC.

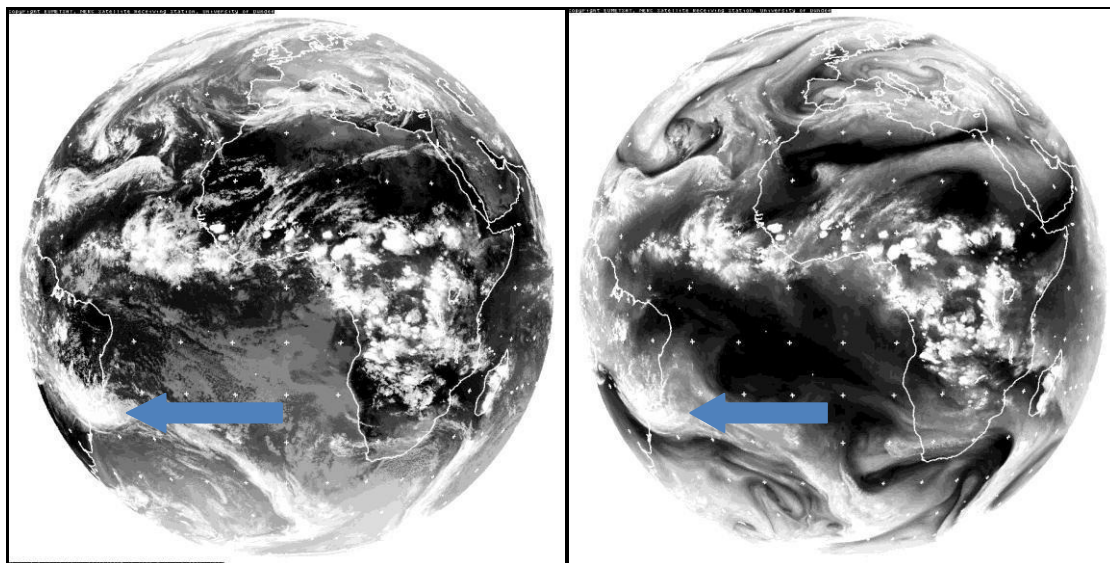
A região onde o evento se intensificou está indicada pelo azul médio e os valores encontrados na diferença destes dois canais são entre 4 e 13°C, esses valores são aceitos na literatura. Teve uma pequena região com valores entre 26 e 36°C que foi indicado pelo azul claro. Os valores em azul escuro indicam que não é propício a formação de nuvens ou que estas devem ser nuvens de médios ou baixos níveis apenas, pois a temperatura assim como a umidade de uma atmosfera estável está relacionada com a altitude e como já mencionada à temperatura de brilho assim como o vapor de água são maiores nos níveis médios do que nos níveis mais altos da atmosfera. Assim, o valor negativo do produto gerado pela diferença de canais era esperado, uma vez que a temperatura deve ser maior no WV7.3 μm do que no WV6.2 μm .

4.2 – Análise do 2º evento:

Nesta seção, foram mostradas as informações geradas para o estudo do fenômeno que ocorreu sobre o sudeste no dia 24 de outubro de 2007.

4.2.1 – Visão Global das imagens do infravermelho e do vapor de água para o segundo caso:

Na Figura 37, mostraram-se as imagens do dia 24 de outubro de 2007 às 18:00UTC nos canais infravermelho IR10.8 μm (canal 9) e vapor de água WV6.2 μm (canal 5). Pode-se notar que a área de estudo do segundo caso está com uma faixa de nebulosidade alta e muito úmida (valores de temperatura de brilho mais baixos) sobre a região nas duas imagens indicada pela seta azul.



a)

b)

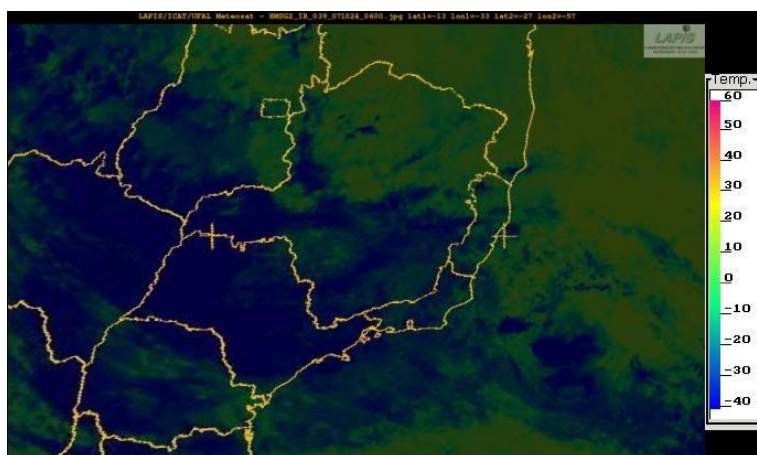
Figura 37 – Imagens do globo através dos canais METEOSAT para o dia 24 de outubro de 2007 às 18UTC: a) canal 9 e b) canal 5.

4.2.2 – Imagens nos canais termais $3.9\mu\text{m}$ e $10.8\mu\text{m}$:

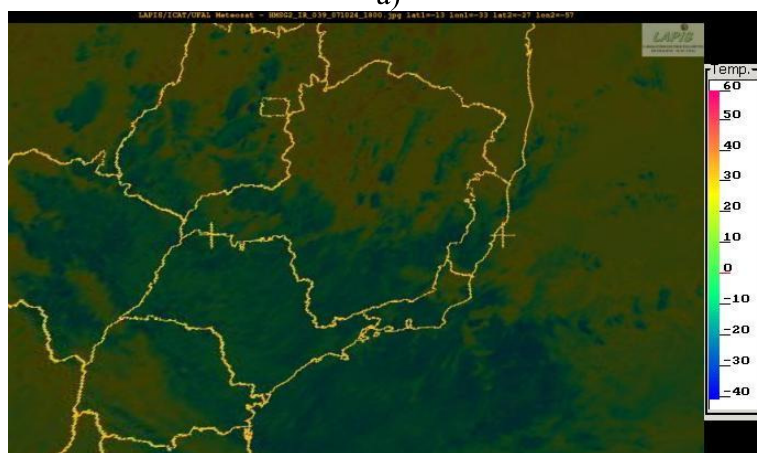
Foram utilizadas as imagens do dia 24 e 25 de outubro de 2007 nos horários sinóticos para acompanhar a intensificação e a dissipação do evento sobre a região.

- **CANAL $3.9\mu\text{m}$**

Na Figura 38, mostraram-se imagens do canal $3.9\mu\text{m}$ do dia 24 de outubro de 2007 nos horários: 06UTC e 18UTC. Percebe-se o deslocamento da nebulosidade para a costa brasileira. As figuras 38a e 38b apontaram valores diferentes para a mesma nebulosidade e isso pode ter acontecido por ser um canal que fica na transição entre refletividade e emissividade. Pode-se levantar a hipótese de que são nuvens altas, mas não se pode definir se são compostas apenas por pequenas partículas de gelo ou se são compostas por grandes partículas também.



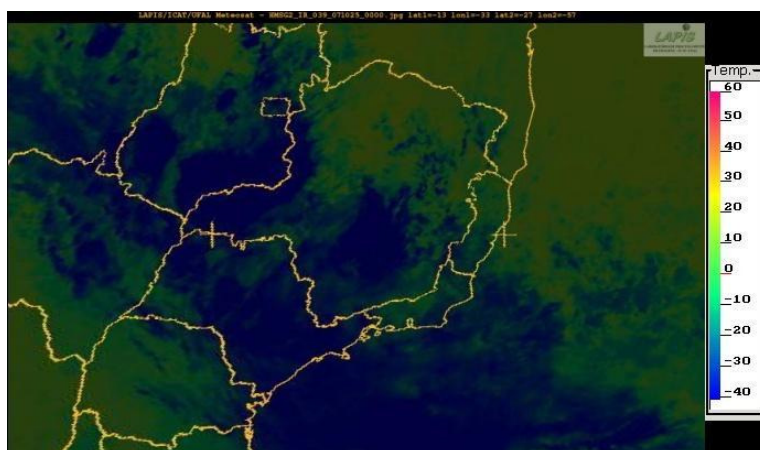
a)



c)

Figura 38 - Imagens do canal 3.9 μ m do dia 24 de outubro de 2007 nos horários:
a)06UTC e b)18UTC.

A nebulosidade é persistente e abrange uma grande área sobre a região sudeste e pode se levantar a hipótese de uma frente semi-estacionária, mas apenas com os dados analisados até o momento não se pode confirmar esta informação. Nas figuras 39 e 40 mostraram-se as imagens do canal 3.9 μ m do dia 25 de outubro de 2007 nos horários 00UTC, 06UTC, 12UTC e 18UTC.



a)



b)

Figura 39 - Imagens do canal 3.9 μ m do dia 25 de outubro de 2007 nos horários:
a)00UTC e b)06UTC.

A nebulosidade às 18UTC do dia seguinte ao evento mostrou ainda o afastamento para a costa do oceano Atlântico do sistema que causou precipitações contínuas entre 23 e 25 de outubro de 2007.



a)

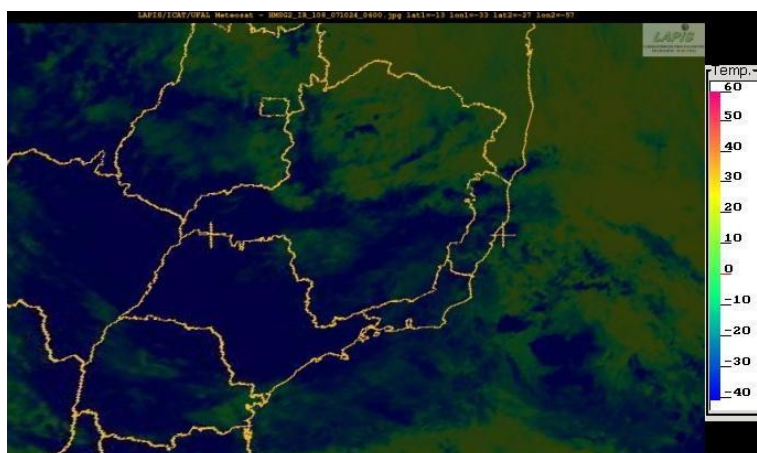


b)

Figura 40 - Imagens do canal 3.9 μ m do dia 25 de outubro de 2007 nos horários:
a)12UTC e b)18UTC.

• CANAL 10.8 μ m

A Figura 40 mostrou imagens do canal 10.8 μ m do dia 24 de outubro de 2007 nos horários: 06UTC e 18UTC. Nessas imagens também mostra o deslocamento da nebulosidade para o litoral. Nota-se que a temperatura da nebulosidade é continua nesse canal, que é uma banda que fornece a informação da temperatura do topo das nuvens. Indicando nuvens com formação em altos níveis ou até altos níveis, pois as temperaturas são inferiores a -40° C.



a)

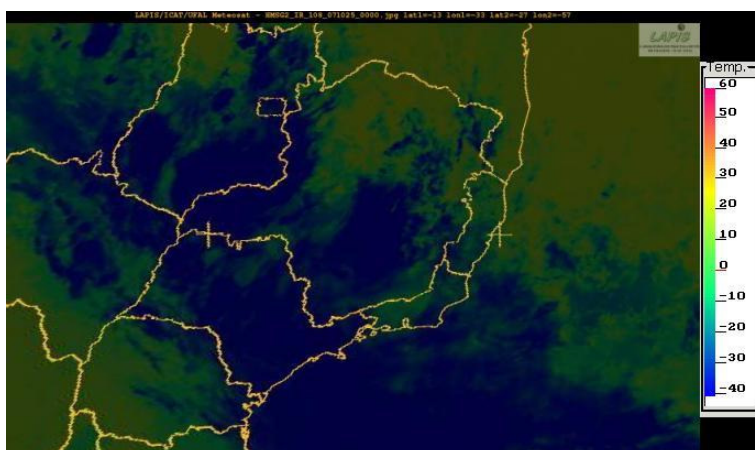


b)

Figura 41 - Imagens do canal 10.8 μ m do dia 24 de outubro de 2007 nos horários:
a)06UTC e c)18UTC.

Na Figura 41, ficou evidente a presença de nebulosidade sobre a região durante todo o dia. Apenas com este canal não se consegue definir o horário em que o evento se intensificou. Por isso, a combinação de informações se torna necessária.

Nas Figuras 42 e 43, mostraram imagens do canal 10.8 μ m do dia 25 de outubro de 2007 nos horários 00UTC, 06UTC, 12UTC e 18UTC.



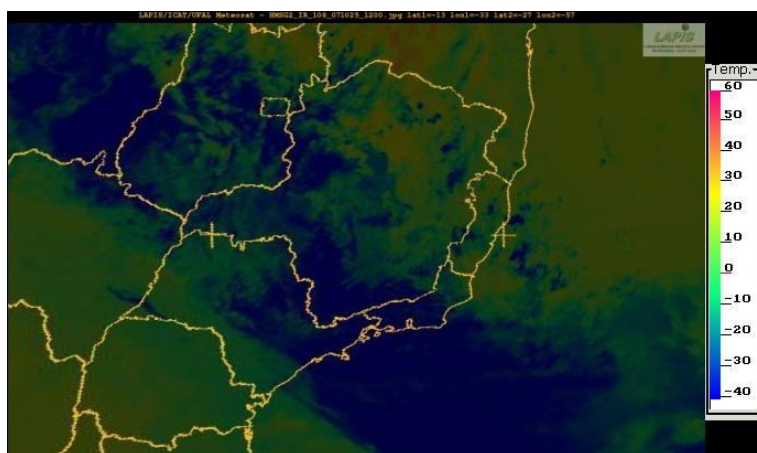
a)



b)

Figura 42- Imagens do canal 10.8 μ m do dia 25 de outubro de 2007 nos horários:
a)00UTC e b)06UTC.

Na Figura 43, pode-se perceber que a nebulosidade se deslocou para o litoral do sudeste. Assim, diminuindo a precipitação sobre a região e reforçando a hipótese de que é uma frente semi-estacionária.



a)



b)

Figura 43 - Imagens do canal $10.8\mu\text{m}$ do dia 25 de outubro de 2007 nos horários: a)12UTC e b)18UTC.

4.2.3 – Comparação das composições de imagens com os dados de radiossondagem

Foram geradas composições de imagens para o horário em que as radiossondagens foram captadas. As radiossondagens utilizadas para esse foram no dia 24 de outubro de 2007 no intuito de acompanhar como a atmosfera se comportou próxima a região nos dias que antecederam e até mesmo no dia do evento.

- 12UTC do dia 24 de outubro de 2007

Na Figura 44, que mostra a composição RGB (IR12.0 μm – IR10.8 μm ; IR10.8 μm – 8.7 μm ; IR10.8 μm), sobre a região aonde está ocorrendo o evento, existe uma grande nebulosidade indicada pela cor marrom, realçando assim, a hipótese que as nuvens sobre aquela localidade são Cbs. O bege das nuvens ao redor desta indicam nuvens espessas formadas por gotículas de água.

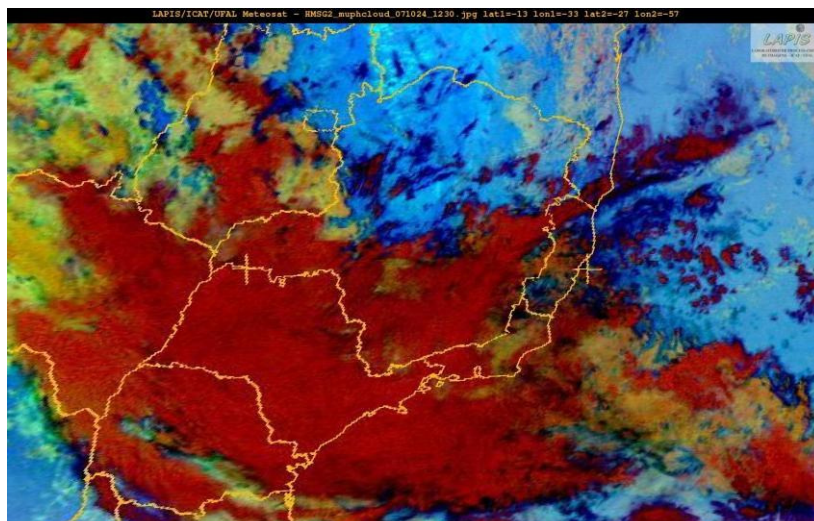


Figura 44 - Composição RGB (IR12.0 μm – IR10.8 μm ; IR10.8 μm – 08.7 μm ; IR10.8 μm) no horário das 12:30UTC.

Na Figura 45, a imagem indica que todos os 3 Aeroportos possuíam nuvens Cbs sobre a região. As setas na figura indicam a localização de cada aeroporto: seta azul é o aeroporto de Confins, seta preta é o aeroporto de Campo de Marte e a seta verde é o aeroporto Galeão.

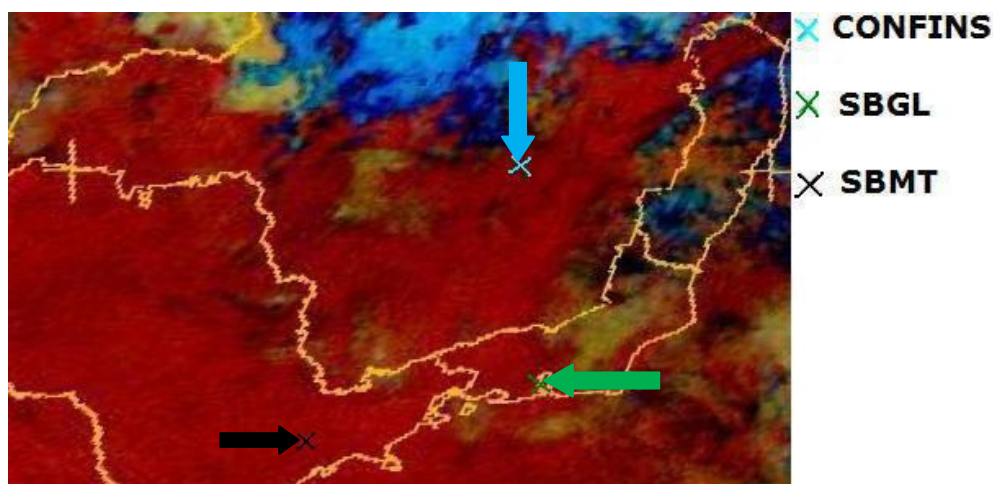


Figura 45 - Composição RGB (IR12.0 μm – IR10.8 μm ; IR10.8 μm – 08.7 μm ; IR10.8 μm) no horário das 12:30UTC.

Na Figura 46, mostraram-se os dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12UTC do dia 24 de outubro de 2007, Confins em Minas Gerais, Galeão no Rio de Janeiro e Campo de Marte, em São Paulo. Pode-se observar pelo perfil atmosférico de cada radiossondagem que em Confins existia umidade até níveis mais altos, até onde se tem dados. Já no

Aeroporto do Galeão os níveis mais altos estão secos e no Aeroporto de São Paulo muita umidade até os níveis de 300 hPa.

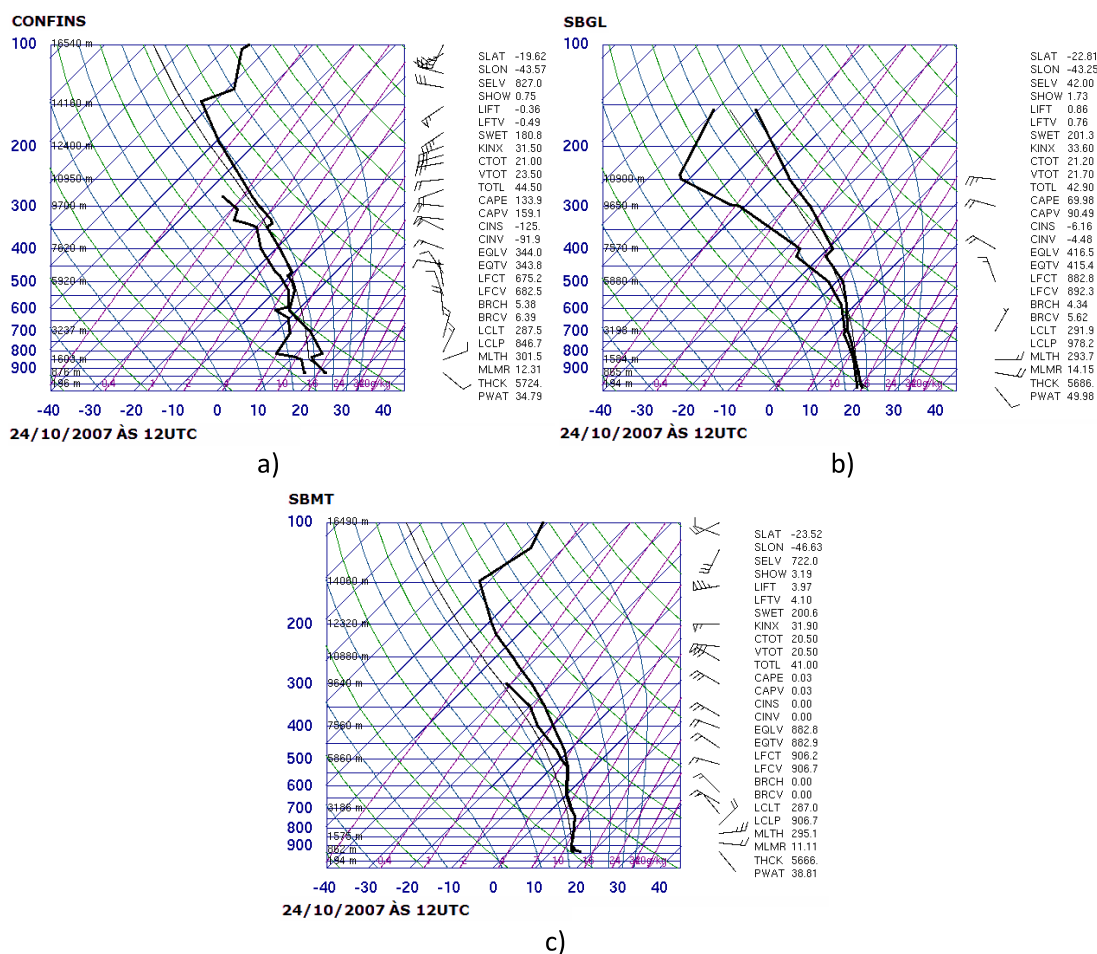


Figura 46 – Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12UTC do dia 24 de outubro de 2007. a) Confins (MG), b) Galeão (RJ) e c) Campo de Marte (SP).

Pelo perfil atmosférico do aeroporto de Confins e pelo valor de CAPE (133,9) que é visualizado nos níveis de 540 e 700 hPa na Figura 46a, têm-se condições de formação de nuvens nos níveis médios. A inversão de subsidência aproximadamente entre 800 e 850 hPa e por isso não tem nuvens em baixos níveis. Na Figura 46b, a atmosfera é úmida até 420 hPa onde tem uma inversão térmica que indica inibição para formação de nuvens

Pela Figura 46c, pode-se dizer que tem condições para formação de nuvens Stratus (St), pois há muita umidade em baixos níveis como já mencionado T e Td são bem próximas, a atmosfera se apresentou estável em baixos níveis e o CAPE com valor

baixo quase inexistente (0.03) e formação de nuvens Nimbostratus (Ns) e Altostratus (As).

Tabela 6 - Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 12UTC do dia 24 de outubro de 2007.

ÍNDICES DE INSTABILIDADE E CAPE	Campo de Marte	Confins	Galeão
Índice K	31,90	31,50	33,60
Índice de Showalter	3,19	0,75	1,73
Índice Total Totals	41,00	44,50	42,90
Índice Levantado	3,97	-0,36	0,86
CAPE	0,03	133,9	69,98

Nos 3 aeroportos o Índice K teve valores altos indicando muita umidade em níveis mais baixos até 700 hPa.

- 12UTC do dia 25 de outubro de 2007

A composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) é usada para estudar a microfísica das nuvens. Teve-se um deslocamento daquela nebulosidade em cor marrom indicando que as nuvens com desenvolvimento vertical estão se deslocando.

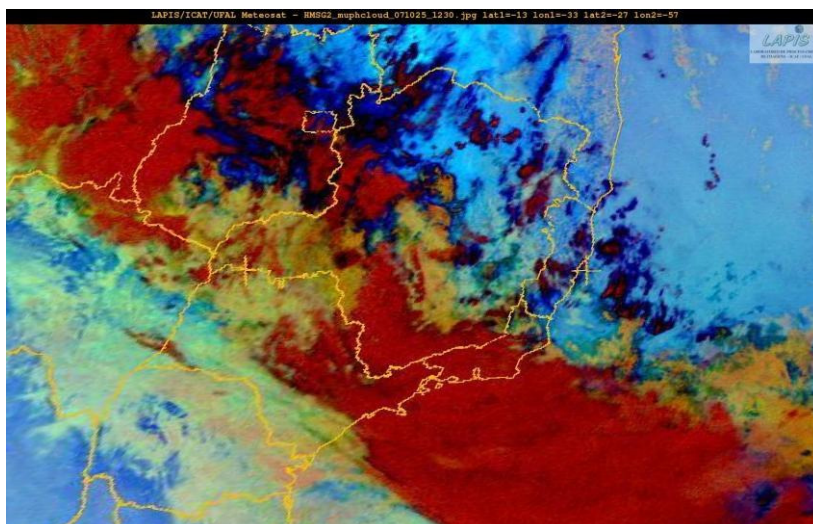


Figura 47 - Composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 12:30UTC.

Na Figura 48, a imagem da composição colorida RGB indica que sobre o Aeroporto de Confins as nuvens podem ser cirros finas indicada pela seta azul. Nos Aeroportos de São Paulo pela seta preta e Rio de Janeiro pela seta verde as nuvens são Cbs.

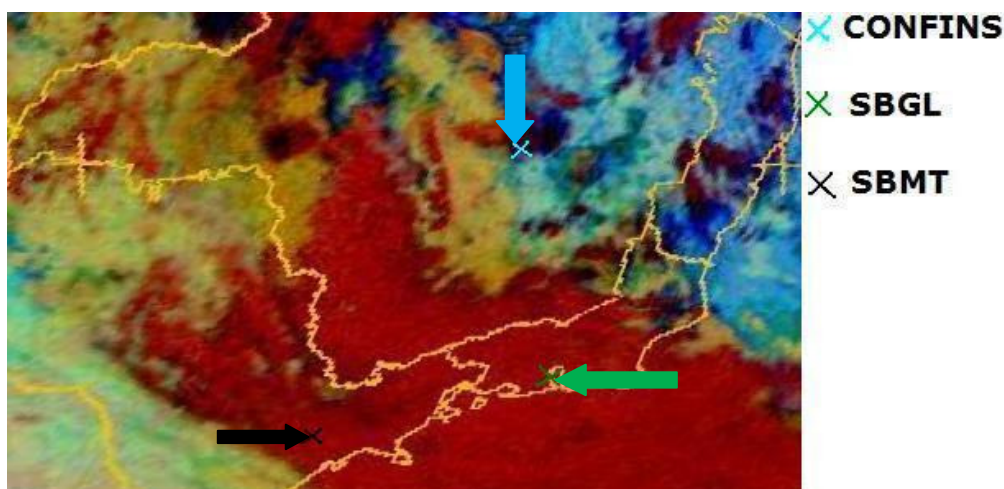


Figura 48 – Recorte da imagem de composição RGB (IR12.0 μ m – IR10.8 μ m; IR10.8 μ m – 8.7 μ m; IR10.8 μ m) no horário das 12:30UTC.

Essas nuvens com desenvolvimento vertical vistas nos aeroportos do Rio de Janeiro e São Paulo, são vistas também, em grande parte da região do sudeste e evidenciam a região da frente semi-estacionária.

Na Figura 49, mostraram os dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12 UTC do dia 25 de outubro de 2005. Confins em Minas Gerais, Galeão no Rio de Janeiro e Campo de Marte em São Paulo. O perfil de T e Td são muito próximos nos 3 aeroportos mostrando muita umidade em toda a atmosfera e permitindo a formação de Cbs.

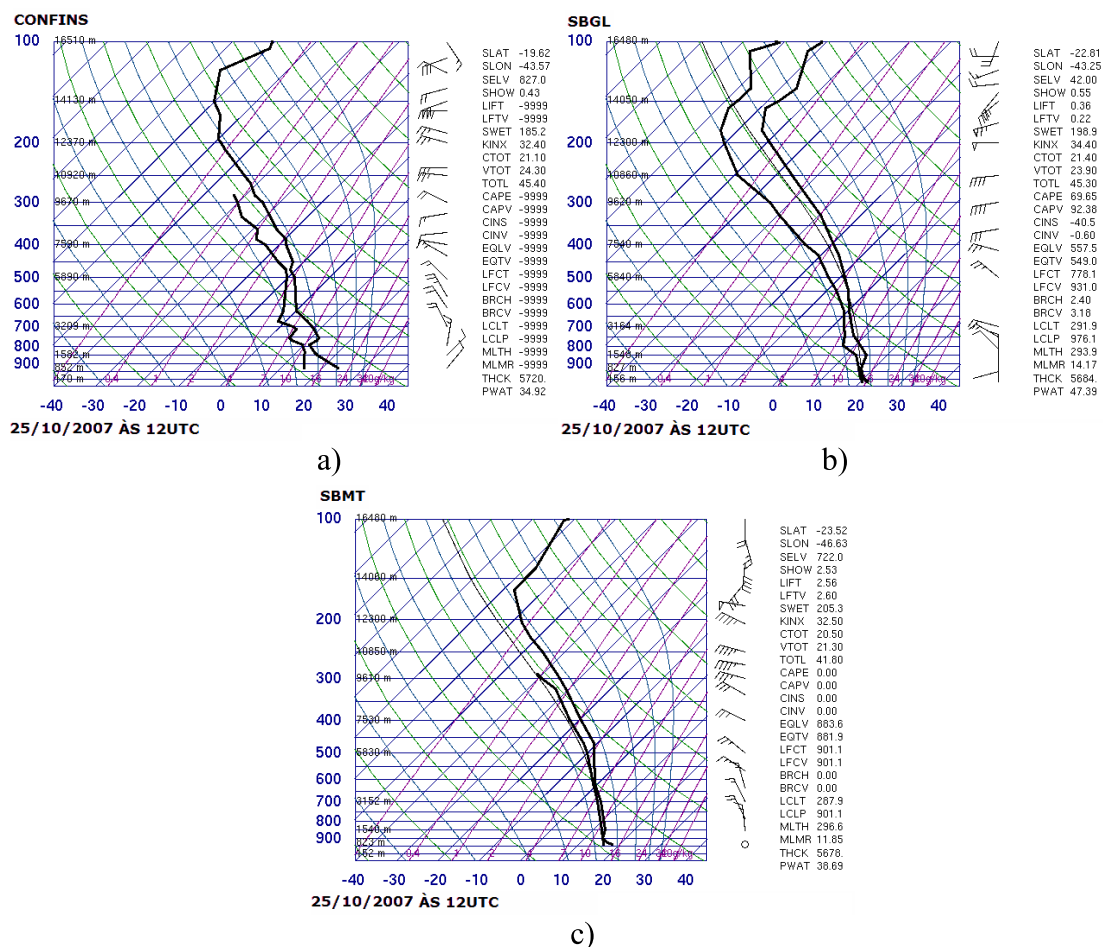


Figura 49 – Dados plotados das radiossondagens dos aeroportos do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais no horário de 12UTC do dia 25 de outubro de 2007. a) Confins em MG, b) Galeão em RJ e c) Campo de Marte em SP.

Na Figura 49a, o CAPE não foi observado e informado (indicado pelo código -9999) como se pode observar na tabela 7, mas o perfil atmosférico analisado na figura indica um CAPE com valor alto e positivo e instabilidade em baixos níveis até 850 hPa. Permitindo a formação de Cumulonimbus que são nuvens com desenvolvimento vertical podendo chegar a altos níveis e evidenciando o que foi visualizado na imagem de composição RGB.

Tabela 7 - Valores dos índices de instabilidade e o CAPE para às 12UTC do dia 25 de outubro de 2007.

ÍNDICES DE INSTABILIDADE E CAPE	Campo de Marte	Confins	Galeão
Índice K	32,50	32,40	34,40
Índice de Showalter	2,53	0,43	0,55
Índice Total Totals	41,80	45,40	45,30
Índice Levantado	2,56	-9999	0,36
CAPE	0,00	-9999	69,65

O Índice de Showalter e o Índice de Levantamento não foram significativos nas 3 radiossondagens.

Segundo Silva Dias (2000), se o Índice K e Total Totals forem altos a tendência é de ter chuvas torrenciais. Portanto os aeroportos de Confins e o Galeão indicam precipitação contínua.

4.2.4 – As composições coloridas RGB

A composição colorida RGB (NIR 1.6 μm ; VIS0.8 μm ; VIS 0.6 μm) é considerada a composição RGB padrão no software Xrit2Pic. Esta composição mostra zonas de vegetação em verde, pois é menor a reflectância da vegetação na banda NIR1.6 do que na banda VIS0.8 e por isso a resposta espectral associada ao vermelho vai ser pequena. Já a reflectância da vegetação no canal VIS0.8 vai ser maior e vai ter uma componente forte no verde. A reflectância da vegetação vai ser menor na banda VIS0.6 do que na banda VIS0.8 e por isso uma menor resposta espectral no azul. Em cyan, estão às nuvens formadas por cristais de gelo ou que tem tanto partículas de água quanto cristais de gelo o que indica que são nuvens altas ou nuvens com um maior desenvolvimento vertical, pois alcançam regiões tão frias na atmosfera.

A Figura 50 mostra como as cores referentes a cada alvo espectral.

Day Natural Colors	$A_{1.6}$	$A_{0.8}$	$A_{0.6}$	
Vegetation	25	45	8	
Water clouds – small droplets	60	75	70	
Snow and ice clouds	25	75	70	
Bare ground	60	40	30	
Ocean	1	3	4	

Figura 50 – Os valores de diferenças ou temperatura de brilho referente as cores RGB, o que significam cada cor gerada na imagem. Fonte: Lensky e Rosenfeld (2008).

Na Figura 51, mostrou a imagem em composição colorida RGB (NIR 1.6 μm ; VIS0.8 μm ; VIS 0.6 μm) no dia 24 de outubro de 2007 no horário das 17:45UTC. Existe uma grande faixa de nebulosidade sobre a região sudeste na tonalidade de cyan que corresponde a neve ou cirros de gelo, pois tem pouca contribuição da cor vermelha já que essa esta associada nesta composição ao canal NIR1.6, devido à fraca reflectância da neve ou gelo do canal NIR1.6. E fortes componentes de verde e azul gerando a tonalidade de cyan porque estas duas bandas têm uma grande contribuição de valores e em cyan também podem ser vistas as nuvens cirros finas.

Já as nuvens mostradas mais claras, vistas também na Figura 51 nas bordas da frente semi-estacionária, são nuvens em níveis médios assim como as nuvens que são vistas na tonalidade cinza claro, devido as nuvens terem elevadas e semelhante reflectância nas 3 bandas.

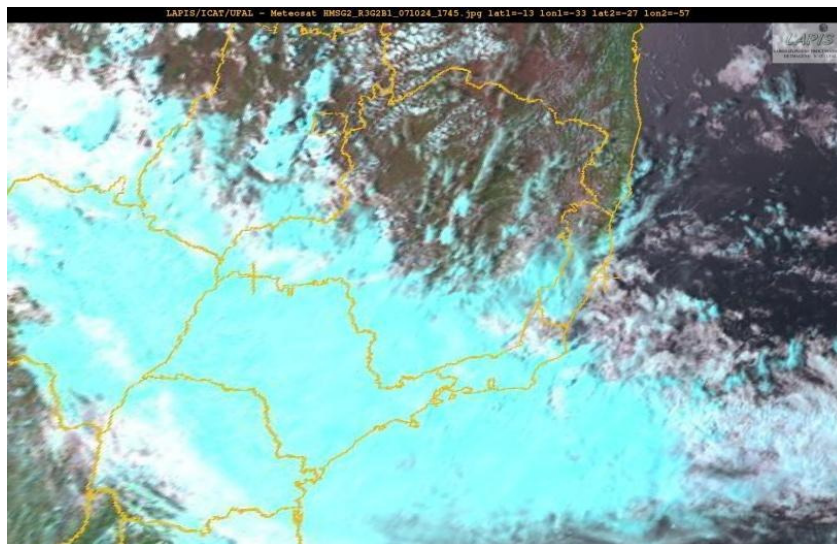


Figura 51 - Imagens em composição colorida RGB (NIR 1.6 μm ; VIS0.8 μm ; VIS 0.6 μm) do dia 24 de outubro de 2007 às 17:45UTC.

A Figura 52 mostrou-se a imagem em composição colorida RGB (WV6.2 μm – WV7.3; IR 9.7 μm – IR 10.8 μm ; IR6.2 μm) do dia 24 de outubro de 2007 no

horário das 17:45UTC. Pode-se visualizar a faixa de nebulosidade representando a frente semi-estacionária de forma bem clara nesta figura. Com algumas células bem brancas na imagem indicando nuvens com desenvolvimento vertical e algumas regiões sem nuvens pode-se visualizar uma área com a tonalidade azul indicando a entrada de ar frio relacionado com a frente e empurrando o ar quente que também é visualizado na imagem em uma tonalidade esverdeada.



Figura 52 - Imagem em composição colorida RGB (WV6.2 μm – WV7.3; IR 9.7 μm – IR 10.8 μm ; IR6.2 μm) do dia 24 de outubro de 2007 às 17:45UTC .

Com a composição colorida RGB (WV6.2 μm – WV7.3 μm ; IR3.9 μm – IR10.8 μm ; NIR1.6 μm – VIS0.6 μm), indicada para estudar a convecção das tempestades, pode se observar que tem alguns núcleos se intensificando no horário das 17:45UTC. As cores geradas pela composição colorida RGB indicam a intensidade do evento: amarelo indica a fase de intensificação e vermelho corresponde que o evento esta estável (Figura 53) e azul escuro indica que se esta dissipando ou que não há convecção profunda.



Convective Storms	<i>BTD_{6.2-7.3}</i>	<i>BTD_{3.9-10.8}</i>	<i>A_{1.6-0.6}</i>	
Severe convective storms	-2	60	-20	
Cb clouds	-8	20	-40	

Figura 53 – Os valores de diferenças ou temperatura de brilho referente as cores RGB, o que significam cada cor gerada na imagem. Fonte: Lensky e Rosenfeld (2008).

Na Figura 54, mostrou a seqüência de imagens de satélite com a visualização da intensificação da tempestade sobre a região, pois, na maioria dos pixels, a cor esta modificando de vermelho claro para laranja claro, quanto mais próximo do amarelo,

indica maior componente de vermelho e de verde o que indica que contêm elevada quantidade de vapor de água nos níveis altos, e por isso a diferença de IR6.2 – IR7.3 tem valores de zero (componente vermelho) e contêm pequenas partículas de gelo que tem maior reflectância no IR3.9 do que as grandes partículas de gelo a mesma temperatura (componente verde). E pouca ou nenhuma componente de azul, pois são constituídas por gelo absorve fortemente a radiação na banda NIR1.6, mas não na banda VIS0.6.

Nas bordas dessa faixa de nebulosidade, existem células convectivas mais antigas que aparecem em vermelho porque contem elevado conteúdo de vapor de água nos níveis altos, logo a diferença IR6.2 – IR7.3 tem valores próximos de zero e esta diferença corresponde a cor vermelho (componente forte). Também contem pouca resposta na componente verde, pois contem grandes partículas de gelo que tem a menor reflectância no IR3.9 do que as pequenas partículas de gelo a mesma temperatura, e pouca ou nenhuma componente em azul, pois são constituídas por gelo que absorve fortemente a radiação na banda NIR1.6, mas não na banda VIS0.6.

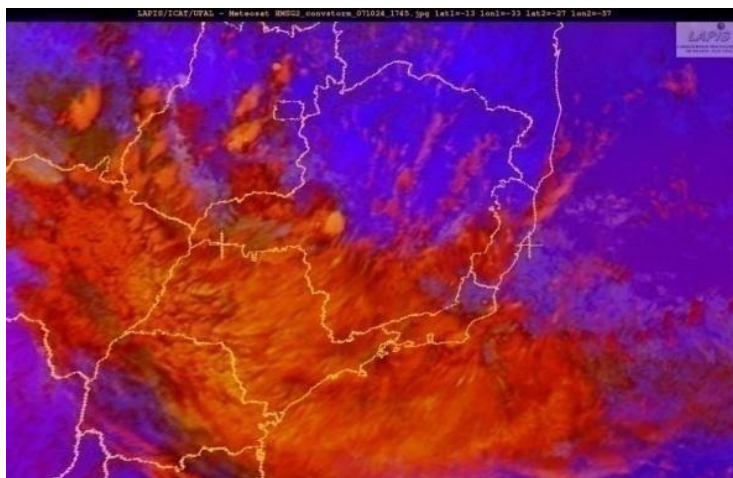


Figura 54 - Imagens em composição colorida RGB (WV 6.2 μm – WV7.3; IR 3.9 μm – IR 10.8 μm ; NIR 1.6 μm – VIS 0.6 μm) do dia 24 de outubro de 2007 às 17:45UTC.

4.2.5 – Análise da informação gerada pela diferença dos canais de vapor de água

- **WV 6.2 – WV 7.3**

Como já mencionado, o azul claro indica uma região em que há grande quantidade de umidade e mostra as zonas de maiores convecções no evento. Essas zonas correspondem às mesmas visualizadas na composição colorida RGB (WV6.2 μm –

WV7.3 μm ; IR3.9 μm – IR10.8 μm ; NIR1.6 μm – VIS0.6 μm), mas com um detalhamento melhor das células convectivas. O azul escuro indica que não há a formação de nuvens ou que elas são de níveis baixos e médios.

Na Figura 55, mostrou o produto gerado pela diferença dos canais multiespectrais (WV6.2 μm – WV7.3 μm) no horário das 17:45UTC sobre a região sudeste no dia 24 de outubro de 2007.

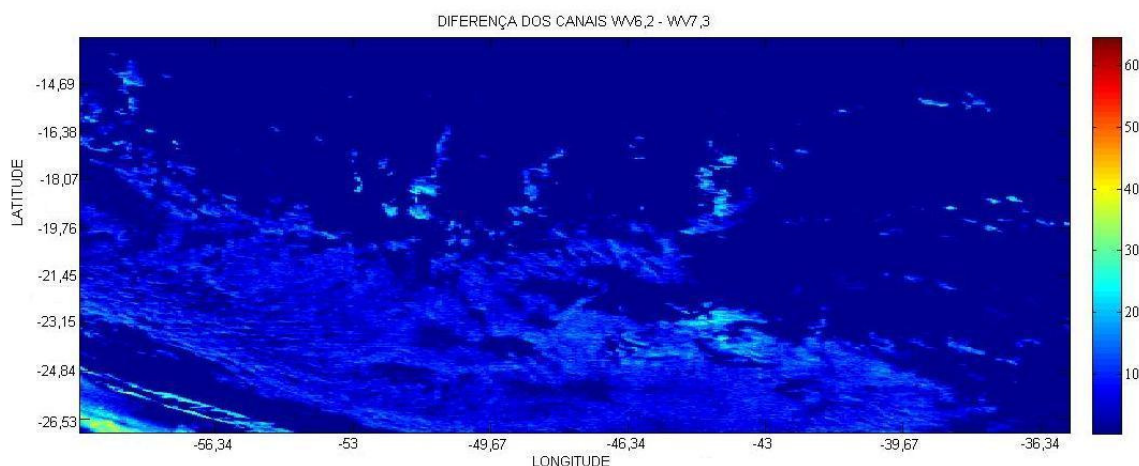


Figura 55 – Produto gerado pela diferença dos canais multiespectrais (WV6.2 μm – WV7.3 μm) nos horários: 17:45UTC

O interessante é que, nessa imagem, o azul médio indica a região onde existe convecção que corresponde à mesma convecção vista na composição colorida RGB utilizada para estudar convecção profunda, acreditando-se assim, que esta subtração de canais deve ser indicada para auxiliar a convecção nos eventos atmosféricos. Os valores encontrados para destacar a convecção ficaram entre 8 e 13 $^{\circ}\text{C}$ com pequenas regiões com valores próximos dos 24 $^{\circ}\text{C}$.

4.2.6 – Comparação entre as composições das imagens coloridas

Na Figura 56, foram comparadas as composições coloridas RGB para o 2 $^{\circ}$ evento e em todas as 3 imagens pode-se visualizar nuvens convectivas sobre a mesma região. Alguns aglomerados de nuvens convectivas ficam bem caracterizados nas imagens tendo a tonalidade cyan indicando nuvens formadas de cristais de gelo na composição RGB padrão (Figura 56a), a tonalidade branca na composição colorida de massa de ar (Figura 56b) o que indica que as nuvens desenvolveram-se ou são nuvens de altos níveis por haver umidade na alta troposfera e a composição RGB para avaliar

convecção onde a tonalidade para os mesmos aglomerados é visualizada na tonalidade laranja claro o que indica intensificação de convecção (Figura 56c).

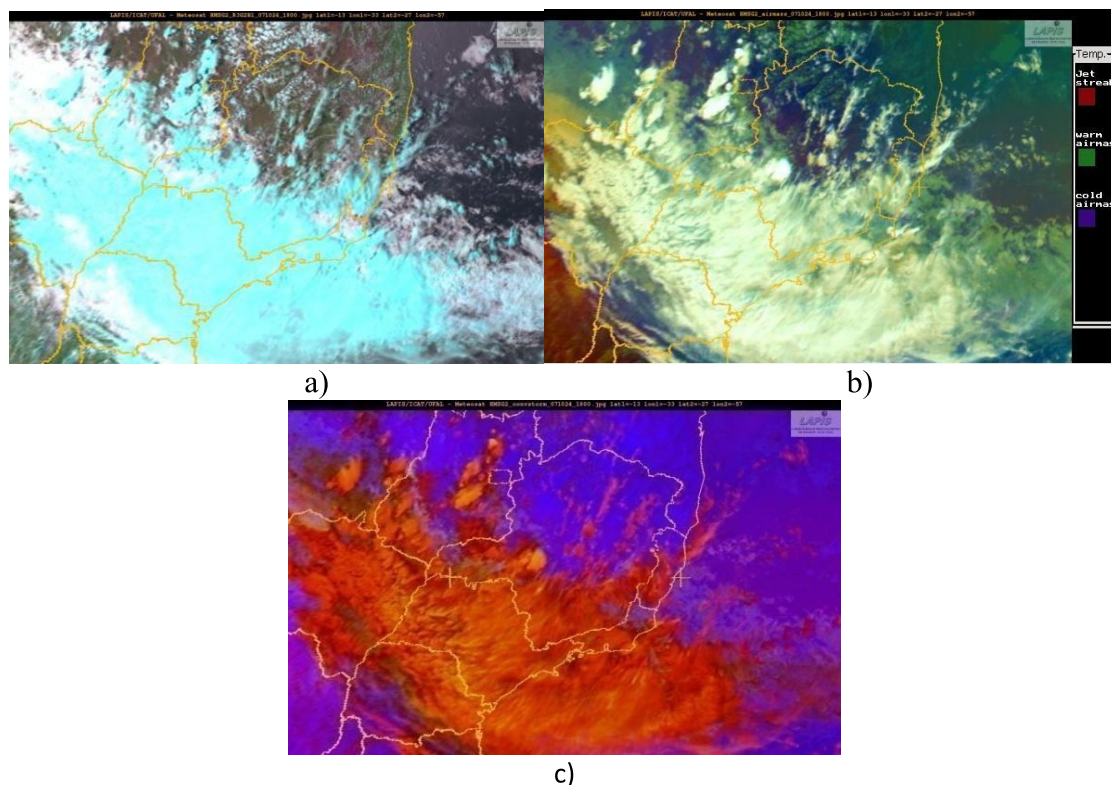


Figura 56 - As composições coloridas RGB das 18UTC: a) Composição RGB padrão, b) Composição RGB para massas de ar, c) Composição RGB para convecção.

As composições coloridas utilizadas geraram muitas informações que apenas uma banda não poderia fornecer. Os canais quando analisados separadamente indicam apenas alguma informação e que muitas vezes não se tornam visível ao olho humano e sozinhos não indicam a formação de sistemas e tempestade. Quando se cruza as informações ou quando se manipula os dados com diferença de canais pode-se entender a formação do evento ou até mesmo as características desse.

5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES:

Neste trabalho, foram estudadas 2 situações de eventos severos na região do sudeste brasileiro para os dias 4 e 5 de outubro de 2005 e do dia 24 de outubro de 2007 utilizando canais multiespectrais do sensor SEVIRI dos satélites METEOSAT – 8 e 9 para caracterizar melhor esses eventos e mostrar os dados de satélites meteorológicos como um potencial para a análise convectiva, já que a composição colorida RGB (WV6.2 μ m – WV7.3 μ m; IR3.9 μ m – 10.8 μ m; NIR1.6 μ m – VIS0.6 μ m) caracterizou bem o 2º estudo de caso. Essa composição é apenas indicada para situações durante o dia, pois utiliza canais do visível que fornecem somente informações de refletividade já que no período noturno por não ter a radiação solar como fonte suas informações são comprometidas.

Foi mostrada toda a estrutura dos dados do sensor SEVIRI no nível 1.5 (produto bruto) no intuito de compreender como os dados são organizados a partir da recepção até as imagens serem geradas. Como esta pesquisa tratava também de análise quantitativa, foi de extrema importância conhecer a estrutura dos dados uma vez que o cabeçalho das imagens possui informações do `cal_slope` e `cal_offset` necessários para a calibração e conversão dos números digitais para valores físicos de radiância. Essas informações são inseridas no cálculo de transformação de radiância em temperatura de brilho nos canais termais e de refletividade nos canais solares. Com isso, foi permitida a caracterização espectral e a álgebra de imagens.

A diferença de temperatura de brilho dos canais de vapor de água (WV6. 2 μ m – WV7. 3 μ m) caracteriza muito bem os estudos de casos, pois os produtos gerados com a álgebra desses canais mostraram uma maior quantidade de umidade na atmosfera sobre a região na qual ocorriam os fenômenos. Sendo que no 1º estudo de caso os valores da diferença de canais do vapor de água que foram indicados como valores críticos propícios a formação de tempestades foram de 4 a 13°C e para o 2º estudo de caso foram de 8 a 13°C.

As características espectrais dos topos das nuvens associadas com tempestades foram bem caracterizadas pelas composições coloridas RGB. Pode-se concluir que os eventos que ocorrem durante o dia são melhores avaliados pela utilização dos canais solares como uma informação individual ou combinados com outros canais gerando assim várias informações essenciais para compreender melhor o fenômeno meteorológico.

Sugestões para as novas pesquisas:

Fazer comparações com os dados de temperatura de brilho e refletividade gerados pelo software Xrit2pic e os dados processados no Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélite do ICAT – UFAL.

Gerar informações de refletividade para que se possa fazer uma análise quantitativa desses canais e, assim, aprimorar as informações espectrais das nuvens de tempestades severas.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ADLER, R. F.; FENN, D. D., 1979a: **Thunderstorm intensity as determined from satellite data.** J. Appl. Meteorol., 18, 502-517.

ADLER, R. F.; FENN, D. D., 1979b: **Detection of severe thunderstorms using short interval geosynchronous satellite data.** preprints 11th Conf. severe Local Storms, Kansas City, Amer. Meteor. Soc., 166-171.

ADLER, R. F.; FENN, D. D., 1981: **Satellite-observed cloud-top height changes in tornadic thunderstorms.** J. Appl. Meteorol., 20, 1369-1375.

ADLER, R. F.; MARKUS, M.J.; FENN, D. D., 1985: **Detection of severe Midwest thunderstorms using geosynchronous satellite data.** Mon. Wea. Rev., 113, 769-781.

ALVALÁ, R. C. S.; MACHADO, L. A. T.; ROSSATO, L.; PEREIRA, S. P. **Os satélites meteorológicos de nova geração e suas contribuições para as previsões de tempo e clima.** In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIA NO PANTANAL, 01. Campo Grande, MS. Anais 2006.

ALVES, M. A. S.; MACHADO, L. A. T.; PRASAD, G. S. S. D. **Estudo da variabilidade da cobertura de nuvens altas na Amazonia Central.** Acta Amazônica, v. 37, n. 1, p. 71-80, Jan. 2007. doi: <[10.1590/S0044-59672007000100008](https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100008)>.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. **Início das chuvas na Região Sudeste do Brasil: Análise Climatológica.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. Anais 2002. p. 1403-1410. CD-ROM. (INPE-9443-PRE/5099).

ANTONIO, M.A ; L. C. B. MOLION ; TENORIO, R. S. . **Genesis of Mesoscale Cyclonic Vortices Over Tropical Brazil.** In: Weather, Radar and Hydrology, 2008, Autrans, França. Advances in water resources, 2008.

BARBIERI, P. R. B. **Caracterização da estação chuvosa nas regiões sul e sudeste do Brasil associado com a circulação atmosférica.** 2005. 116 p. (INPE-14220-TDI/1121). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

BARBIERI, P. R. B.; VADLAMUDI, B. R.; FRANCHITO, S. H. **O estudo do início e fim da estação chuvosa na região sudeste do Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., , Fortaleza. Anais... 2004. CD-ROM, On-line. (INPE-12130-PRE/7476).

BARBOSA, H. A.; ERTÜK, A. G. **Utilização de imagens METEOSAT de segunda geração para a detecção e monitoramento de sistemas convectivos severos atuantes**

no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1641-1646.

BARBOSA, H. A.; PRIETO, J. I. P. . **O olhar EUMETSAT sobre a atmosfera.** Cirrus, Rio de Janeiro, v. 11, p. 13 - 18, 27 dez. 2007.

BOTTINO, M.J.; CEBALLOS, J.C.. **Classificação de cenas em imagens GOES multiespectrais mediante um método de “agrupamento dinâmico”.** Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2000. Anais.

BOTTINO, M. J.; NOBRE, P.; CARNEIRO, G. M. **Detecção de sistemas convectivos nos trópicos utilizando imagens multiespectrais do satélite geostacionário GOES 8.** Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v. online, (campo ausente ou vazio: 'pages') mar 2003.

BRUNNER, J.C.; ACKERMAN, S.A.; BACHMEIER, A.S.; RABIN, R.M. in, 2007: **A Quantitative Analysis of the Enhanced-V Feature in Relation to Severe Weather.** *Wea. Forecasting*, **22**, 853–872.

CARVALHO, L. M. V.; MASSAMBANI, O.. **Análise da Textura nas imagens IV de satélites meteorológicos e aplicações ao estudo da convecção.** In: VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1990, Salvador. VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1990. v. 2. p. 743-747.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais.** Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas/UFPR, **2004**. 209 p.

CONFORTE, J. C. **Tecnologia espacial no estudo de fenômenos atmosféricos.** In: RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor; MORAES, Elisabete Caria; PONZONI, Flávio Jorge; CAMARGO JÚNIOR, Hélio; CONFORTE, Jorge Conrado; MOREIRA, José Carlos; EPIPHANIO, José Carlos Neves; MOREIRA, Maurício Alves; KAMPEL, Milton; ALBUQUERQUE, Paulo Cesar Gurgel de; MARTINI, Paulo Roberto; FERREIRA, Sérgio Henrique; TAVARES JÚNIOR, Stélio Soares; SANTOS, Vânia Maria Nunes dos (Ed.). Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos: INPE, 2002. p. 37. Capítulo 4. (INPE-8984-PUD/62).

DINIZ, G. B. . **Meteorologia Física.** 1. ed. Pelotas - RS: Editora Universitária UFPEL, 2006. v. 1. 156 p.

EUMETSAT, 2001. **Meteosat second generation—system overview.** EUM TD07, Darmstadt, Germany, 44pp.

EUMETSAT, 2003. **MSG—image data dissemination service.** EUM TD 08, Darmstadt, Germany, 42pp.

EUMETSAT, 2006. **EUMETCast – EUMETSAT’s Broadcast System for Environmental Data.** EUM TD 15, Darmstadt, Germany, 45pp.

EUMETSAT, 2007 A, **MSG Level 1.5 Image Data Format Description**.

EUMETSAT, 2007 B, **Radiometric Calibration of MSG SEVIRI Level 1.5 Image Data in Equivalent Spectral Blackbody Radiance**. EUM/OPS-MSG/TEN/03/00645, Darmstadt, Germany.

FEDOROVA, N.. **Sinótica I: Fenômenos Atmosféricos, Dados Sinóticos e Massas de Ar**. Material didático: sinopses, figuras, equações.. Maceió: Editora UFAL, 2008b. 174 p.

FEDOROVA, N.. **Sinótica IV: Sistemas e processos sinóticos atuantes na América do Sul**. Material didático: sinopses, figuras, equações.. Maceió: Editora UFAL, 2008a. 171 p.

FEDOROVA, N. ; KRICHAK, S. O. ; LEVIT, V. ; CARVALHO, M. H. ; RODRIGUES, L. R. L.. **Verificação das trajetórias das parcelas de ar pelo modelo HYSPLIT no caso de CCM em Maceió Alagoas**. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004.

FERREIRA, A. G.. **Meteorologia Prática**. São Paulo: Editora: Oficina de Textos, 2006.

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; DIAS, M. A. F. S.. **Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.1, 89-98, 2004.

FERREIRA, N. J. ; TANAKA, K. ; FERREIRA, M. E. . **Estimativa de água precipitável utilizando-se imagens multiespectrais do VAS**. In: V Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1988, Rio de Janeiro. Anais do V Congresso Brasileiro de meteorologia, 1988.

JOURDAN, P. ; ESCOBAR, G. C. J. ; SILVA, P. D. . **Análise sinótica de um evento extremo, ocorrido no Rio de Janeiro em dezembro de 2007, através do uso de uma ferramenta objetiva de reconhecimento de condições de tempo severo**. In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008, São Paulo. Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008.

JUSTI DA SILVA, M. G. A. ; SANTOS, I.A . **Estimativa Diagnóstica da Precipitação Orográfica na Região Sudeste do Brasil**. In: Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1994. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1994. v. 2. p. 324-328.

HASLER, A.F., 1981: **Stereographic observations from geosynchronous satellites: An important new tool for the atmospheric sciences**. Bull. Amer. Meteor. Soc., 62, 194 – 212.

HEYMSFIELD, G. M.; BLACKMER JR., H., 1988: **Satellite-observed characteristics of Midwest severe thunderstorm anvils**. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 2200–2224.

HEYMSFIELD, G. M.; BLACKMER JR, R. H.; SCHOTZ, S., 1983: **Upper level structure of Oklahoma tornadic storms on 2 May 1979**, Pt. 1 radar and satellite observations. *J. Atmos. Sci.* 40, 1740- 1755.

LEMOS, C. F & CALBETE, N. O. **Sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil (período 1987-1995)**. In: CAVALCANTI, I. F. A.; ABREU, M. L.; SATYAMURTY, P.; OLIVEIRA, G. S.; FERNANDES, K. A.; ROSAS, M. P. A. G; COSTA, F. C.; JUNIOR, R. V. B. Especial – Edição comemorativa de 10 anos. CPTEC/INPE, p. 131-135, 1996.

KERK, M.. **Design and integration of a EUMETCast receiving installation**. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Diplom-Informatiker (Berufsakademie) in the Graduate Academic Unit of Applied Computer Science. Juni, 2008.

KERKMANN, J.; ROSENFELD, D.. **Applications of Meteosat Second Generation (MSG):Day - time convection**. 2004.

KIDDER, S. Q.; VONDER HAAR T. H. **Satellite Meteorology: An Introduction**, Academic Press, San Diego, 466 pp, 1995.

LENSKY, I. M.; ROSENFELD, D., 2008. **Clouds-Aerosols-Precipitation Satellite Analysis Tool (CAPSAT)**, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 8, 4765-4809.

LEVIZZANI, V.; SETVÁK, M., 1996: **Multispectral, High-Resolution Satellite Observations of Plumes on Top of Convective Storms**. *J. Atmos. Sci.*, 53, 361–369.

MACK, R. A.; HASLER, A. F.; ADLER, R. F., 1983: **Thunderstorm cloud top observations using satellite stereoscopy**. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 1949–1963.

MACHADO, L. A. T. **Sistema de Recepção e Processamento de Imagens via EUMETCast para a América do Sul - Introdução**. In: Sistema de Recepção e Processamento de Imagens via EUMETCast para a América do Sul, Cachoeira Paulista, SP, 2008.

MACHADO, L.T.; DESBOIS, M.; DUVEL, J. P., 1992: **Structural Characteristics of Deep Convective Systems over Tropical Africa and the Atlantic Ocean**. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 392–406.

MACHADO, L. A. T.,_ROSSOW, W. B., GUEDES, R. L., WALKER, A. W., 1998. **Life Cycle Variations of Mesoscale Convective Systems over the Americas**, *Monthly Weather Review*, v. 126, pp. 1630-1654.

MCCANN, D.W., 1983. **The enhanced-V, a satellite observable severe storm signature.** *Mon. Weather Rev.* 111, 887–894.

MOREIRA, N. **Bandas de Absorção do SEVIRI.** In: Workshop Internacional de Satélites Meteorológicos para Usuários Sul-americanos, Maceió, AL. 2007. Site: <http://www.evento.ufal.br/eumetsat/palestras/2007-08-20/nuno/nuno-bandas-absorcao-seviri.pdf>

NEGRI, A. J., 1982: **Cloud-top structure of tornadic storms on 10 April 1979 from rapid scan and stereo satellite observations.** *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 63, 1151–1159.

NEGRI, R. G.; MACHADO, L. A. T. **Estimativa da altura da base de nuvens a partir de imagens de satélites.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIV - (CBMET), Florianópolis, SC. **Proceedings...** 2006. Papel. (INPE-14231-PRE/9319).

NOBREGA, T.; SILVA JUNIOR, I. W.; BARBOSA, H. A.. **VIEWSATT a Decoding and Processing Software Tool for MSG Data.** In: WORLDCOMP'09 - The 2009 World Congress in Computer Science, Computer Engineering, and Applied Computing, 2009, Las Vegas - EUA.

NOVO, E. M. L. M.. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 2. Ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1992.

OTTENBACHER, A., SCHMETZ, J.. **Relationship of collocated cloud radiances in the METEOSAT IR and WV channel,** paper presented at European Symposium on Satellite Remote Sensing, Int. Soc. For Opt. Eng. Rome, Italu, Sept. 26-30, 1994.

PISTOTNIK, G.; HOLZER, A. M.; KALTENBÖCK, R.; TSCHANNETT, S.. **An F3 Downburst in Austria – A case study with special focus on the importance of real – time site surveys.** In: 5^h European Conference on Severe Storms, 2009, Landshut - Germany.

PRESTELO, F.. **Descrição do Sistema METEOSAT e sua contribuição para os centros meteorológicos operacionais.** 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas.

PRIETO, J.. **Applications of the SEVIRI window channels in the infrared.** In: Sistema de Recepção e Processamento de Imagens via EUMETCast para a América do Sul, Cachoeira Paulista, SP, 2008

PUTSAY, M.; SZENYÁN, S. A; KERKMANN, J.; HORVÁTH, Gy.. **Case Study of 20 May 2008 tornadic storm in Hungary – Remote Sensing features and NWP Simulation.** In: 5^h European Conference on Severe Storms, 2009, Landshut - Germany.

RIVERA AMORES, J. J.. **Parámetros de imagen y sinópticos en la predicción de la lluvia.** 2001. Tese de Doutorado da Universidade Politécnica da Catalunha - Espanha.

ROGERS, R. R. **Física de las nubes**. Espanha: Editorial Reverte, 1977. SEARS, F. W. Física.

SANTO, C. M. E.; SATYAMURTY, P.. **Eventos Extremos de Precipitação na Região Sudeste do Brasil e redondezas no período de 1997-2001**. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz do Iguaçu, PR. Anais do XII Congresso de Meteorologia, 2002.

SCHMETZ, J.; KLAES, D.; KÖNIG, M.; HOLMLUND, K. **Monitoring weather and climate with the Meteosat and Metop satellites**. Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección, ISSN 1133-0953, Nº. 27, 2007 , pags. 5-16.

SCHMETZ, J.; PILI, P.; TJEMKES, S.; JUST, D.; KERKMANN, J.; ROTA, S; RATIER, A., 2002: **An Introduction to Meteosat Second Generation (MSG)**. Bull. Amer. Meteor. Soc., 83, 977–992.

SCHMETZ, J.; TJEMKES, S. A.; GUBE, M.; VAN DE BERG, L., 1997: **Monitoring deep convection and convective overshooting**. Adv. Space Res.19 (3), 433-441.

SETVAK, M., 1989: **Convective storms-the AVHRR channel 3 cloud top reflectivity as a consequence of internal processes**. Proc., Conference on Weather Modification and Applied Cloud Physis, Beijing, World Meteor. Org., 109-112.

SETVAK, M.; DOSWELL, C. A.. **The AVHRR channel 3 cloud top reflectivity of convective storms**, Mon. Weather Rev., 119, 841 – 847, 1991.

SETVAK, M.; RABIN, R.M.; WANG, P. K., 2007: **Contribution of the MODIS instrument to observations of deep convective storms and stratospheric moisture detection in GOES and MSG imagery**. Atmos. Res. 83, 505-518.

SILVA, D. H. da . **O Sistema Global dos Sistemas de Observação da Terra (GEOSS): estratégias de implementação a serem definidas**. Parcerias Estratégicas (Brasília), v. 23, p. 311-331, 2006.

SILVA DIAS, M. A. F. **Índices de instabilidade para previsão de chuva e tempestades severas**, Universidade de São Paulo, SP, 2000. Disponível em: <<http://mater.iag.usp.br/ensino>>

SILVA JUNIOR, I. W. ; CRUZ, P. P. N.; BARBOSA, H.; FERREIRA, E.. **Processamento e calibração radiométrica dos dados METEOSAT de Segunda Geração na Universidade Federal de Alagoas**. Artigo aceito no XIII Latin American and Iberian Congress on Meteorology (CLIMET XIII) X Argentine Congress on Meteorology (CONGREMET X), 2009.

SIQUEIRA, J. R.; ROSSOW, W. B.; MACHADO, L. A. T. **Características estruturais dos sistemas convectivos associados a propagação meridional da convecção na América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004-06-29. (INPE ePrint sid.inpe.br/yolanda/2004/06.25.15.11).

STITH, J.L.; DYE, J.E.; BANSEMER, A.; HEYMSFIELD, A.J.; GRAINGER, C.A.; PETERSEN, W.A.; CIFELLI, R. 2002. **Microphysical observations of tropical clouds**. Journal of Applied Meteorology, 41: 97-117.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V., 2006, **Atmospheric science - an introductory survey**, second edition, Academic Press, 483 pp.

WANG, P. K., 2003. **Moisture plumes above thunderstorm anvils and their contributions to cross tropopause transport of water vapor in midlatitudes**. J. Geophys. Res. 108 (D6), 4194, doi:10.1029/2003JD002581.

WANG, P. K., 2003. **The thermodynamic structure atop a penetrating convective thunderstorm**. Atmospheric Research, Volume 83, Issues 2-4, February 2007, Pages 254-262.

http://www.alblas.demon.nl/wsat/software/man_xrit2pic.html

http://www.alblas.demon.nl/wsat/software/soft_msg.html

<http://archive.eumetsat.org/umarf/>

<http://www.cdc.noaa.gov>

<http://www.eumetsat.int/Home/index.htm>

<http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/WhoWeAre/MemberandCooperatingStates/?l=en>

<http://www.eumetsat.int/Home/Main/Media/News/706636>

<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

<http://noticias.terra.com.br/brasil/interna/0,,OI2019969-EI8139,00.html>