



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

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-078.

**DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS PARA O  
MONITORAMENTO METEOROLÓGICO, AMBIENTAL E  
OCEANOGRÁFICO UTILIZANDO DADOS DO SISTEMA EUMETCast**

**Ivon Wilson da Silva Júnior**

**Maceió - Alagoas**

**2010**

**IVON WILSON DA SILVA JÚNIOR**

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-078.

**DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS PARA O  
MONITORAMENTO METEOROLÓGICO, AMBIENTAL E  
OCEANOGRÁFICO UTILIZANDO DADOS DO SISTEMA EUMETCast**

Dissertação de Mestrado apresentada ao colegiado do curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador:  
Prof. PhD. Humberto Alves Barbosa

**Maceió - Alagoas**

**2010**

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

S586d Silva Júnior, Ivon Wilson da.  
Desenvolvimento de aplicações operacionais para o monitoramento meteorológico, ambiental e oceanográfico utilizando dados do sistema EUMETCast / Ivon Wilson da Silva Júnior, 2010.  
168 f. : il., grafs., tabs.

Orientador: Humberto Alves Barbosa.  
Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2010.

Bibliografia: f. 152-155.  
Apêndices: f. [156]-168.

1. Meteorologia operacional. 2. Satélites meteorológicos. 3. SEVIRI. 4. Imagem de satélite . 5. Sensoriamento remoto. I. Título.

CDU: 551.501.86



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

## CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

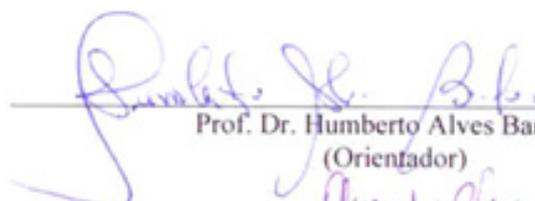
N.º de ordem: MET-UFAL-MS-078.

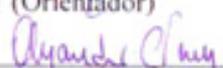
*“DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS PARA O  
MONITORAMENTO METEOROLÓGICO, AMBIENTAL E OCEANOGRÁFICO  
UTILIZANDO DADOS DO SISTEMA EUMETCast.”*

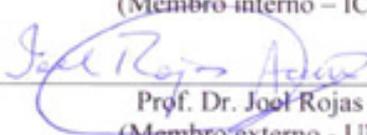
*Ivon Wilson da Silva Júnior*

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. Alejandro César Frery Orgambide  
(Membro interno - IC/UFAL)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Joel Rojas Acuña  
(Membro externo - UNMSM)

Junho /2010

## DEDICATÓRIA

As pessoas que sonham os sonhos de Deus, que é acima de tudo amá-lo e amar ao próximo. A cada um que vê na ciência caminhos que levam o ser humano ao contínuo conhecimento da Glória do Senhor.

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço infinitamente a pessoa de Deus, por olhar para mim de maneira única e especial, de forma que sem Ele nada seria possível no caráter científico, pessoal e espiritual. A Ele seja dada toda honra e glória! Agradeço também a minha esposa, Moniky, que é um genuíno presente de Deus para mim. Obrigado, por sonharmos juntos, pelo incentivo, atenção e paciência em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Humberto Alves Barbosa, exprimo sinceros agradecimentos por todos os dias ensinar-me que o trabalho dignifica o ser humano, e pelos conhecimentos e oportunidades compartilhadas, tornando-se parte desta etapa de minha vida, enfim, meu desejo é que Deus continue usando-o para edificação de vidas e de um mundo com propósitos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia pelos momentos de aprendizagem.

A Prof<sup>a</sup>. Cibelle Lima e a Mayara Sales, pela orientação metodológica, revisão e correções que possibilitaram o amadurecimento deste trabalho.

A toda a equipe do Laboratório de Processamento e Análise de Imagens de Satélite (LAPIS).

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), pela concessão da bolsa que viabilizou a realização deste trabalho.

Ao corpo técnico e administrativo do Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Finalmente, a cada servo e amigo que faz parte da Igreja Batista Vida em Comunidade (IBVC). Em especial ao Pr. Jose Nildo e sua esposa, Pra. Elizângela, pela amizade fundamentada no amor, atenção e acolhimento.

“E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria.”

**1 Coríntios 13.2.**

Silva Júnior, Ivon Wilson da. **Desenvolvimento de aplicações operacionais para o monitoramento meteorológico, ambiental e oceanográfico utilizando dados do sistema EUMETCast**. Maceió, 2010.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi aprimorar e operacionalizar a estação receptora de imagens do satélite Meteosat Segunda Geração (MSG) instalada na Universidade Federal de Alagoas (UFAL) pelo sistema EUMETCast – sistema europeu de disseminação de informação de baixo custo, projetado para distribuir dados observados de satélite e produtos para diversos tipos de usuários – para o monitoramento meteorológico, ambiental e oceanográfico. Foram desenvolvidas aplicações para decodificação, geo-localização, visualização, composição de imagens com mapa de divisões políticas e gráficos da extração dos valores dos produtos fração de cobertura vegetal, albedo e temperatura da superfície terrestre e do mar para os pontos de interesse. Adotou-se a metodologia de análise estruturada como apoio ao desenvolvimento. Os resultados indicaram que objetivo foi plenamente alcançado, sendo possível a implementação operacional das aplicações em apoio aos órgãos operacionais de meteorologia e universidades para as atividades de pesquisa e ensino. Outras aplicações de utilidade podem ser desenvolvidas, principalmente com o uso dos programas de decodificação e visualização, como o estudo de nuvens. Considerando a atual difusão do sistema EUMETCast no Brasil, acredita-se que este trabalho possa ter inúmeras aplicações a níveis regional e nacional.

**Palavras-Chave:** SEVIRI, Meteosat Segunda Geração, Imagens de Satélite, Monitoramento Meteorológico.

Silva Júnior, Ivon Wilson da. **Development of operational applications for monitoring meteorological, oceanographic and environment using the system EUMETCast data.** Maceió, 2010.

## **ABSTRACT**

The objective was to improve and operationalize the satellite-based images of the receiving station of Meteosat Second Generation (MSG) installed at the Federal University of Alagoas (UFAL) by the system EUMETCast - this user-driven, user-friendly and low-cost information European dissemination service, designed to distribute satellite-based and products data to diverse communities - for meteorological oceanographic and environmental monitoring. Applications were developed for decoding, geo-location, displaying, composite images with political boundaries and to extract the values of the fraction of vegetation cover, albedo, land surface temperature and sea surface temperature products for areas of interest. Structured analysis methodology was employed the code development. The results indicated that the objective of work was fully accomplished, with the highly-implementation of operational applications towards the support of operational meteorological centers and universities for research activities and teaching. Other MSG useful applications based on the decoding and displaying code can also be derived, such as the cloud monitoring. Considering the current use of the EUMETCast system in Brazil, it is possible that this work will have numerous applications at regional and national levels.

**Keywords:** SEVIRI, Meteosat Second Generation, Satellite Images, Weather Monitoring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cobertura global do sistema EUMETCast.....	24
Figura 2. Cobertura do EUMETCast Américas através do NSS-806 em banda C....	25
Figura 3. Estações EUMETCast instaladas no Brasil e suas respectivas instituições responsáveis. ....	26
Figura 4. Localização dos satélites Meteosat.....	27
Figura 5. A) Área de cobertura nos canais de baixa-resolução, e B) no canal de alta resolução. Imagem recebida e processada no LAPIS em 02/05/2010.....	31
Figura 6. Princípios de funcionamento do SEVIRI. ....	32
Figura 7. Localização dos canais infravermelhos no espectro atmosférico. ....	36
Figura 8. Localização dos canais no visível, considerando um espectro de energia típico.....	36
Figura 9. Funções de peso: A) Ao nadir do satélite e B) deslocado 60°, em latitudes médias.....	37
Figura 10. Coordenadas geográficas. ....	40
Figura 11. Estrutura da imagem HRIT/LRIT.....	41
Figura 12. Ângulos e dimensões para a projeção GEOS.....	43
Figura 13. Grade de coordenadas para a projeção GEOS. ....	45
Figura 14. Grade de coordenadas para a projeção MERCATOR.. ....	46
Figura 15. Estação de recepção instalada na UFAL.. ....	50
Figura 16. Segmentos de uma imagem obtida pelo MSG.....	51
Figura 17. Imagem obtida em 23/10/2008. Destacando-se as seções, A) prólogo, B) dados e C) epílogo.....	52
Figura 18. Corte definido para a área da América do Sul, denominado <i>SAmé</i> . ....	53
Figura 19. Estrutura hierárquica dos diretórios no sistema de processamento. ....	55
Figura 20. Funcionamento de um script no Octave.....	59
Figura 21. Fluxograma das etapas do processamento dos dados brutos.....	59
Figura 22. Descompactação de uma imagem do canal de vapor d'água, destacando-se em (A) software xRITDecompress e (B) resultado do processamento.....	61

Figura 23. Script <i>LerPrologo.m</i> em funcionamento, são exibidos os valores dos coeficientes de calibração para uma imagem obtida em 15/12/2009.....	63
Figura 24. Variáveis número digital e radiância.....	64
Figura 25. Algoritmo de conversão da representação 10 bits para 16 bits.....	65
Figura 26. Editor de scripts padrão do Linux ( <i>gedit</i> ), destacando-se o algoritmo para conversão da representação 10 bits para 16 bits, contido no script <i>Segmentos.m</i> ...	66
Figura 27. Fluxograma do algoritmo de calibração radiométrica.....	67
Figura 28. Algoritmo usado para calcular o dia Juliano e a distância Terra-Sol.....	68
Figura 29. Algoritmo usado para calcular o ângulo zenital do sol em um local e horário especificado. ....	69
Figura 30. Algoritmo usado para calcular as tabelas de calibração para os canais do espectro visível e infravermelho. ....	71
Figura 31. Cálculo das constantes $C_1$ e $C_2$ .....	72
Figura 32. Algoritmo de transformação de coordenada da imagem para projeção MERCATOR.....	73
Figura 33. Algoritmo de transformação de coordenada geográfica para projeção MERCATOR.....	74
Figura 34. Aplicação das funções <i>geocord2pixcoord</i> e <i>geocord2mercator</i> para a localização dos <i>pixels</i> no ponto em que está localizada a estação de recepção. ....	75
Figura 35. Fluxograma do algoritmo de projeção MERCATOR.....	76
Figura 36. Função de transformação de coordenada geográfica para projeção MERCATOR.....	77
Figura 37. Divisão político-administrativa elaborada pelo script <i>GerarOverlay.m</i> . ....	79
Figura 38. Algoritmo para realizar a diferença entre os canais do MSG. ....	81
Figura 39. Transformação $\gamma$ aplicada aos <i>pixels</i> . O valor de $\gamma > 1$ realiza o ajuste de intensidade do brilho para a curva côncava e $\gamma < 1$ para a curva convexa.....	82
Figura 40. Algoritmo para processamento de composições coloridas. ....	83
Figura 41. Continuação do algoritmo para processamento de composições coloridas. ....	84
Figura 42. Algoritmo para armazenamento do arquivo HDF. ....	86
Figura 43. Fluxograma das etapas do processamento dos dados para monitoramento ambiental.....	88

Figura 44. Software HDFView e estrutura do produto FVC.....	89
Figura 45. Algoritmo para leitura dos arquivos disponibilizados pelo LSA SAF. ....	90
Figura 46. Matrizes concatenadas com os dados LSA SAF.....	91
Figura 47. Concatenação de matrizes no script <i>CriarProduto.m</i> .....	92
Figura 48. Algoritmo para divisão político-administrativa nos produtos de monitoramento ambiental.....	93
Figura 49. Algoritmo para projeção MERCATOR nos produtos de monitoramento ambiental.....	93
Figura 50. Algoritmo para aplicação do fator de escala. ....	94
Figura 51. Tabelas de cores para os produtos LSA SAF processados.....	95
Figura 52. Algoritmo para construção da grade de coordenadas.....	95
Figura 53. Algoritmo para localização de pontos na imagem.....	96
Figura 54. Algoritmo para armazenamento do produto de monitoramento ambiental. ....	98
Figura 55. Fluxograma das etapas do processamento dos produtos de monitoramento oceanográfico.....	100
Figura 56. Algoritmo do script <i>CriarProdutosOSI.m</i> para a definição das características do produto. ....	101
Figura 57. Algoritmo para leitura de arquivos formato GRIB.....	102
Figura 58. Algoritmo de transformação de coordenadas da imagem para coordenadas geográficas.....	104
Figura 59. Algoritmo de transformação de coordenadas geográfica para coordenadas de imagem.....	105
Figura 60. Algoritmo para elaboração da divisão político-administrativa para os produtos de monitoramento oceanográfico.....	105
Figura 61. Escala de cores para os produtos O&SI SAF. ....	106
Figura 62. Algoritmo para inserção da divisão política, e associação às cores da escala.....	107
Figura 63. Algoritmo para construção da grade de coordenadas.....	108
Figura 64. Algoritmo para armazenamento dos produtos O&SI SAF.....	109
Figura 65. Algoritmo do script para construção de gráficos. ....	111
Figura 66. Continuação do algoritmo para construção de gráficos. ....	112

Figura 67. Volume de dados brutos recebidos em março de 2010. ....	116
Figura 68. Volume de dados ambientais recebidos em março de 2010.....	117
Figura 69. Volume de dados oceanográficos recebidos em março de 2010.....	118
Figura 70. Canal VIS006 em projeção GEOS, imagem obtida em 18/08/2009 às 12:00 UTC.....	119
Figura 71. Canal VIS006 em projeção MERCATOR, imagem obtida em 18/08/2009 às 12:00 UTC. ....	120
Figura 72. Parâmetros físicos para o canal VIS006, em uma área de 9x9 <i>pixels</i> . ..	121
Figura 73. Parâmetros físicos para o canal IR_108, em uma área de 9x9 <i>pixels</i> ....	122
Figura 74. Parâmetros físicos para o canal WV_062, em uma área de 9x9 <i>pixels</i> .	123
Figura 75. Canais VIS006, VIS008 e IR_016 obtidos em 10/01/2010 às 12:00 UTC. ....	124
Figura 76. Canais do vapor d' água obtidos em 10/01/2010 às 12:00 UTC. ....	125
Figura 77. Canais infravermelho obtidos em 10/01/2010 às 12:00 UTC. ....	126
Figura 78. Composição RGB “Natural Colours”, imagem obtida em 10/01/2010 às 12:00 UTC.....	128
Figura 79. Composição RGB “Airmass”, imagem obtida em 11/03/2010 às 18:00 UTC.....	129
Figura 80. Composição RGB “Day And Night Microphysical”, obtida em 24/02/2010 às 18:00 UTC. ....	131
Figura 81. Composição RGB “Convective Storms”, obtida em 24/02/2010 às 18:00 UTC.....	132
Figura 82. Realce do canal WV_072 (Vapor d' Água) obtida em 01/10/2010 às 12:00 UTC.....	134
Figura 83. Realce do canal IR_108 (Temperatura de Brilho) obtida em 01/10/2010 às 12:00 UTC.....	135
Figura 84. Realce do canal IR_108 sobre o Rio de Janeiro, entre os dias 05 e 06 de abril de 2010.....	136
Figura 85. Evolução temporal da temperatura de brilho sobre um ponto localizado no Rio de Janeiro. ....	137
Figura 86. Produto FVC processado em: A) Março; B) Junho; C) Setembro e D) Dezembro de 2009.....	138

Figura 87. Evolução temporal do FVC para dois sítios no período entre 2008 e 2009. .....	139
Figura 88. Albedo da sup. processado em: A) Março; B) Junho; C) Setembro e D) Dezembro de 2009.....	140
Figura 89. Evolução temporal do albedo da superfície para dois sítios no período entre 2008 e 2009. ....	141
Figura 90. Temperatura da superfície terrestre registrada em 01/09/2009 a cada 6 horas. ....	142
Figura 91. Evolução diária da temperatura da superfície em: A) Puça-Piauí e B) Área de agricultura.....	142
Figura 92. Produto de TSM corte setorial MAP, obtido em: A) 10/04/2010 às 00:00UTC e B) 10/04/2010 às 12:00 UTC. ....	143
Figura 93. Produto de TSM corte setorial LML, obtido a cada 3 horas no dia 10/04/2010. ....	144
Figura 94. Janela de acesso principal do sistema de visualização e animação de imagens.....	145
Figura 95. Menu principal para acesso aos produtos de monitoramento meteorológico, ambiental e oceanográfico.....	145
Figura 96. Banco de acesso as imagens processadas. ....	146

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Bandas operacionais e respectivas faixas de frequências. ....	31
Tabela 2. Os canais espectrais do SEVIRI. ....	33
Tabela 3. Produtos disponibilizados pelo LSA SAF, considerados no trabalho, e sua frequência de disponibilização. ....	53
Tabela 4. Constante solar no topo da atmosfera.....	70
Tabela 5. Constantes físicas para o cálculo de $C_1$ e $C_2$ . ....	71
Tabela 6. Valores das constantes $V_c$ e coeficientes de correção A e B para os canais infravermelhos.....	72
Tabela 7. Valores dos coeficientes de escala. ....	74
Tabela 8. Produtos disponibilizados pelo OSI SAF, considerados no trabalho, e suas características.. ....	99
Tabela 9. Relação entre cores, reflectância e alvos para a composição colorida “Natural Colours”. ....	129
Tabela 10. Relação entre cores e diferença da temperatura de brilho, composição colorida “Airmass”. ....	130
Tabela 11. Relação entre cores e diferença da temperatura de brilho, composição “Day And Night Microphysical”. ....	131
Tabela 12. Relação entre cores e diferença da temperatura de brilho para a composição colorida “Convective Storms”. ....	133
Tabela 13. Composição RGB para monitoramento de massas de ar. ....	168
Tabela 14. Composição RGB para monitoramento de sistemas convectivos. ....	168
Tabela 15. Composição RGB para monitoramento diurno.....	168
Tabela 16. Composição RGB para monitoramento da microfísica de nuvens, diurno. ....	168
Tabela 17. Composição RGB para monitoramento da microfísica de nuvens, noturno.....	168

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CSV	Comma-Separated Values
DVB	Digital Video Broadcast
EKU	EUMETCast Key Unit
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
FTP	File Transfer Protocol
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.
FVC	Fractional Vegetation Cover
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems
GERB	Geostationary Earth Radiation Budget
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GOES VAS	GOES Vertical Atmospheric Sounder
GPS	Global Positioning System
GRIB	GRIdded Binary Format
HRIT	High-Rate Information Transmission
HRUS	High-Rate User Station
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LAPIS	Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélite da UFAL
LED	Light Emitting Diode
LML	Low and Mid Latitudes
LRIT	Low-Rate Information Transmission
LRUS	Low-Rate User Station
LST	Land Surface Temperature
LUT	Look-Up Tables
MAP	Merged Atlantic Products
MODIS	MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer
MSG	Meteosat Segunda Geração
NaN	Not a Number
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NESDIS	National Environmental Satellite, Data, and Information Service
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSS-806	NewSkies-806
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
RAM	Random Access Memory
RGB	Red-Green-Blue
RSS	Rapid Scan Services
SAF	Satellite Application Facility
SAmE	South America
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
SPT	SEVIRI Preprocessing Toolbox
SVG	Scalable Vector Graphics
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UMARF	The Unified Meteorological Archive and Retrieval Facility

USB	Universal Serial Bus
UTC	Coordinated Universal Time
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
VITO	Vision on technology

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	19
1.1 Objetivos .....	20
1.1.1 Objetivo Geral .....	20
1.1.2 Objetivos Específicos .....	20
1.2 Organização do Trabalho .....	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	23
2.1 Visão geral do sistema EUMETCast .....	23
2.1.1 A comunidade EUMETCast no Brasil.....	25
2.2 A configuração atual dos satélites Meteosat Segunda Geração (MSG).....	26
2.2.1 Órbita.....	28
2.2.2 Freqüências e bandas de acesso.....	30
2.2.3 O imageador SEVIRI .....	31
2.2.4 Os canais espectrais do SEVIRI e suas aplicações. ....	33
2.2.5 Formatos e transmissão dos dados .....	38
2.3 Processamento das imagens .....	39
2.3.1 Geo-localização de pontos na imagem .....	39
2.3.2 Projeção geoestacionária (GEOS) .....	42
2.3.3 Projeção de MERCATOR.....	46
2.3.4 Calibração radiométrica.....	46
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.1 Estação EUMETCast instalada na UFAL .....	49
3.2 Aquisição e seleção dos dados .....	51
3.3 Organização e armazenamento dos dados.....	55
3.4 Softwares e linguagens de programação utilizadas .....	56
3.5 Processamento dos produtos para o monitoramento meteorológico .....	58
3.5.1 Processamento dos dados brutos .....	58

3.5.2 Descompactação dos dados brutos .....	60
3.5.3 Obtenção dos coeficientes de calibração .....	62
3.5.4 Leitura e união dos segmentos .....	63
3.5.5 Calibração radiométrica.....	67
3.5.6 Geo-localização e projeção de mercator .....	72
3.5.7 Composições coloridas .....	79
3.5.8 Armazenamento do arquivo HDF .....	85
3.6 Processamento dos produtos para o monitoramento ambiental .....	87
3.6.1 Leitura do arquivo HDF .....	90
3.6.2 Concatenação de matrizes.....	91
3.6.3 Divisão político-administrativa e projeção de MERCATOR.....	92
3.6.4 Fator de escala.....	93
3.6.5 Tabela de cores, grade de coordenadas e geo-localização de pontos .....	94
3.6.6 Armazenamento do produto para monitoramento ambiental.....	97
3.7 Processamento dos produtos para o monitoramento oceanográfico .....	99
3.7.1 Leitura do arquivo GRIB.....	102
3.7.2 Geo-localização e divisão político-administrativa .....	103
3.7.3 Escala de cores.....	106
3.7.4 Grade de coordenadas.....	107
3.7.5 Armazenamento do produto para monitoramento oceanográfico.....	108
3.8 Ferramenta para construção de gráficos.....	110
3.9 Sistema de visualização, animação e banco de imagens .....	113
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	115
4.1 Volume de dados recebidos .....	115
4.2 Produtos processados para monitoramento meteorológico .....	118
4.3 Análise da decodificação e calibração radiométrica dos dados brutos .....	121
4.4 Análise dos produtos para o monitoramento meteorológico.....	124

4.4.1 Composições coloridas .....	128
4.4.2 Realce dos canais vapor d' água (WV062) e temperatura de brilho (IR_108)	133
4.5 Análise dos produtos para o monitoramento ambiental .....	138
4.6 Análise dos produtos para o monitoramento oceanográfico.....	143
4.7 Análise do sistema de visualização, animação e banco de imagens .....	144
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	147
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	150
6 REFERÊNCIAS.....	151
APÊNDICE I- CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE RECEPÇÃO.....	156
APÊNDICE II-FUNÇÕES DE GEOLOCALIZAÇÃO DISPONIBILIZADAS PELA EUMETSAT.....	166
APÊNDICE III - COMPOSIÇÕES COLORIDAS RECOMENDADAS PARA AS IMAGENS DO MSG .....	168

# 1 INTRODUÇÃO

Há uma crescente demanda de informações ambientais derivadas de imagens de satélites meteorológicos geoestacionários para a tomada de decisões em setores sócio-econômicos, gestão de recursos hídricos, defesa civil e repostas a emergências causadas por desastres naturais. Não obstante, é cada vez mais crescente a necessidade de se processar estas informações em tempo real para que cheguem rapidamente a grupos especializados e tomadores de decisão. Diante desses desafios, em 2004 a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) criou o Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) com o objetivo de manter um sistema global, efetivo e integrado para coleta, processamento, troca de dados meteorológicos e ambientais para prevenção, mitigação e repostas a desastres naturais.

Dentro desse contexto, o EUMETCast é um sistema de baixo custo para difusão de dados de satélites, observações *in situ*, produtos e serviços como contribuição para o sistema GEOSS, com cobertura próxima da global. Especificamente, a América do Sul é coberta por este sistema. Ele é mantido pela EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites), uma organização intergovernamental, com objetivo de estabelecer, manter e explorar sistemas de satélites meteorológicos, e tem a finalidade de disseminar dados de produtos meteorológicos gerados tanto por ela mesma, como pelos SAF's (Centro de Facilidade de Aplicação de Satélites, tradução do autor), o sistema é constituído por satélites meteorológicos geoestacionários, satélites de telecomunicações, antenas e estações de superfície terrestre.

No Brasil a utilização dos dados do satélite Meteosat Segunda Geração (MSG) através do sistema EUMETCast teve início em 2006, [após o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME)]. A Universidade Federal de Alagoas (UFAL) foi a primeira instituição de ensino superior a possuir uma estação em 2007. Este sistema tem se destacado quando comparado a outros, devido ao baixo custo da estação de recepção, aliado às vantagens tecnológicas como a resolução espectral e temporal do MSG. Apesar do sistema se mostrar eficiente nestes aspectos é importante observar que a EUMETSAT não fornece um software para o processamento das

imagens, mas permite acesso aos dados brutos. Ainda são escassas as pesquisas para entender os processos de recepção dos dados brutos recebidos pelo satélite meteorológico MSG através do sistema EUMETCast, determinando também, os processos de calibração, geo-localização, visualização, formatos e arquivamento das imagens. Reconhecendo o rápido crescimento da utilização efetiva de produtos derivados do satélite MSG e a defasagem das universidades em relação ao acesso aos dados meteorológicos e ambientais, o Laboratório de Processamento e Análise de Imagens de Satélite (LAPIS) da UFAL tem procurado obter formas de acesso facilitado aos dados, o que explica o interesse pelo sistema EUMETCast. Com ele foi possível obter com baixo custo imagens e produtos derivados do satélite MSG e produtos regionais de interesse meteorológico e ambiental para fins de ensino e pesquisa.

A motivação da pesquisa foi contribuir para a operacionalização da recepção, decodificação e visualização dos dados do MSG. Foram também apresentados os resultados obtidos do desenvolvimento de aplicações para o monitoramento meteorológico, ambiental e oceanográfico a partir dos dados recebidos pelo LAPIS.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho foi aperfeiçoar uma estação de recepção através do sistema EUMETCast operacionalizando a decodificação, calibração, geo-localização e visualização das imagens e produtos do satélite MSG através do desenvolvimento de aplicações computacionais, em apoio aos órgãos operacionais de meteorologia e universidades para fins de pesquisa e ensino.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Dentro deste contexto, os objetivos específicos da pesquisa foram:

a) Realizar a decodificação e calibração radiométrica dos dados brutos do satélite, com a finalidade de transformá-los em parâmetros físicos, especificamente informações de radiância, temperatura de brilho e reflectância;

b) Realizar a projeção MERCATOR e a geo-localização das imagens do satélite, de forma a possibilitar a localização de pontos através das coordenadas geográficas e a realização de cortes setoriais;

c) Processar produtos de monitoramento meteorológico, explorando os canais do sensor SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) através de composições coloridas e realce de imagens;

d) Processar produtos de monitoramento ambiental, através da transformação dos dados recebidos pelo projeto LSA SAF em parâmetros biofísicos para elaborar produtos relacionados à vegetação, como o índice FVC<sup>1</sup> e ao balanço de energia como albedo da superfície e LST<sup>2</sup>;

e) Processar produtos de monitoramento oceanográficos, através dos dados recebidos pelo projeto O&SI SAF para extrair informações relacionadas ao monitoramento da temperatura da superfície do mar (TSM);

f) Idealizar aplicações para a visualização das imagens e elaboração de um banco de dados para que os órgãos operacionais de meteorologia possam recuperar as informações processadas através do LAPIS em sua página de internet;

g) Idealizar aplicações para elaboração de gráficos a partir dos parâmetros físicos extraídos dos produtos de monitoramento.

## 1.2 Organização do Trabalho

Este trabalho foi organizado em seis capítulos que são resumidamente descritos a seguir:

O Capítulo um contém a introdução do trabalho, na qual foram apresentadas a motivação e a contextualização do estudo, bem como sua importância e os objetivos gerais e específicos a serem alcançados.

O Capítulo dois refere-se ao referencial teórico, o leitor encontra neste capítulo a descrição do sistema EUMETCast, as características gerais dos satélite MSG (Meteosat Segunda Geração), no que se diz respeito a órbita e frequências de acesso, a descrição do instrumento SEVIRI e dos seus canais, e os conceitos relacionados a geo-localização e a calibração radiométrica dos dados brutos.

---

<sup>1</sup> Fractional Vegetation Cover.

<sup>2</sup> Land Surface Temperature Fonte: PUM, (2008).

No Capítulo três, são apresentados os materiais e métodos utilizados nesse trabalho. Basicamente os materiais envolvem a estação de recepção EUMETCast instalada na UFAL e os dados brutos do MSG para o monitoramento meteorológico em conjunto com os dados disponibilizados pelos projetos LSA SAF e O&SI SAF destinados ao monitoramento ambiental e oceanográfico. Um conjunto de softwares e linguagens de programação foi utilizado para o desenvolvimento das aplicações computacionais. Os métodos utilizados são apresentados na forma de fluxogramas e algoritmos comentados de forma que leitor tenha entendimento das etapas desenvolvidas para processar os dados em questão, transformando-os em produtos para monitoramento.

No Capítulo quatro, apresentam-se os resultados obtidos através do emprego operacional das aplicações desenvolvidas na estação de recepção EUMETCast do LAPIS. Foram utilizadas amostras dos dados recebidos pela estação e exemplos que ilustram os resultados obtidos nas etapas de decodificação, calibração radiométrica e geo-localização das imagens, bem como foram exemplificados os produtos processados para monitoramento meteorológico, ambiental e oceanográfico. Para destacar o ganho que o processamento realizado trouxe a esses dados, por vez, utilizaram-se como exemplos, possíveis fenômenos meteorológicos habitualmente observados sobre a América do Sul. Concluiu-se apresentando o sistema desenvolvido para visualização e animação das imagens e o banco de dados em formato de página de internet.

Por fim, no Capítulo cinco são apresentadas as conclusões e as possíveis recomendações resultantes do trabalho, além de sugestões para trabalhos futuros e no Capítulo seis encontram-se listadas as referências bibliográficas consultadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Visão geral do sistema EUMETCast

Em 1º de Abril de 1960, o primeiro satélite meteorológico TIROS-1 foi lançado. A espaçonave, os sensores, a transmissão de dados e suas aplicações, atualmente, parecem-se pouco com o que eram no tempo dos esforços pioneiros. Quase cinco décadas depois, os satélites sofreram evoluções significativas. As antigas câmeras de TV evoluíram para radiômetros multi-espectrais de varredura, e o tratamento manual dos dados foi sendo substituído por processamentos computacionais cada vez mais sofisticados, o que era analógico passou a ser digital. (KAMPEL, M., 2004).

Graças às tecnologias espaciais e computacionais atualmente disponíveis, é possível estudar o planeta como um sistema global. À medida que a tecnologia espacial e as técnicas de sensoriamento remoto foram evoluindo, os satélites meteorológicos também foram se proliferando internacionalmente. Um dos maiores sistemas de satélites meteorológicos é mantido por duas organizações europeias, a ESA (European Space Agency) e a EUMETSAT. A primeira, em 1970 lançou o um veículo espacial denominado Meteosat-1, alguns anos depois, em 1981, foi lançado o segundo veículo Meteosat-2. Em 1986 foi criada a segunda organização, através da cooperação de 16 países europeus, o programa Meteosat tornou-se então responsabilidade direta da EUMETSAT, e até 1997 foram lançados mais cinco veículos, finalizando a missão que foi denominada Meteosat de primeira geração, mais recentemente, a missão Meteosat Segunda Geração (MSG) teve seus veículos lançados em 2002 e 2005. (EUMETSAT, 2010).

Atualmente as imagens do MSG estão disponíveis para usuários da Europa, África, Ásia e América do Sul, através do sub-sistemas EUMETCast Europe, EUMETCast África, FengYunCast e EUMETCast América, respectivamente. Esses sistemas fazem parte do EUMETCast que, por sua vez, é definido como uma rede global de sistemas de disseminação de dados através de uma rede de satélites, ele faz parte do Sistema Global dos Sistemas de Observação da Terra (GEOSS), que tem como um dos objetivos fornecer dados de meio ambiente e ferramentas de apoio a decisão à uma variedade de usuários. O seu objetivo principal é colocar a

disposição de uma vasta gama de usuários informações globais como suporte para a tomada de decisões sólidas em um número de áreas críticas, incluindo a saúde pública, energia, agricultura, clima, água, catástrofes naturais e ecossistemas. O acesso a estas informações é realizado por um serviço de baixo-custo, o que deve trazer benefícios para a sociedade através da melhoria da gestão dos recursos naturais, da saúde humana e do bem-estar e crescimento econômico. Os produtos e serviços a seguir estão disponíveis aos usuários do sistema EUMETCast:

- Dados de imagem dos satélites Meteosat, GOES East e West, e FY-2.
- Produtos para monitoramento da superfície terrestre e dos oceanos desenvolvidos pelos SAF's.
- Produtos meteorológicos da EUMETSAT e NOAA-NESDIS<sup>3</sup>.
- Produtos de vegetação distribuídos pela VITO<sup>4</sup>.
- Produtos para monitoramento oceânico do satélite MODIS<sup>5</sup>.
- Dados observacionais e in-situ. (EUMETSAT, 2010b).

A Figura 1 apresenta a cobertura global do sistema EUMETCast, destacando em diferentes cores a divisão em sub-sistemas.

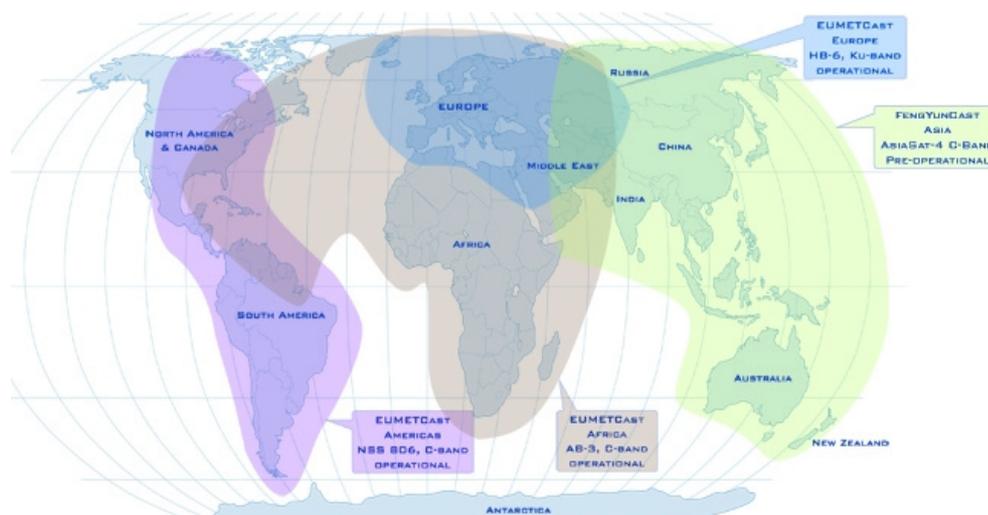


Figura 1. Cobertura global do sistema EUMETCast. FONTE: (EUMETSAT, 2006, p.12).

Na América do Sul, a utilização deste sistema teve início em abril de 2006. Para a disseminação dos dados é utilizado o satélite de telecomunicação da

<sup>3</sup> Serviços de satélites e informações da NOAA (National Oceanic and Atmosphere Administration). <http://www.nesdis.noaa.gov/>

<sup>4</sup> Organização de pesquisa Belga, fornece produtos do satélite SPOT-VEGETATION através do EUMETCast. <http://www.vito.be/VITO/EN/HomepageAdmin/Home>.

<sup>5</sup> MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) principal instrumento a bordo dos satélites AQUA e TERRA mantidos pela NOAA.

provedora Globecast, denominado NewSkies-806 (NSS-806), localizado a 40.5° de latitude oeste, que transmite os dados em banda C. A área de cobertura, Figura 2, inclui parte da América do Norte e das ilhas do Caribe.

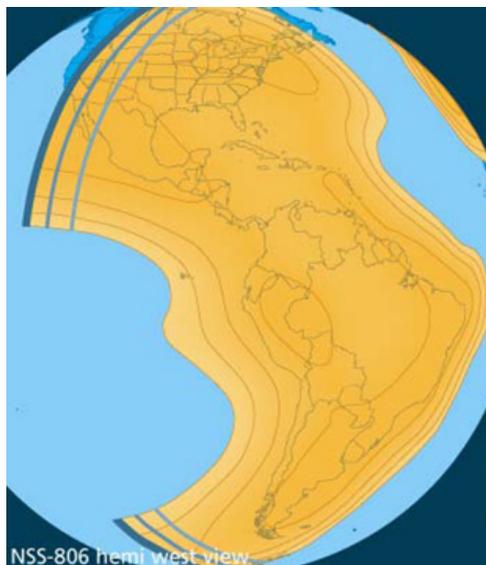


Figura 2. Cobertura do EUMETCast Américas através do NSS-806 em banda C.  
FONTE:(EUMETSAT, 2006, p.14).

A instalação típica de uma estação para recepção envolve a utilização de um computador com uma placa padrão DVB (Digital Video Broadcast) instalada e uma antena parabólica direcionada para o satélite de telecomunicações. Para decodificar o sinal e ter acesso aos dados, adicionalmente são utilizados softwares específicos e uma chave de acesso, denominada ECU (EUMETCast Key Unit), ambos disponibilizados pela EUMETSAT. Em caráter operacional, outras configurações para a estação de recepção podem ser utilizadas, envolvendo, por exemplo, um computador adicional destinado ao processamento dos dados recebidos. Detalhes técnicos sobre o sistema EUMETCast e as configurações da estação utilizada neste trabalho encontram-se no Apêndice I. Ressalta-se ainda que um único computador destinado a recepção pode potencialmente receber todos os dados oferecidos pelo sistema a partir do satélite de telecomunicações.

### 2.1.1 A comunidade EUMETCast no Brasil

No Brasil a utilização dos dados do satélite Meteosat Segunda Geração através do sistema EUMETCast teve início em 2006, após o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos

Hídricos (FUNCEME). A Universidade Federal de Alagoas (UFAL) foi a primeira instituição de ensino superior a possuir uma estação do sistema em 2007.

Atualmente, encontram-se instaladas 25 estações de recepção, distribuídas em 16 estados brasileiros. Desde o princípio, são realizados cursos e treinamentos anuais, fruto do acordo entre INPE e EUMETSAT. A UFAL tem participado desses cursos através do Laboratório de Processamento de Imagens de Satélite (LAPIS).

A Figura 3, apresenta a distribuição geográfica das estações instaladas no Brasil, e suas respectivas instituições responsáveis.



Figura 3. Estações EUMETCast instaladas no Brasil e suas respectivas instituições responsáveis.  
FONTE: (LAPIS, 2010. [www.lapismet.com](http://www.lapismet.com). Acesso em 21 mai, 2010, 17:30)

O sistema EUMETCast apenas começou a ser conhecido e utilizado, mas a perspectiva é que ele se popularize rapidamente pelos centros operacionais, universidades e instituições a medida que estes tomem conhecidas as facilidade e benefícios que ele proporciona.

## 2.2 A configuração atual dos satélites Meteosat Segunda Geração (MSG)

O Meteosat Segunda Geração consiste em uma série de quatro satélites meteorológicos geoestacionários, juntamente com uma infra-estrutura terrestre, que operará consecutivamente até 2018. (PRESTRELO, 2008).

Cada satélite foi projetado para ter um tempo de vida de aproximadamente sete anos. Tal como acontece com o sistema da primeira geração, é disponibilizado um serviço de satélite em pares, onde um satélite adicional está disponível em órbita. (SCHMETZ et al., 2005).

O primeiro satélite, Meteosat-8, foi lançado em 22 de Abril de 2002. Em seguida foi lançado o Meteosat-9 em 21 de dezembro de 2005. Essa geração está gradativamente substituindo a primeira geração, e atualmente o Meteosat-9 provê informações para o sistema EUMETCast. O Meteosat-8 é uma réplica do seu antecessor, e funciona como um sistema de backup e oferece um serviço chamado Rapid Scan Service (RSS)<sup>6</sup> para os países da Europa. A dimensão dos satélites de segunda geração é de 3,2 m de diâmetro com 2m de altura, semelhantemente aos satélites da primeira geração, ele gira ao redor do próprio eixo a velocidade de 100 RPM e o seu eixo principal é praticamente alinhado ao eixo norte-sul terrestre. (KERK, 2008).

Ambos os satélites da segunda geração estão localizados nominalmente a 0° de latitude. O Meteosat-9 está a 0° de longitude, e o Meteosat-8 está deslocado 9.5° a leste. A Figura 4, exibe a localização e a área de cobertura. Essa localização possibilita que aproximadamente 42% do globo terrestre seja monitorado.



Figura 4. Localização dos satélites Meteosat. Adaptada de KERK, (2008) p.15.

A missão principal do MSG é a observação contínua da terra, que é feita através de um radiômetro imageador denominado Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI), que obtém imagens multi-espectrais com resoluções temporais, espaciais e radiométricas superiores às da geração anterior. O SEVIRI observa a superfície da terra medindo a radiância em doze diferentes comprimentos

<sup>6</sup> Serviço de imageamento para Europa com resolução temporal de cinco minutos. SCHMETZ et al. (2000).

de onda do espectro eletromagnético onde a diversidade de canais fornece medições de diferentes características físicas da atmosfera e da superfície em uma resolução espacial de 3 km no ponto do sub-satélite. Um dos canais é denominado Canal de Alta Resolução e para esse canal as imagens são adquiridas no espectro visível com resolução espacial de 1 km no ponto do sub-satélite. A resolução temporal do satélite é de 15 minutos, o que fornece observações da rápida mudança em fenômenos como os sistemas convectivos. (EUMETSAT, 2001).

Adicionalmente, a bordo do MSG está o instrumento Geostationary Earth Radiation Budget (GERB), que observa a radiação termal no espectro infravermelho e visível que é emitida pela Terra. O instrumento faz medições dos componentes de radiação de ondas curtas e ondas longas e do saldo de radiação no topo da atmosfera. Esses dados são interessantes para estudos climatológicos e não são utilizados para as previsões meteorológicas de curto prazo. Em particular, as observações simultâneas com o SEVIRI e GERB revelaram elementos dos processos físicos de convecção e a sua influência sobre o saldo de radiação nos trópicos, por exemplo. (SCHMETZ et al., 2005).

As imagens da terra e outros dados meteorológicos são disseminados via satélite de telecomunicações para que as informações sobre as condições meteorológicas atuais possam ser recebidas pelos usuários em tempo quase real. Os satélites estão equipados para transmitir informações para as estações de usuários localizadas em qualquer lugar dentro da área de cobertura do Meteosat. (EUMETSAT, 2001).

Cada satélite apresenta características de funcionamento que estão diretamente relacionadas com o seu objetivo principal. Uma das características importantes é a trajetória pela qual o satélite percorre em torno da Terra, denominada órbita.

### **2.2.1 Órbita**

Os satélites movimentam-se em diferentes órbitas ao redor da Terra. Essas órbitas diferenciam-se pela distância entre o núcleo da Terra e do satélite e pela posição relativa da órbita a partir da terra, bem como o tipo de órbita: circular ou oval (elíptica). Satélites de órbita circular movimentam-se em volta da Terra em uma

órbita em que eles permanecem o tempo toda a mesma distância em relação à superfície da Terra (KERK, 2008).

As forças atuantes sobre o satélite são descritas pela Lei da Gravitação Universal e pela Segunda Lei de Newton.

Duas forças atuam sobre o satélite, por um lado, a força centrípeta

$$F_g = mg \left( \frac{R}{r} \right)^2, \quad (1)$$

e por outro lado, a força centrífuga

$$F_z = mr(2\pi f)^2, \quad (2)$$

em que,  $m$  é a massa do satélite,  $R$  o raio da terra,  $r$  a distância entre o centro da terra e o satélite,  $g$  a força da gravidade e  $f$  a frequência circular do satélite.

Para permanecer em uma órbita circular, ambas as forças devem ser iguais:

$$\begin{aligned} F_g &= F_z, \\ mg \left( \frac{R}{r} \right)^2 &= mr(2\pi f)^2. \end{aligned} \quad (3)$$

A massa do satélite aparece em ambos os lados da equação, por isso, é um termo que pode ser desprezado, reduzindo a equação em:

$$g \left( \frac{R}{r} \right)^2 = r(2\pi f)^2. \quad (4)$$

Isolando o termo  $r$ , temos:

$$r = \left( g \frac{R^2}{(2\pi f)^2} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (5)$$

Segundo Kerk (2008), com estas equações podemos calcular a distância entre o satélite e a terra. O único fator que influencia a altitude é o período da órbita. Um período orbital especial que é amplamente utilizado é o período orbital de 24 horas. Para atingir este período orbital, o satélite deve residir em uma altitude de aproximadamente 35.786 km. Um satélite nesta órbita presente no Equador está em uma posição fixa em relação a um ponto em superfície, sendo assim, classificado como um satélite geoestacionário. Outra característica da órbita do satélite é a sua posição relativa à superfície da terra, que pode ser descrita pela inclinação da órbita.

Assim, uma antena terrestre pode permanecer fixa e apontada sempre a uma dada direção do céu, sem necessitar ser redirecionada periodicamente. Este é

o caso dos satélites artificiais de comunicação, rádio e televisão que ficam em órbitas geoestacionárias a fim de permanecerem sempre sobre a mesma posição aparente, sendo que o peso ou a forma do satélite é irrelevante (ELBERT, 1999).

Kerk (2008), afirma que o principal benefício deste tipo de órbita diz respeito à posição fixa que o satélite está localizado, o qual permite a instalação de uma antena com alinhamento estático. Com respeito à altitude do satélite, a vantagem oferecida é que três satélites são suficientes para cobrir toda a superfície terrestre. Por outro lado, Schmetz et al., (2005) ressaltam que uma das desvantagens dessa altitude é a limitação na resolução espacial e o fato de que ao se deslocar do equador para os pólos ocorre diminuição no ângulo de elevação. Portanto, usuários localizados além de 60° de latitude terão dificuldades na recepção, somente sendo possível receber o sinal utilizando grandes antenas.

Alguns desafios devem ser considerados para os satélites que estão em órbita ao redor da terra, um deles é utilizar uma frequência de transmissão que evite conflitos com outros satélites e que possibilite o uso eficiente da banda de transmissão disponível.

## **2.2.2 Frequências e bandas de acesso**

Problemas com a frequência desativam ou absorvem o sinal transmitido pelo satélite e conseqüentemente os receptores não recebem sinais adequados e, portanto, a transmissão deve ser repetida. Em vista disso, é necessário manter o uso coerente das bandas de acesso entre os diferentes sinais disponíveis. Um fator relevante é a quantidade de banda de transmissão limitada para os diversos satélites que pretende utilizá-la. (RODDY et al., 2006).

O sistema EUMETCast é disponibilizado aos usuários através das banda C para as Américas, África e Ásia, e na banda Ku para a Europa. Na América do Sul, o satélite de telecomunicações NewSkies-806 opera na banda C, que é uma banda de frequência utilizada nas comunicações com satélites que tem as seguintes características: Espectro de frequência de 4 GHz a 8 GHz, usada para recepção (Satélite - Terra) e a que vai de 5 GHz a 6 GHz é usada na transmissão (Terra - Satélite) (SCHILLER, 2003). Um fator a ser considerado, é o diâmetro da antena utilizada para recepção em diferentes bandas. A Tabela 1 relaciona as bandas,

faixas de freqüências e o diâmetro mínimo das antenas utilizadas para recepção das imagens do MSG.

Tabela 1. Bandas operacionais e respectivas faixas de freqüências.

Banda	Faixa de Freqüência	Diâmetro (mínimo) da antena
C	4 – 8 GHz	2,4 m
Ku	12 – 18 GHz	1,8 m

### 2.2.3 O imageador SEVIRI

O SEVIRI é um radiômetro imageador que escaneia a terra linha por linha através de um orifício de abertura com aproximadamente 50 cm de diâmetro, o qual provê dados de imagens em três canais do espectro visível, um canal infravermelho próximo e oito canais infravermelhos termais. Para os canais do visível é disponibilizado um canal denominado alta resolução que contém nove detectores e para os demais canais são utilizados três detectores. A massa total do instrumento é de 260 kg.(SCHMID, 2002).

Segundo Schmetz et al., (2005), o imageamento é realizado utilizando-se a combinação da rotação do satélite e de seus espelhos, em um processo conhecido como “stepping”. Dessa forma, as imagens são obtidas do sul ao norte e de oeste a leste. Limitações na taxa de transferências dos dados de imagens para o canal de alta resolução visível limitam a área observada à metade da Terra na direção leste-oeste. A Figura 5 exhibe em (A) a área de cobertura para os canais com resolução espacial de 3 km, e em (B) para o Canal de Alta Resolução, com resolução de 1 km.

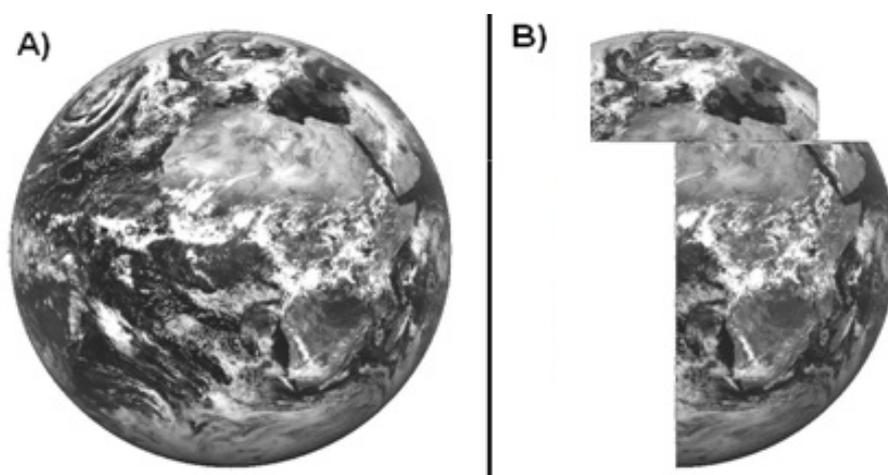


Figura 5. A) Área de cobertura nos canais de baixa-resolução, e B) no canal de alta resolução. Imagem recebida e processada no LAPIS em 02/05/2010.

## Princípios de funcionamento do imageador

Um espelho de varredura é utilizado para mover a linha de visada do instrumento sentido Sul-Norte. A radiância do alvo é coletada por um telescópio e focalizada para os detectores. A separação dos canais é realizada considerando a distância focal do telescópio por meio de espelhos. Um mecanismo de abertura é acionado periodicamente como fonte de referência de calibração de corpo-negro para o campo de visada do instrumento. A imagem completa da terra é obtida em cerca de doze minutos e o espelho de varredura é então conduzido de volta à sua posição inicial para obtenção da próxima imagem. Um mecanismo de abertura é ativado para inserir o corpo-negro abordo ao caminho óptico para a calibração do instrumento e por fim, o corpo-negro é removido após cerca de dois segundos a partir da posição de calibração. (SCHMID, 2002).

A Figura 6 apresenta o princípio de funcionamento do imageador SEVIRI. (EUMETSAT, 2007).

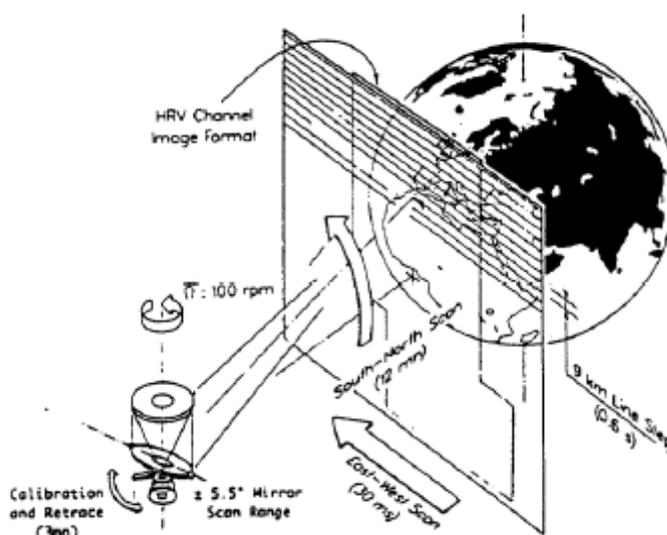


Figura 6. Princípios de funcionamento do SEVIRI. FONTE: EUMETSAT, (2007) p. 12.

A observação da Terra é retomada levando a um ciclo de repetição total de 15 minutos, incluídos o tempo de calibração a bordo e da movimentação dos espelhos. As imagens obtidas ao término da varredura possuem dimensão de 3712 linhas por 3712 colunas, exceto para o canal de alta resolução com 11136 linhas por 5586 colunas.

## 2.2.4 Os canais espectrais do SEVIRI e suas aplicações.

Segundo, Masika, (2007) as informações derivadas das imagens do MSG são importantes para monitorar o estado da atmosfera, sendo que as propriedades e o comportamento espectral das nuvens podem ser estudados.

Schmetz et al. (2002) destaca que a maioria dos canais espectrais do SEVIRI foram escolhidos como herança de outros satélites, o que apresenta a vantagem de que a comunidade de usuários operacionais podem facilmente utilizar métodos conhecidos para as observações de radiância. O imageamento é realizado através de um conjunto de doze canais espectrais localizados em diferentes janelas atmosféricas<sup>7</sup> e bandas de absorção no espectro solar e terrestre. A Tabela 2 apresenta as características dos canais, em termos do comprimento de onda central, máximo e mínimo do canal, resolução espacial e suas possíveis aplicações.

Tabela 2. Os canais espectrais do SEVIRI. Adaptado de Masika, S. P. (2007). p. 9.

Nro. Canal	Canal	Características do canal ( $\mu\text{m}$ )			Resolução espacial (Km)	Aplicação Observacional
		$\lambda$ cen	$\lambda$ min	$\lambda$ max		
1	VIS006	0.63	0.56	0.71	3	Superfície, nuvens, ventos.
2	VIS008	0.81	0.74	0.88	3	Superfície, nuvens, ventos.
3	IR_016	1.64	1.50	1.78	3	Superfície e propriedades das nuvens.
4	IR_039	3.90	3.48	4.36	3	Superfície, nuvens, ventos.
5	WV_062	6.25	5.35	7.15	3	Vapor de água, nuvens em altos níveis, e instabilidade atmosférica.
6	WV_073	7.35	6.85	7.85	3	Vapor de água e instabilidade atmosférica.
7	IR_087	8.70	8.30	9.10	3	Superfície, nuvens, e instabilidade atmosférica.
8	IR_097	9.66	9.38	9.94	3	Ozônio.
9	IR_108	10.80	9.80	11.80	3	Superfície, nuvens, ventos e instabilidade atmosférica.
10	IR_120	12.00	11.00	13.00	3	Superfície, nuvens, e instabilidade atmosférica.
11	IR_134	13.40	12.40	14.40	3	Nuvens em altos níveis e instabilidade atmosférica.
12	HRV	0.4 – 1.1			1	Superfície e nuvens.

<sup>7</sup> O conceito de janela atmosférica se refere ao fato de existir pouca absorção da radiação pelos gases atmosféricos nesses comprimentos de onda.

Os canais VIS006 e VIS008 são conhecidos do radiômetro de órbita polar da NOAA, Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). Eles são essenciais para a detecção e o monitoramento de nuvens, superfície, aerossóis e da vegetação. Estes provêm informações durante o dia e seus comprimentos de onda ajudam na identificação de superfícies vegetadas e das nuvens em diferentes períodos do ano e também na determinação de índices de vegetação.

O canal IR\_016 diferencia neve e nuvens, e também nuvens de gelo e nuvens de água. A combinação desse canal com os canais citados anteriormente melhora a observação de aerossóis e da umidade do solo e permite elaborar índices de vegetação.

O canal IR\_039 derivado do AVHRR é destinado principalmente para detecção de nuvens em baixos níveis e nevoeiro (Schmetz et al., 2002 apud Lee et al. 1997). Também permite a estimativa da temperatura da superfície do mar e da superfície terrestre à noite. Para o MSG, a banda espectral foi alargada para melhorar a relação sinal-ruído. Segundo Prieto, (2002), o comprimento de onda desse canal é posicionado em uma região sensível a radiação emitida pelo Sol e pela Terra. Outra possível aplicação é detecção de queimadas, baseado na sua alta sensibilidade a mudanças de temperatura. A temperatura média da área do *pixel*<sup>8</sup> de uma queimada estaria próxima da temperatura da própria queimada.

Os canais WV\_062 e WV\_073 são destinados à observação da distribuição de vapor de água na atmosfera. O pico da banda espectral foi aprimorado para monitorar dois diferentes níveis na troposfera, médios e altos níveis. Sua combinação com os canais infravermelho permitem a determinação da temperatura de nuvens do tipo cirrus (que podem parecer mais quentes do que elas são por causa da contribuição da superfície da Terra na imagem de satélite), de ventos e áreas sem cobertura de nuvens. Prieto, (2002) afirma que a absorção de vapor de água é mais forte em 6,2  $\mu\text{m}$ , portanto o pico de absorção está localizado na atmosfera em torno de 350 hPA e para o comprimento de onda 7,3  $\mu\text{m}$  o pico de absorção está localizado em torno de 600 hPA para as latitude médias.

O canal IR\_087 foi herdado do instrumento High Resolution Infra-Red Sounder (HIRS), presente nos satélites de órbita polar NOAA. Esse canal oferece

---

<sup>8</sup> *Pixel ou pixels*; é o menor elemento da imagem digital. Matematicamente é o produto cartesiano entre os conjuntos  $E$  e  $K$ , sendo,  $E$  o conjunto de quadrados adjacentes dispostos em linhas e colunas, e  $K$  é o conjunto que representa níveis de cinza da imagem digital. (BANON, G. 2000).

informações quantitativas sobre nuvens do tipo cirrus e auxilia a discriminação entre nuvens constituídas por partículas de gelo e de água.

O canal IR\_097 também herdado do instrumento HIRS e do satélite GOES, fornece informações sobre a distribuição de ozônio, que é um indicativo do movimento de ventos na baixa estratosfera. É importante dizer que a evolução temporal do campo de ozônio total pode ser monitorada. Segundo Schmetz et al., (2005), o canal de ozônio é uma característica inovadora num instrumento de imageamento geoestacionário, e é útil para observar a dinâmica da estratosfera e a altura da camada atmosférica tropopausa.

Os canais IR\_108 e IR\_120 são herdados do AVHRR, conhecidos como janelas atmosféricas, são essenciais para o monitoramento da temperatura da superfície terrestre, do mar, e das nuvens.

O canal IR\_134 herdado do instrumento GOES VAS, monitora a absorção de CO<sup>2</sup> e pode ser utilizado para a discriminação de nuvens do tipo cirrus, avaliação da pressão do topo das nuvens e rastreamento de nuvens. De acordo com Schmetz et al. (2002), pode fornecer informações sobre a instabilidade atmosférica.

O canal HRV, de alta resolução, é herança da geração anterior de satélites Meteosat. Ele tem resolução espacial no nadir<sup>9</sup> de aproximadamente 1 km e as suas características espectrais são semelhantes aos dos canais visíveis, portanto é considerado um canal de suporte à previsão imediata (EUMETSAT, 2005).

De acordo com EUMETSAT, (2005), para o monitoramento da superfície, algumas das aplicações dos dados do AVHRR também podem ser realizadas com dados do MSG. A vantagem para monitoramento da superfície é o melhor acompanhamento das variações diurnas da nebulosidade, temperatura da superfície da Terra e da irradiação solar na superfície da Terra, além disso, há mais oportunidades durante o dia para encontrar áreas sem nuvens para a observação da superfície.

A Figura 7 exhibe parte do espectro eletromagnético emitido da terra à atmosfera. A temperatura de brilho é apresentada em função do comprimento de onda (em azul) e os canais infravermelhos do SEVIRI são exibidos na parte superior da figura, em função do comprimento de onda central do canal.

---

<sup>9</sup> Nadir é definido com a direção apontada diretamente abaixo de um ponto, a partir da vertical local. Nesse caso o ponto considerado é localizado onde o satélite está posicionado.

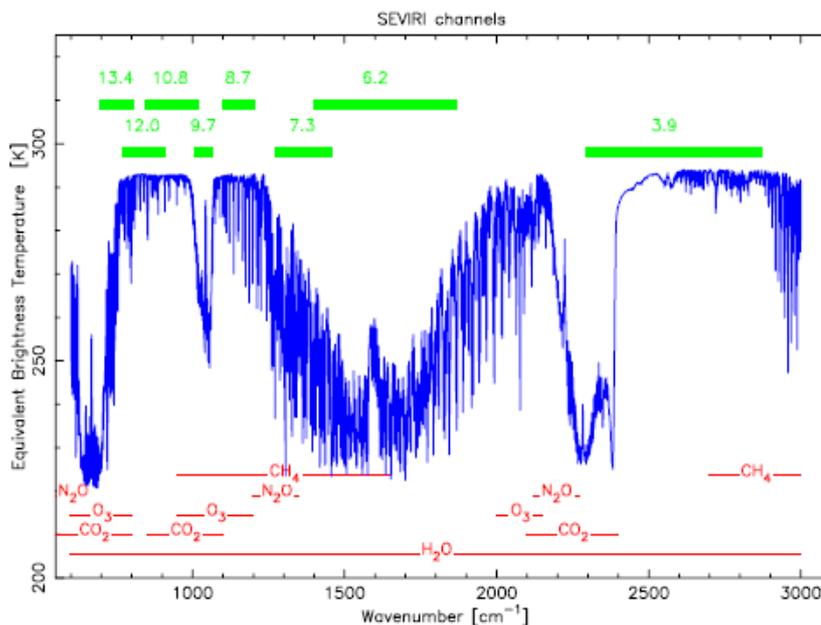


Figura 7. Localização dos canais infravermelhos no espectro atmosférico.  
 FONTE: TJEMKES et al. (1998), p. 27.

A Figura 8 exibe a localização dos canais no espectro visível do MSG, em função do comprimento de onda central, no eixo das abscissas. No eixo esquerdo, é apresentado a reflectância e no direito a irradiância. As curvas verde, marrom e vermelho referem-se à reflectância da vegetação, do solo e a irradiância no topo da atmosfera, respectivamente, considerando-se um espectro de energia típico.

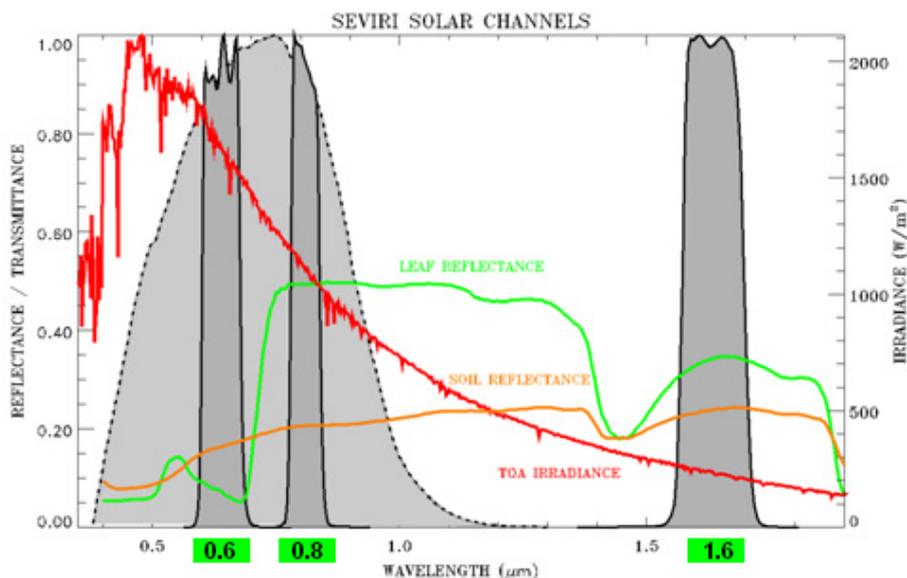


Figura 8. Localização dos canais no visível, considerando um espectro de energia típico.  
 SCHMETZ et al., (2005) p. 6.

A Figura 9 exibe as funções de peso para os canais do espectro infravermelho. Estas funções descrevem a contribuição de cada camada atmosférica sob a radiância monitorada pelo satélite que depende do estado atual da atmosfera

e do ângulo zenital do satélite. Em **(A)** é exibido a função para um ponto localizado ao nadir do satélite e em **(B)** para as latitudes médias, visto que a comparação entre as figuras demonstram como o pico da função é diretamente proporcional ao ângulo zenital do satélite.

De acordo com Tjemkes et al. (1998) as funções de peso são uma ferramenta importante para analisar a radiação no topo da atmosfera, pois elas indicam qual a contribuição de cada camada da atmosfera sob a radiação emitida em diferentes comprimentos de onda.

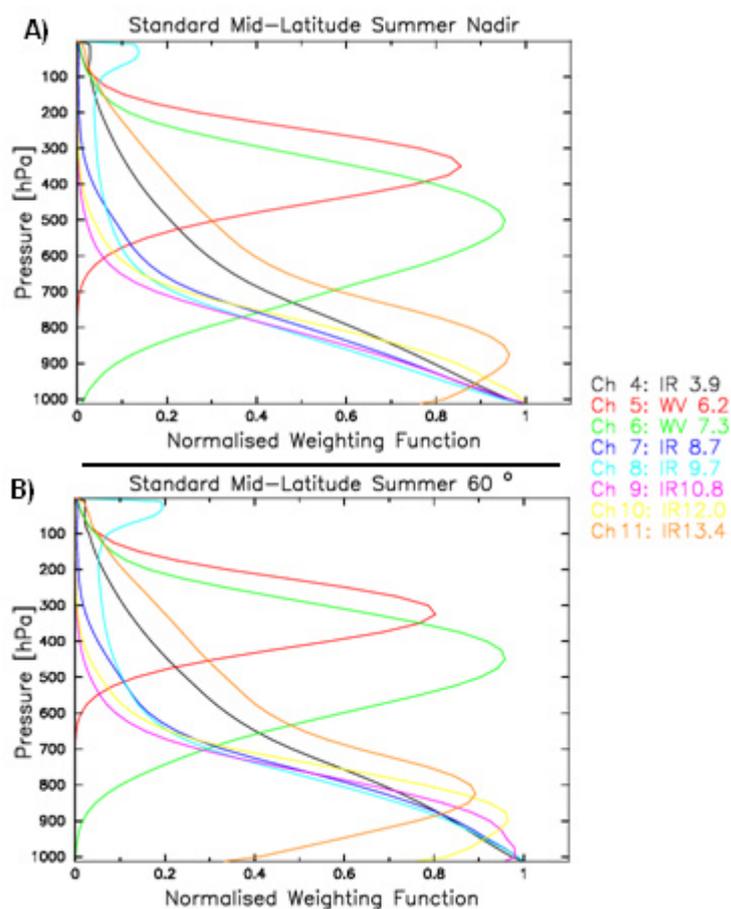


Figura 9. Funções de peso: A) Ao nadir do satélite e B) deslocado 60°, em latitudes médias. Adaptado de SCHMETZ et al., 2005. p. 8.

Após o instrumento SEVIRI obter a imagem em seus diferentes comprimentos de onda, utilizando os princípios que foram mencionados, ela é então codificada na forma digital para que possa ser transmitida à estação em superfície. O caminho que a imagem percorre no decorrer desse processo e a forma que os dados são codificados e transmitidos são detalhados a seguir.

### 2.2.5 Formatos e transmissão dos dados

O nível de dados 1.0 corresponde à imagem que foi adquirida pelo satélite MSG antes que qualquer processamento em superfície seja realizado. Esse nível corresponde à imagem obtida diretamente pelo SEVIRI. O nível de dados 1.5 é o resultado do processamento do nível 1.0 e corresponde à imagem que foi corrigida de efeitos geométricos e radiométricos indesejados e encontra-se georeferenciada utilizando uma projeção padronizada, sendo assim os valores de radiância estão linearizados. Nesse nível os dados podem ser transformados em produtos meteorológicos. (EUMETSAT, 2007).

Segundo Schmetz et al., (2005), os dados brutos provenientes do SEVIRI são processados pela EUMETSAT na Alemanha e depois transformados em dados do nível 1.5. Essas imagens depois de transformadas estão prontas para serem calibradas e georeferenciadas. Nesse nível os dados possuem uma resolução radiométrica e codificação em 10 bits, e representam a base para todos os processamentos posteriores e derivação de produtos. Adicionalmente, informações são disponibilizadas na forma de arquivos denominados *headers* e *trailers*. Eles são necessários para interpretação, calibração e validação dos produtos que foram derivados da imagem do satélite.

Os dados do MSG podem ser acessados em tempo real ou através de arquivamentos realizados por um software chamado UMARF. Para o acesso em tempo real os dados são recebidos através de uma estação de recepção do usuário. Existem duas formas de disseminação dos dados: a) High-Rate Information Transmission (HRIT) com 1 Mb/s e b) Low-Rate Information Transmission (LRIT) com 128 Kb/s e ambas as formas são digitais. Dois tipos de estação de recepção foram planejados para serem disponibilizados, denominados: a) High-Rate User Station (HRUS) e b) Low-Rate User Station (LRUS) para a recepção nas formas HRIT e LRIT respectivamente. (SCHMETZ et al., 2002). O software UMARF é acessado através do endereço <http://archive.eumetsat.org>, nele o usuário preenche um formulário de cadastro, e logo após pode solicitar acesso aos dados processados pelo satélite. É importante destacar que nesse tipo de acesso, os dados são transmitidos através de uma conexão de internet e, considerando o tamanho dos arquivos solicitados, essa forma de acesso apresenta limitações com relação ao tempo hábil para obter os dados.

Para administrar uma estação, o usuário deve ser registrado para receber uma chave de decodificação dos dados. Ambas as formas de disseminação contêm as imagens em nível 1.5, porém a forma LRIT é planejada para disseminar somente cinco dos doze canais do SEVIRI, em uma compactação com perdas, para reduzir o volume dos dados. Em HRIT é usado um algoritmo de compactação sem perdas, de forma que a qualidade radiométrica das imagens é completamente preservada. (SCHMETZ et al., 2002).

De acordo com EUMETSAT, (2006b), a compactação dos dados é necessária para a transmissão completa dos dados na forma HRIT e para maximizar a disponibilidade na forma LRIT. A compactação utilizando Transformada Wavelet foi a escolhida pelo serviço de disseminação dos dados MSG.

Após o recebimento das imagens, elas devem ser processadas com a finalidade de se entender as informações associada a cada *pixel* e dois procedimentos foram de fundamental importância. São elas a geo-localização e a calibração radiométrica, sendo que a primeira permite conhecer a localização dos *pixels* em coordenadas geográficas, enquanto a calibração radiométrica permite estabelecer uma relação entre o número digital e as quantidades físicas mensuradas pelo SEVIRI.

## **2.3 Processamento das imagens**

### **2.3.1 Geo-localização de pontos na imagem**

Para a localização de um ponto no globo terrestre são utilizadas as coordenadas geográficas, determinadas por longitude (lon) e latitude (lat), ambas as coordenadas são especificadas em unidades de graus.

A longitude é determinada como positiva no sentido leste-oeste, a partir do meridiano de Greenwich. O domínio considerado é de -180 a +180 graus. A latitude é determinada desde -90 no pólo sul, através de 0° no equador até +90 no pólo norte (EUMETSAT, 1999).

A Figura 10 mostra essa situação em um modelo esférico da terra.

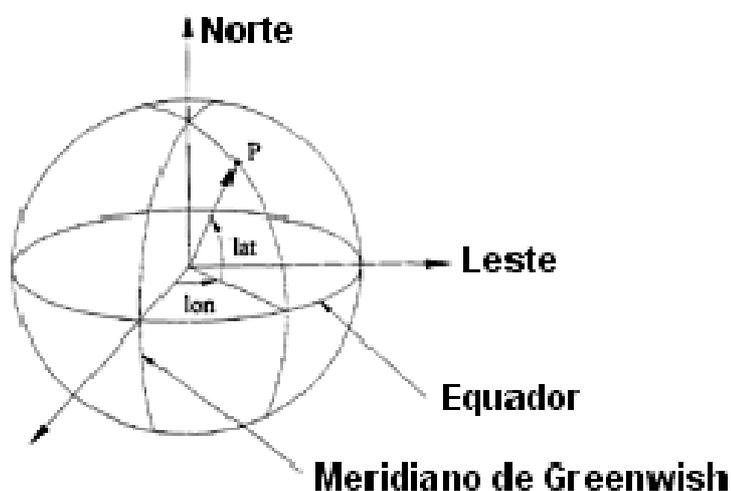


Figura 10. Coordenadas geográficas. FONTE: EUMETSAT (1999) p. 22.

O arquivo de dados da imagem consiste em uma seqüência de *pixels*, sem quaisquer lacunas entre eles. O tamanho de um *pixel* (em bits) é especificado no arquivo de registro da imagem, bem como o número de linha e colunas, denominados NL (número da linha) e NC (número da coluna) respectivamente. O número total de *pixels* é igual ao produto  $NL \times NC$ , assim o tamanho total do arquivo de dados é  $NL \times NC \times$  tamanho do *pixel*. Os *pixels* são ordenados linearmente, da esquerda para a direita e de cima para baixo. Assim, as linhas são contadas a partir de  $NL = 1$ , e as colunas  $NC = 1$ . Conseqüentemente, o primeiro *pixel* no arquivo de dados (no canto superior esquerdo) corresponde ao par de coordenadas (1,1) e o último *pixel* (canto inferior direito) tem as coordenadas (NL,NC). (EUMETSAT, 1999).

A Figura 11 mostra a estrutura de uma imagem LRIT / HRIT. Cada *pixel* da imagem é endereçado através de um par de coordenadas, que são indicados pelas letras c (referente à coluna) e l (referente à linha).

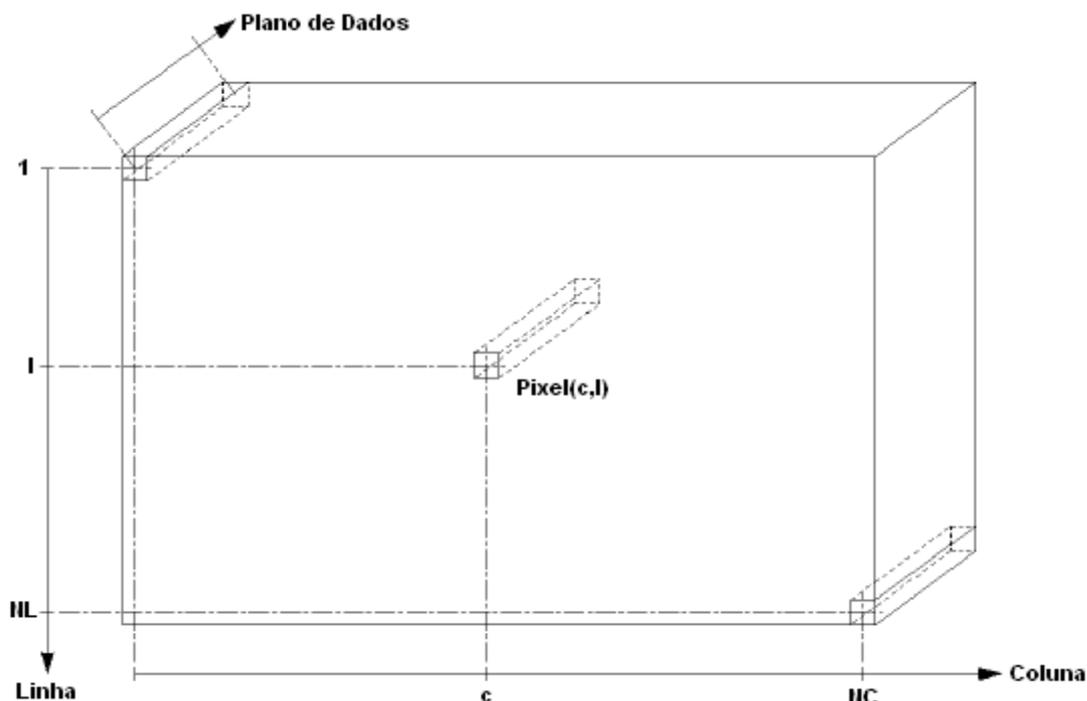
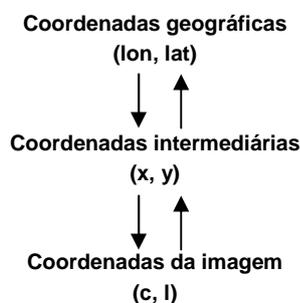


Figura 11. Estrutura da imagem HRIT/LRIT. FONTE: EUMETSAT (1999) p. 15.

A relação entre as coordenadas da imagem ( $c$ ,  $l$ ) e as coordenadas geográficas ( $\text{lon}$ ,  $\text{lat}$ ) é determinada pela concatenação de duas funções de projeção e a pseudo-inversa e , uma em cada direção.



As funções de projeções são determinadas pelo tipo da projeção requerida ou outras funções de projeção podem ser acrescentadas, dependendo da necessidade dos usuários (EUMETSAT, 1999).

Percebe-se que as coordenadas geográficas ( $\text{lon}$  e  $\text{lat}$ ) e as coordenadas intermediárias ( $x$  e  $y$ ) são números reais, enquanto a coordenadas da imagem ( $l$  e  $c$ ) são números inteiros. Um artifício é utilizado para relacionar as funções com domínios diferentes, chamado funções de escala. As funções de escala abaixo são determinadas pelos coeficientes e , e .

$$\begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix} = g \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \text{ e } \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = g^{-1} \begin{pmatrix} c \\ l \end{pmatrix}$$

Elas relacionam as coordenadas intermediárias  $(x, y)$  e as coordenadas da imagem  $(c, l)$ , com a seguinte definição:

$$\begin{aligned} c &= COFF + nint(x2^{-16}CFAC) \\ l &= LOFF + nint(x2^{-16}LFAC) \end{aligned} \quad (6)$$

Em que:

A função *nint* denota o número inteiro mais próximo do número real que é o argumento de entrada.

Os parâmetros, *COFF*, *CFAC*, *LOFF*, *LFAC* são números inteiros que representam os coeficientes de escala e estes valores são armazenados em um arquivo denominado “registro de armazenamento da imagem”. Cada coeficiente pode ter um valor inteiro entre  $-2^{31}$  e  $+2^{31}-1$ .

Para a orientação normalmente utilizada na imagem os valores de *CFAC*, devem ser positivos. Com o objetivo de transmitir as informações em tempo quase-real, os valores de *LFAC* podem ser negativos para uma imagem escaneada do sul ao norte (EUMETSAT, 1999).

### 2.3.2 Projeção geoestacionária (GEOS)

O nome seqüencial da projeção deve ser especificado como GEOS (*sub\_lon*), onde o parâmetro *sub\_lon* determina a longitude do satélite em graus, como um número inteiro ou real. A projeção geoestacionária normalizada descreve a visualização do globo terrestre a partir de um satélite virtual idealizado. Neste caso, um satélite virtual é um satélite que está em órbita geoestacionária, exatamente localizado no plano do equador e na longitude indicada pelo parâmetro *sub\_lon*. A distância entre o veículo espacial e o centro da terra é exatamente 42164 km. O globo terrestre idealizado é uma elipsóide perfeita com o raio equatorial de 6378.1690 km e raio polar de 6356.5838 km (EUMETSAT, 1999).

Dois pontos em um sistema de coordenadas cartesianos são considerados sendo eles, o ponto formado por  $(e_1, e_2, e_3)$  que tem origem no centro da Terra,  $(e_3)$  e aponta para a direção norte, e  $(e_1)$  aponta para o meridiano de Greenwich. E o ponto formado por  $(s_1, s_2, s_3)$  que tem origem na posição em que o

satélite virtual se encontra, sendo que  $(s_3)$  aponta para a direção norte e  $(s_1)$  aponta para o centro da terra. A terra é modelada através da rotação de um elipsóide achatado nos pólos através do seu próprio eixo (EUMETSAT, 1999).

A Figura 12 representa esta situação e identifica as dimensões e os ângulos em análise.

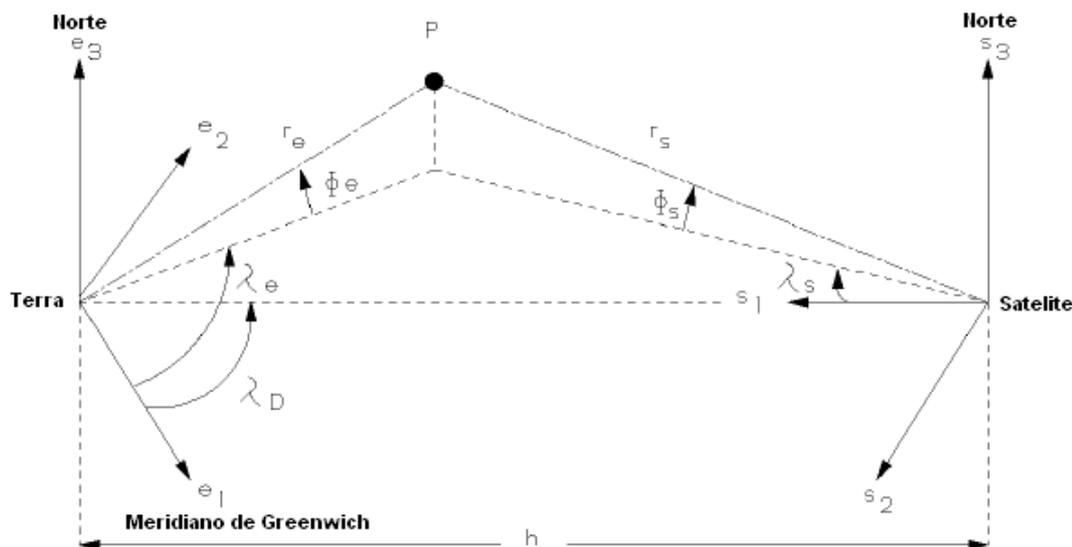


Figura 12. Ângulos e dimensões para a projeção GEOS. Adaptado de: EUMETSAT (1999) p. 23.

O vetor  $r_e$  com origem no ponto P, localizado em superfície, aponta para o centro da terra.  $I_e$  é a longitude e  $\phi_e$  é a latitude do ponto P. A transformação em coordenadas geográficas  $(lon, lat)$  é dada pelas seguintes equações:

$$\frac{e_3^2}{r_{pol}^2} + \frac{e_1^2 + e_2^2}{r_{eq}^2} = 1$$

$$r_{pol} = 6356.5838 \text{ km}$$

$$r_{eq} = 6378.1690 \text{ km}$$

$$\lambda_e = lon$$

$$\phi_e = \tan^{-1} \left[ \left( \frac{r_{pol}^2}{r_{eq}^2} \right) \tan(lat) \right]$$

(7)

O módulo do vetor  $r_e$  é expresso por:

$$r_e = \frac{r_{pol}}{\sqrt{1 - \frac{r_{eq}^2 - r_{pol}^2}{r_{eq}^2} \cos^2(\phi_e)}} \quad (8)$$

Os componentes cartesianos do vetor  $\vec{r}_s$  (observados no plano de coordenadas) são definidos pela seguinte expressão:

$$\vec{r}_s = \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h - r_e \cos(\phi_e) \cos(\lambda_e - \lambda_D) \\ -r_e \cos(\phi_e) \sin(\lambda_e - \lambda_D) \\ r_e \sin(\phi_e) \end{pmatrix}$$

$h = 42164 \text{ km}$   
 $\lambda_D = sub\_lon$

(9)

Das expressões acima, podemos obter equações para os ângulos de varredura:

$$\lambda_s = \tan^{-1}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

$$\phi_s = \sin^{-1}\left(\frac{r_3}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2}}\right) \quad (10)$$

A função de projeção direta é expressa a seguir:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tan^{-1}\left(\frac{-r_2}{r_1}\right) \\ \sin^{-1}\left(\frac{-r_3}{r_n}\right) \end{pmatrix} \quad (11)$$

As variáveis  $r_1, r_2, r_3, r_n$  e as variáveis auxiliares  $r_l$  e  $c\_lat$  são definidas a seguir:

$$\begin{aligned} r_1 &= 42164 - r_l \cos(c\_lat) \cos(lon - sub\_lon) \\ r_2 &= -r_l \cos(c\_lat) \sin(lon - sub\_lon) \\ r_3 &= r_l \sin(c\_lat) \\ r_n &= \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2} \\ r_l &= \frac{6356.5838}{\sqrt{1 - 0.00675701 \cos^2(c\_lat)}} \\ c\_lat &= \tan^{-1}(0.993243 \tan(lat)) \end{aligned} \quad (12)$$

A função de projeção inversa é definida a seguir:

$$\begin{pmatrix} lon \\ lat \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tan^{-1}\left(\frac{s_2}{s_1}\right) + sub\_lon \\ \tan^{-1}\left(1.006803 \frac{s_3}{s_{xy}}\right) \end{pmatrix} \quad (13)$$

As variáveis  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$ ,  $s_{xy}$  e as variáveis auxiliares  $s_n$  e  $s_d$  são definidas a seguir:

$$\begin{aligned} s_1 &= 42164 - s_n \cos(x) \cos(y) \\ s_2 &= s_n \sin(x) \cos(y) \\ s_3 &= -s_n \sin(y) \\ s_{xy} &= \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \\ s_n &= \frac{42164 \cos(x) \cos(y) - s_d}{\cos^2(y) + 1.006803 \sin^2(y)} \\ s_d &= \sqrt{(42164 \cos(x) \cos(y))^2 - (\cos^2(y) + 1.006803 \sin^2(y))1737121856} \quad (14) \end{aligned}$$

Não deixando de considerar que todas as funções trigonométricas possuem seus parâmetros  $x$  e  $y$  em graus.

A Figura 13 apresenta uma grade de coordenadas para projeção GEOS. O satélite virtual idealizado possui o parâmetro  $\langle sub\_lon \rangle$  igual a  $0^\circ$  e com este modelo podemos georeferenciar qualquer ponto do globo terrestre em relação a um *pixel* no arquivo de dados, utilizando as funções diretas e inversas definidas anteriormente. Este é um ponto crucial para geo-localização e projeção das imagens do MSG.



Figura 13. Grade de coordenadas para a projeção GEOS. FONTE: EUMETSAT (1999) p 25.

### 2.3.3 Projeção de MERCATOR

O nome seqüencial da projeção deve ser especificado como MERCATOR sem a necessidade de nenhum parâmetro adicional. Essa projeção é baseada sobre um modelo esférico da terra. (EUMETSAT, 1999).

A Figura 14 exhibe a grade de coordenadas para a projeção MERCATOR.

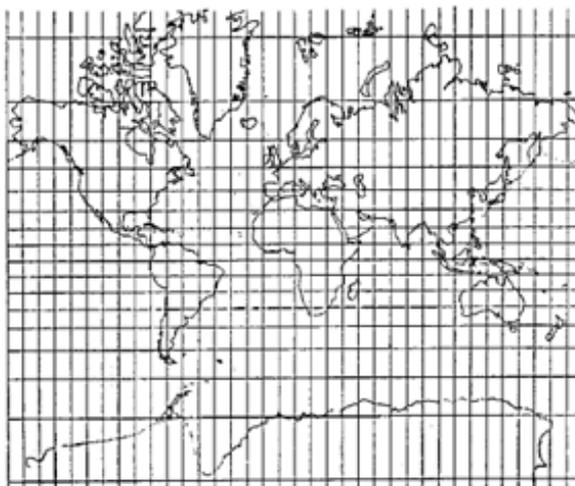


Figura 14. Grade de coordenadas para a projeção MERCATOR. FONTE: EUMETSAT (1999) p 27.

A função de projeção direta é apresentada a seguir:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{lon}{\pi} \\ \frac{1}{\pi} \ln \left[ \tan \left( \frac{\pi}{2} - lat \right) \right] \end{pmatrix} \quad (15)$$

Sua função inversa é:

$$\begin{pmatrix} lon \\ lat \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \pi x \\ \frac{\pi}{2} - 2 \tan^{-1}(e^{\pi y}) \end{pmatrix} \quad (16)$$

Esta projeção é baseada em um modelo esférico da terra. (EUMETSAT, 1999).

### 2.3.4 Calibração radiométrica

A calibração radiométrica do imageador SEVIRI refere-se à homogeneização das respostas de cada detector, levando em conta suas diferentes sensibilidades radiométricas com o objetivo de estabelecer uma relação confiável entre os números digitais da imagem obtida e os valores de radiância espectral.

Segundo Souza (2003) a radiação solar refletida por um alvo na superfície terrestre é registrada por um sensor orbital na forma de um valor digital e representada em uma imagem pictórica. Porém a relação entre este valor numérico e a reflectância deste objeto é influenciada por uma série de fatores, tais como o estado da atmosfera e as características ópticas e eletrônicas do sensor. A calibração é um meio de determinar e minimizar o efeito desses fatores, com vistas a remover as perturbações causadas por eles, mantendo assim a máxima fidelidade entre o número digital e as propriedades espectrais de um determinado alvo.

No caso do SEVIRI, o objetivo da calibração radiométrica é assegurar uma relação linear entre a radiância e o número digital. São utilizadas informações de calibração através de coeficientes da imagem recebida e como resultado é obtida uma relação confiável entre a radiância e número digital. Segundo SILVA et al., (2009) a calibração representará o primeiro passo para o conhecimento dos valores quantitativos de radiância efetivamente representados em unidade de número digital expresso em cada banda espectral das imagens do MSG.

### **Calibração radiométrica no SEVIRI**

Os canais do espectro visível e infravermelho do instrumento SEVIRI são calibrados através de um corpo negro a bordo do satélite (PILI, 2000). A relação entre o número digital e a radiância observada pelo sensor é pressupostamente linear segundo as relações:

$$\begin{aligned} Count &= gR(\lambda) + C_0 \text{ (Canais visível)} \\ Count &= gR(\lambda, T) + C_0 \text{ (Canais infravermelho)} \end{aligned} \quad (17)$$

Em que, *Count* é o número digital obtido como resposta do sensor SEVIRI armazenado nas imagens do MSG,  $R(\lambda)$  e  $R(\lambda, T)$  representam a radiância medida pelo instrumento para os canais do visível e infravermelho, respectivamente.  $\lambda$  é o comprimento de onda, na prática é o intervalo espectral,  $T$  é a temperatura efetiva de corpo negro observada na cena,  $g$  é o ganho, o inverso é o coeficiente de calibração (Cal\_Slope) e  $C_0$  é o descolamento (Cal\_Offset). A hipótese de uma relação linear entre o número digital e a radiância é válida desde que pequenas não-linearidades entre os detectores sejam corrigidas usando-se coeficientes medidos antes do lançamento do sensor. Pequenas diferenças entre os valores medidos pelos três detectores, nove para o canal de alta resolução, são corrigidas através do procedimento de equalização denominadas normalização, semelhante ao procedimento aplicado nos satélites GOES. (MENZEL et al., 1994).

O instrumento SEVIRI usa o espaço sideral como uma fonte fria e um corpo negro interno como fonte quente no processo de calibração. Enquanto a visualização do espaço sideral é obtida através da observação direta, o corpo negro é movimentado pelo caminho ótico. Este design exige que correções sejam aplicadas a calibração de corpo negro, considerando as características da ótica frontal, cujas propriedades foram medidas antes do lançamento e cujas temperaturas são medidas continuamente. O corpo negro também pode ser aquecido para permitir a determinação do fator de correção. (PILI, 2000).

A conversão da radiância em temperatura de brilho equivalente, que é freqüentemente usada na análise quantitativa da imagem, é realizada através da relação fornecida pela equação de Plank. Para cada canal termal é estabelecida a seguinte equação entre a temperatura de brilho equivalente  $T_b$  e a radiância  $R$ :

$$T_b = \left( \frac{C_2 V_c}{\log(1 + C_1 V_c^3 / R)} - B \right) / A, \quad (18)$$

Em que,  $R$  é a radiância observada em  $\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ,  $T_b$  é a temperatura de brilho equivalente em Kelvin,  $V_c$  é o comprimento de onda central do canal em  $\text{cm}^{-1}$ ;  $C_1 = 2hc^2$  e  $C_2 = hc/k$  onde,  $h$  é a constante de Plank,  $c$  é a velocidade da luz e  $k$  é a constante de Stefan-Boltzmann. O comprimento de onda central  $V_c$  e os coeficientes de correção  $A$  e  $B$  são determinados por uma regressão não-linear de uma tabela pré-calculada usando a equação de Plank para os diferentes canais infravermelhos do SEVIRI. Esses valores são fornecidos pela documentação técnica disponível no site da EUMETSAT. (PILI, 2000).

Segundo, EUMETSAT, (2006) para calcular a reflectância a partir da radiância, a seguinte equação é utilizada:

$$\rho = \frac{\pi R d_{SA}^2}{I \cos(\theta)}, \quad (19)$$

em que,  $\rho$  é uma função de reflectância bidirecional (BRDF, em inglês) e  $d_{SA}$  é a distância Terra-Sol calculada em unidades astronômicas(UA). O seu valor é expresso por:

$$d_{SA} = 1 - 0.0167 \cos\left(\frac{2\pi(\text{diaJuliano} - 3)}{365}\right). \quad (20)$$

$I$  é a constante solar no topo da atmosfera, para cada canal, e  $\theta$  é o ângulo zenital do sol.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O objetivo geral deste trabalho foi aperfeiçoar uma estação de recepção através do sistema EUMETCast operacionalizando a decodificação, geo-localização e visualização das imagens e produtos do satélite MSG através do desenvolvimento de aplicações computacionais, em apoio aos órgãos operacionais de meteorologia e universidades para fins de pesquisa e ensino. Para isso, o primeiro passo foi entender o funcionamento da estação EUMETCast instalada na UFAL, de forma a compreender como os dados são adquiridos e como devem ser armazenados. Posteriormente, foram selecionados quais dados seriam processados de acordo com os objetivos propostos e foram definidos quais os softwares seriam utilizados para processá-los. A seguir, são apresentadas as etapas do processamento realizado para cada produto. Utilizaram-se fluxogramas e algoritmos comentados para descrever cada etapa do processamento.

Metodologicamente, esta pesquisa é classificada como operacional exploratória e descritiva. Segundo Oliveira, (1997) a pesquisa operacional é empregada na meteorologia principalmente para a solução de problemas que envolvem a utilização de modelos ou softwares matemáticos, seu desenvolvimento se deu principalmente pela evolução dos computadores. Sua abordagem envolve a utilização de modelos do mundo real como forma de analisar e compreender as situações e normalmente são utilizados algoritmos para a formulação e a solução sistemática dos problemas. A pesquisa é classificada como exploratória quando envolver levantamento bibliográfico ou levantamento de situações e experiências práticas com o problema pesquisado e ainda a análise de exemplos que estimulem a sua compreensão. Conforme Lakatos (1995) a pesquisa é descritiva quando aborda quatro aspectos: investigação, registro, análise e interpretação dos fenômenos objetivando o seu funcionamento no presente.

#### **3.1 Estação EUMETCast instalada na UFAL**

Para a realização deste estudo foram utilizados os dados recebidos na estação de recepção EUMETCast instalada no LAPIS, situado na UFAL, município de Maceió-AL, localizada nas coordenadas (9°33,3'S ; 35°46,6'O). Uma antena

parabólica de fibra de vidro, do fabricante BAKOF SAT, com 2,6m de diâmetro, apontada para o satélite NSS-806, está conectada a um receptor (placa DVB), modelo TechniSat SkyStar 2, ligado ao computador que é destinado a recepção das imagens. A Figura 15 apresenta um diagrama da estação.

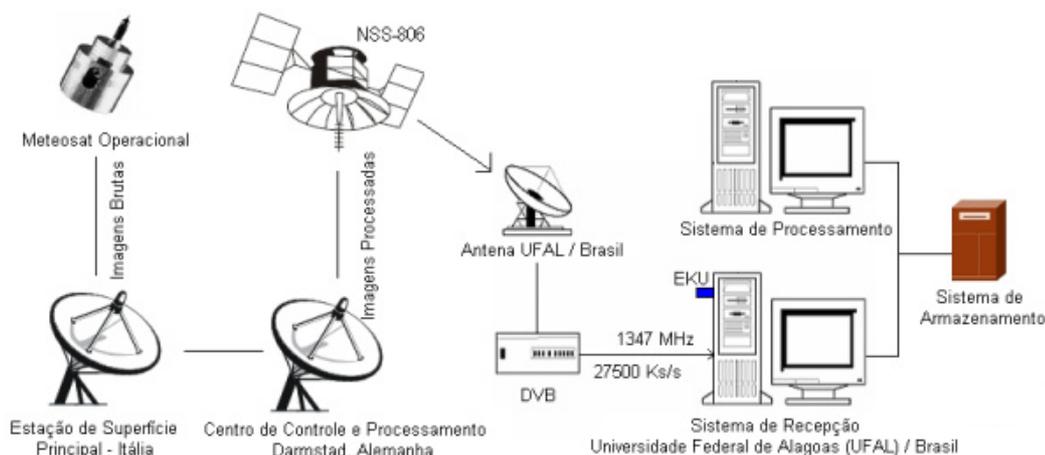


Figura 15. Estação de recepção instalada na UFAL. Adaptado de: NÓBREGA et al., (2009).

Os dados são recebidos pelo satélite Meteorológico operacional (Meteosat-8 ou Meteosat-9), em nível 1.0 e em seguida são transmitidos para a estação principal da EUMETSAT, na Itália. Após o processamento pelo centro de controle, e transformação em nível 1.5, os dados são transmitidos ao NSS-806 e logo após são recebidos na estação. A configuração da estação envolveu a utilização de dois computadores, um destinado ao sistema de recepção e armazenamento e outro ao sistema de processamento dos dados, que permanecem em funcionamento 24 horas por dia.

Os dados fornecidos pelo sistema EUMETCast possuem acesso controlado e para recebê-los é necessário a utilização de um EKU (EUMETCast Key Unit), que é um dispositivo padrão USB usado em conjunto com o software de recepção, denominado Tellicast Client. Esse conjunto permite a recepção de dados licenciados e sua distribuição é feita através do preenchimento do formulário de acesso aos dados que se encontra no portal "Earth Observation Portal" mantido pela EUMETSAT, através do endereço: <https://eoportal.eumetsat.int/userMgmt/>. Nele o usuário pode gerenciar as contas de acesso aos produtos e dados distribuídos através do sistema EUMETCast. São fornecidos ainda tutoriais sobre a utilização do portal e a política de acesso aos dados distribuídos, através do endereço [http://www.eumetsat.int/Home/Main/Access\\_to\\_Data/](http://www.eumetsat.int/Home/Main/Access_to_Data/).

Informações detalhadas sobre a configuração da estação de recepção instalada na UFAL encontram-se no Apêndice I. Ressalta-se ainda que o modelo de estação empregado é recomendado pela EUMETSAT, através da documentação técnica encontrada em EUMETCAST (2006).

Com a estação de recepção em funcionamento a próxima etapa foi escolher quais os dados que seriam processados de acordo com os objetivos deste trabalho.

### 3.2 Aquisição e seleção dos dados

Através da utilização do sistema EUMETCast é possível receber todos os dados que foram mencionados na seção 2.1, entretanto, neste trabalho são utilizados somente os dados brutos do Meteosat e os dados de produtos disponibilizados através do projetos Land Surface Analysis (LSA)<sup>10</sup> e Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility (O&SI SAF). Os dados brutos encontram-se divididos na forma de segmentos, ilustrados na Figura 16, sendo oito segmentos para os canais (1 ao 11) e vinte e quatro segmentos para o canal de alta resolução (canal 12), organizados em três seções.

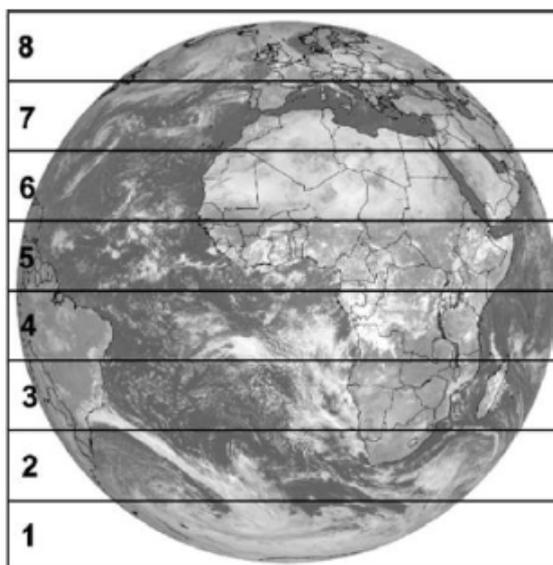


Figura 16. Segmentos de uma imagem obtida pelo MSG. FONTE: CERMAK et al., (2008). p. 2.

A Figura 17 ilustra as sessões da imagem que são: A) Cabeçalho da imagem (prólogo); B) Linhas da imagem (dados); C) Trailer da imagem (epílogo).

<sup>10</sup> Maiores informações sobre o projeto LSA SAF podem ser obtidas através do endereço: <http://landsaf.meteo.pt/> . Acessado em 05 fev, 2010, 10:00.

O arquivo de cabeçalho (prólogo) (A) determina o início de um ciclo de varredura. Nele encontra-se a descrição completa das características da imagem e os coeficientes de calibração que são necessários para a conversão do número digital em radiância espectral. As linhas da imagem (B) são constituídas por segmentos compactados no formato “Wavelet Lossless Compression” com resolução de 3712x464 *pixels*, por segmento. As linhas são adquiridas pelo instrumento SEVIRI e codificadas em níveis de cinza em uma escala radiométrica de 10 bits. O arquivo de epílogo (C) determina o fim do ciclo de varredura e contém parâmetros obtidos durante a aquisição da imagem como, qualidade da imagem obtida, tempo decorrido em varredura, situação operacional do satélite, entre outros.

```

root@lapis-processamento: /dados/DataChannel-2
File Edit View Terminal Tabs Help
root@lapis-processamento... x root@lapis-processamento... x root@lapis-processamento... x
root@lapis-processamento:/dados/DataChannel-2# ls H*EPI*200810231615*
H-000-MSG2 -MSG2 - -PRO -200810231615- (A)
root@lapis-processamento:/dados/DataChannel-2# ls H*IR 016*200810231615*
H-000-MSG2 -MSG2 -IR 016 -000001 -200810231615-C
H-000-MSG2 -MSG2 -IR 016 -000002 -200810231615-C
H-000-MSG2 -MSG2 -IR 016 -000003 -200810231615-C
H-000-MSG2 -MSG2 -IR 016 -000004 -200810231615-C
H-000-MSG2 -MSG2 -IR 016 -000005 -200810231615-C
H-000-MSG2 -MSG2 -IR 016 -000006 -200810231615-C
H-000-MSG2 -MSG2 -IR 016 -000007 -200810231615-C
H-000-MSG2 -MSG2 -IR 016 -000008 -200810231615-C (B)
root@lapis-processamento:/dados/DataChannel-2#
root@lapis-processamento:/dados/DataChannel-2# ls H*PRO*200810231615*
H-000-MSG2 -MSG2 - -EPI -200810231615- (C)

```

Figura 17. Imagem obtida em 23/10/2008. Destacando-se as seções, A) prólogo, B) dados e C) epílogo. FONTE: SILVA et al, (2009). p. 3.

Para as imagens do MSG foram utilizados os dados de todos os canais, que foram destinados ao processamento de forma operacional com o objetivo de visualizar a imagem obtida em cada banda espectral e elaborar os produtos para monitoramento meteorológico.

O SAF sobre análises da superfície terrestre LSA (Land Surface Analysis) é parte da rede de SAF's, que é um conjunto de centros especializados no desenvolvimento e processamento de produtos que serve a EUMETSAT. O objetivo principal do LSA SAF é aproveitar dados de sensoriamento remoto, em particular os distribuídos pela EUMETSAT, para quantificar variáveis de superfície, nas quais encontramos aplicações na meteorologia. (PUM, 2008).

Os produtos desenvolvidos pelo projeto LSA SAF são difundidos através do sistema EUMETCast, para diferentes áreas observadas pelo satélite MSG, e de forma a facilitar o processamento dos arquivos elas foram divididas em regiões, dessa forma, as áreas são: América do Sul, Europa, Norte da África e Ásia Menor e Sul da África. (BUGALHO et al, 2008). Os arquivos considerados no trabalho correspondem a um corte retangular envolvendo a área da América do Sul, denominado *SAmé*. O canto superior esquerdo do corte está localizado entre 7°N e 71°S e o canto inferior direito está localizado em 43°S e 34°O. A imagem resultante possui 1511x701 *pixels*. A Figura 18 exhibe o corte definido para a área da América do Sul.

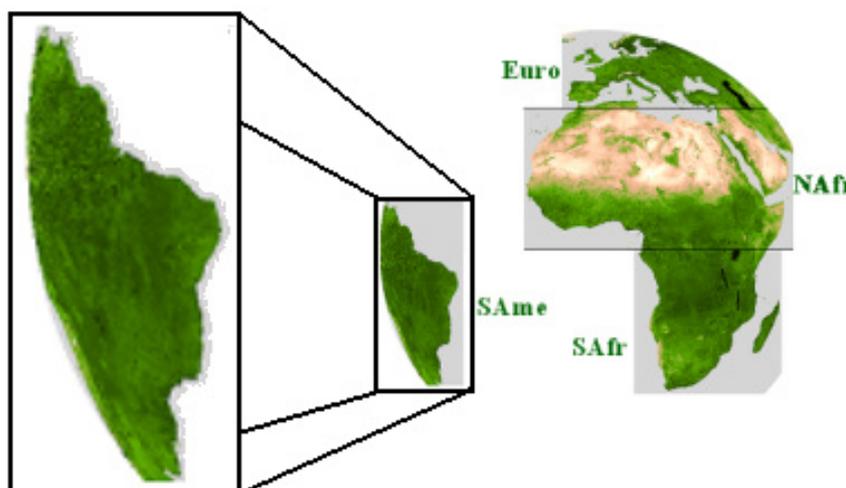


Figura 18. Corte definido para a área da América do Sul, denominado *SAmé*. Adaptado de: PUM, (2008), p. 9.

Estas imagens encontram-se codificadas no formato HDF, que foi desenvolvido para o armazenamento e organização de dados científicos, de acordo com o HDF Group<sup>11</sup>, como por exemplo, matrizes de dados multidimensionais.

A Tabela 3 apresenta os produtos operacionais, considerados neste trabalho, que são disponibilizados pelo projeto LSA SAF.

Tabela 3. Produtos disponibilizados pelo LSA SAF, considerados no trabalho, e sua frequência de disponibilização. Adaptado de: PUM, (2008). p. 8.

<b>Produto</b>	<b>Frequência de disponibilização</b>
FVC (Fração da Cobertura Vegetal).	Diariamente e em intervalos de 10 dias.
ALBEDO (Albedo da Superfície).	Diariamente e em intervalos de 10 dias.
LST (Temperatura da Superfície Terrestre).	Em intervalos de 15 minutos.*

\*Somente pela manhã.

<sup>11</sup> Grupo responsável pelo desenvolvimento do formato HDF. Fonte: [http://www.hdfgroup.org/why\\_hdf/](http://www.hdfgroup.org/why_hdf/) Acesso em: 07 fev, 2010, 16:20

O índice de vegetação FVC, caracteriza a fração de vegetação de uma área representando a sua quantidade e/ou degradação, fornecendo informações sobre a estrutura dos dosséis de áreas cobertas. Por exemplo, considerando dosséis bem desenvolvidos, o índice quantifica a vegetação que absorve ou espalha o sinal e determina as características da imagem. (PUM, 2008).

O albedo da superfície terrestre quantifica a fração da energia que é emitida pelo Sol e refletida pela Terra. Determinando por exemplo, quanta energia absorvida pela terra foi transformada em calor latente e, portanto, é uma variável importante para a caracterização do balanço de energia no sistema Terra-Atmosfera. (PUM, 2006).

O produto LST definido como a temperatura da superfície terrestre e desempenha um papel importante nos processos físicos, em que há troca de energia e água no sistema Terra-Atmosfera. (PUM, 2006b).

Informações específicas como as definições físicas, equações e algoritmos que são utilizados para a determinação dos produtos de monitoramento ambiental podem ser encontradas na documentação técnica disponível nos manuais de cada produto - Pum (2008); Pum (2006) e Pum (2006b).

O O&SI SAF (Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility) tem o objetivo de fornecer respostas sobre a interação Oceano-Atmosfera através da observação efetuada por satélites geoestacionários e de órbita polar, que monitoram entre outras variáveis, a temperatura da superfície do oceano Atlântico (TSM) e os fluxos de energia. São definidos dois cortes setoriais para as áreas observadas, sendo, um para cada região do globo, e são denominados LML (Low and Mid Latitudes) cobrindo regiões de baixas e médias latitudes, com frequência a cada 3 horas e MAP (Merged Atlantic Products) cobrindo o oceano Atlântico e frequência a cada 12 horas. (O&SI SAF, 2006).

Esses produtos foram disponibilizados através do sistema EUMETCast para a América do Sul a partir de fevereiro de 2010. (Operation News, 2010). Sendo que, o corte LML cobre o Oceano Atlântico entre os limites de 60°N a 60°S de latitude e 100°W a 45°E de longitude, enquanto MAP está entre os limites de 89.9°N a 60°S de latitude e 100°W a 45°E de longitude, ambos com resolução espacial de 0.1°, o que equivale a aproximadamente 10 km e são codificados no formato GRIB (GRIBdd Binary), (O&SI SAF, 2006).

Após a obtenção dos dados, eles foram armazenados em uma estrutura hierárquica de diretórios com objetivo de garantir sua organização e armazenamento observando-se a utilização do modelo de estação de recepção que foi descrito.

### 3.3 Organização e armazenamento dos dados

Diariamente são recebidos em média dez gigabytes<sup>12</sup> de arquivos que inicialmente eram armazenados em um único diretório, porém, quando se considerou a quantidade de arquivos acumulados ao longo de um mês, por exemplo, percebeu-se a necessidade de organizar as imagens de maneira estruturada, de forma a viabilizar o processamento das mesmas.

Sendo assim, no computador destinado a recepção, três diretórios distintos foram criados. Os diretórios DataChannel-2, SAF-Americas e SAF-Global que correspondem aos dados brutos do MSG e aos dados do projeto LSA SAF e O&SI SAF, respectivamente.

No computador destinado ao processamento, foi definida uma estrutura hierárquica de diretórios, ilustrada pela Figura 19, em que foram separados os dados brutos em subdiretórios referentes aos canais. No primeiro nível foram criados três diretórios, o primeiro (Earth) armazenou os dados de imagem na projeção GEOS, o segundo (Other Data) armazenou os produtos de monitoramento ambiental e oceanográfico e o terceiro (South America) armazenou os dados processados para a América do Sul. No segundo nível, para cada canal do SEVIRI um diretório particular foi criado, sendo que o nome do diretório corresponde ao nome do canal.

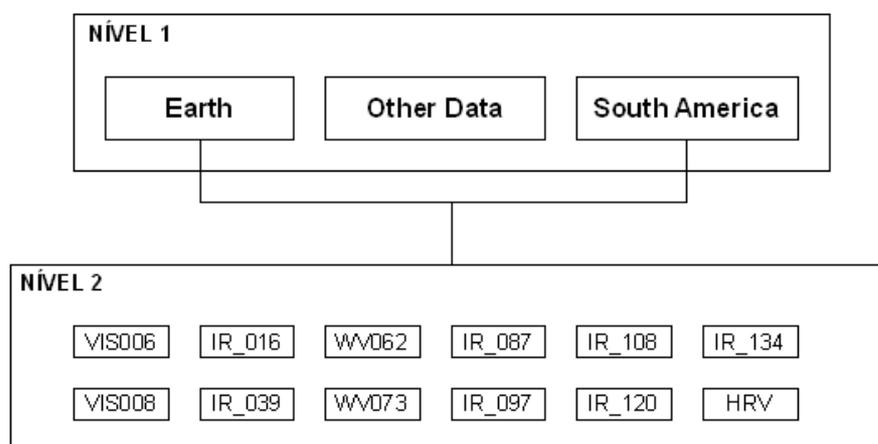


Figura 19. Estrutura hierárquica dos diretórios no sistema de processamento.

<sup>12</sup> Gigabyte é uma unidade de medida de informação. Um gigabyte equivale a um milhão de bytes.

A utilização desta estrutura de diretórios permitiu separar os dados, de forma a facilitar a elaboração do sistema de animação de imagens e do banco de imagens, ver seção 3.9, considerando que cada canal foi armazenado de forma particular. A interligação entre o computador de recepção e armazenamento foi feita utilizando-se a rede local, sendo que, assim que a imagem foi obtida, ela foi imediatamente disponibilizada para o processamento.

Uma vez que os dados foram armazenados na estrutura apresentada, a próxima etapa foi realizar os processamentos necessários para elaboração dos produtos na forma de imagens, para tal, fez-se a escolha e utilização dos softwares apresentados a seguir.

### **3.4 Softwares e linguagens de programação utilizadas**

Investigou-se a possibilidade de se aplicar algum software documentado na literatura, de forma a encontrar caminhos para alcançar os objetivos propostos. Estudos feitos por Govaerts et al., (2007) e Wildt et al., (2006) demonstram o uso do SEVIRI Pre-processing Toolbox (SPT), porém, no primeiro trabalho, o autor enfatiza que este software não teria a capacidade de automatizar o processamento dos dados para uso em centros operacionais. No trabalho de Cermak et al., (2008) foi desenvolvido um software denominado Fmet (an integrated Framework for Meteosat data processing for operational scientific applications ). O código fonte desse software não foi encontrado, e o projeto é dado como descontinuado. O trabalho de Kerk (2008) propõe o uso do software Xrit2pic, ele é desenvolvido e distribuído de forma gratuita, mas, a partir de sua avaliação detalhada, percebeu-se que ele não realizou a calibração radiométrica das imagens obtidas nos canais do espectro visível e a escala de cores utilizada para representar os valores temperatura de brilho apresentou saturação, além disso, não foi possível realizar análise temporal dos parâmetros físicos representados pelos *pixels* da imagem.

Portanto, para transformar os dados brutos em parâmetros físicos e biofísicos foi escolhido um conjunto de ferramentas baseadas em software livre com código aberto, levando em consideração a escolha de softwares bem documentados e que possivelmente fossem adotados pelos centros operacionais que utilizam os dados do sistema EUMETCast atualmente no Brasil, e necessitam de processá-los, ver seção 2.1.1.

O sistema operacional utilizado foi o Linux, em uma distribuição chamada Ubuntu, devido a sua estabilidade, segurança e o fato da possibilidade de ser usado como servidor. Na instalação padrão do sistema operacional, está agregado o software Apache que é um servidor de páginas de internet e foi usado como software responsável por receber pedidos dos clientes, neste caso, através de navegadores de internet, e servi-los com respostas que geralmente são informações em documentos na forma de páginas de internet com imagens embutidas.

Com relação à edição das imagens, o ImageMagick foi escolhido pois é um software livre para edição não interativa de imagens. Nele foi possível realizar o redimensionamento, combinação e conversão entre formatos de imagens, entre outros. Os processamentos foram realizados através de comandos, que podem ser agrupados dentro de arquivos denominados *shell scripts*, que são arquivos de texto e contém instruções para serem executados pelo sistema operacional, freqüentemente utilizados para automatização de tarefas rotineiras. Dessa forma, uma vez que os comandos foram programados, sua execução pode ser automatizada, não havendo mais a necessidade de interação constante com o utilizador. Para a construção dos gráficos foi utilizado o GNUPlot que é um software gratuito para a construção de gráficos em duas ou três dimensões e possui a característica de funcionar através de comandos que podem ser organizados em *shell scripts*. Também é possível construir gráficos com dados que estão armazenados em arquivos de texto, desde que estejam estruturados de maneira padronizada. Com o objetivo de elaborar o sistema de visualização, animação e análise das imagens do satélite, foram escolhidas as linguagens PHP e JavaScript. Elas foram usadas para a construção do sistema de visualização e animação das imagens, seção 3.9, que permitiu acesso de usuários geograficamente distante ao sistema desenvolvido sem a necessidade de instalá-lo.

Para o processamento dos dados brutos do MSG e dados do projeto LSA SAF foi escolhida a linguagem de programação do software Octave que é um sistema interativo entre o programador-computador, em que a unidade básica de informação são as matrizes. Os problemas expressos pelo usuário podem ser resolvidos como são escritos matematicamente, através de comandos ou estruturado na forma de algoritmos. Um algoritmo em Octave pode ser entendido como a concatenação da solução de pequenos problemas através de comandos que

podem ser agrupados e armazenados em um arquivo (*script*) e posteriormente solicitados quantas vezes forem necessárias. O fato dos algoritmos terem sido escrito totalmente em linguagens interpretadas, ou seja, não foram compilados em nenhum sistema específico, permite a qualquer programador introduzir novas funções ou modificações das funções existentes, de forma simplificada, além da possibilidade de ser executado em qualquer sistema operacional. Ressalta-se que, durante a execução do trabalho, outras linguagens foram testadas como, a linguagem Java e C, porém devido à facilidade no que se diz respeito ao aprendizado, o Octave foi escolhido, pois apresentou pouca complexidade com relação ao uso e percebeu-se que ele pode ser amplamente adotado pelos pesquisadores da área da meteorologia, devido sua semelhança com o Matlab<sup>®</sup>. Através da utilização destas ferramentas, os dados brutos foram processados, assim como etapas como decodificação, calibração radiométrica, projeção e a geolocalização das imagens do satélite são descritas detalhadamente nos próximos tópicos.

### **3.5 Processamento dos produtos para o monitoramento meteorológico**

#### **3.5.1 Processamento dos dados brutos**

O processamento dos dados brutos teve o objetivo de decodificar as imagens que foram recebidas pela estação de recepção e transformá-las em parâmetros físicos, especificamente, informações de radiância para todos os canais do satélite, temperatura de brilho, para os canais do espectro infravermelho e reflectância para os canais do espectro solar, através do processo de calibração radiométrica e posteriormente expressar o resultado como um produto de monitoramento meteorológico na forma de imagens digitais e em arquivo de dados no formato HDF. Para tal, foram elaborados algoritmos através de funções que foram armazenadas em arquivos denominados scripts do software Octave, na essência, estes scripts são uma coleção de comandos armazenados em um arquivo de texto com a extensão *.m*, também conhecido como *m-files*, em inglês. Cada função recebeu um nome, que é o mesmo nome do arquivo de texto, parâmetros de entrada e parâmetros de saída. O modelo de funcionamento conceitual de um script Octave é ilustrado na Figura 20.

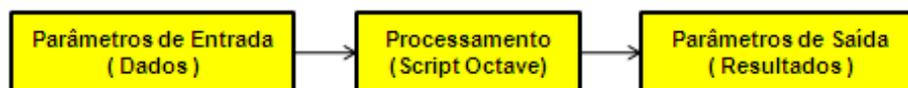


Figura 20. Funcionamento de um script no Octave.

Os parâmetros de entradas são variáveis na forma de texto, números inteiros, números reais, datas ou imagens que são armazenadas em matrizes. Elas são processadas através dos comandos que o programador definiu no script de processamento. Opcionalmente, podem-se retornar ao programador parâmetros de saída, como resultado do processamento efetuado, que são expressos pelo Octave de forma semelhante aos parâmetros de entrada.

As etapas e os scripts desenvolvidos para processar os dados brutos são apresentados no fluxograma contido na Figura 21.

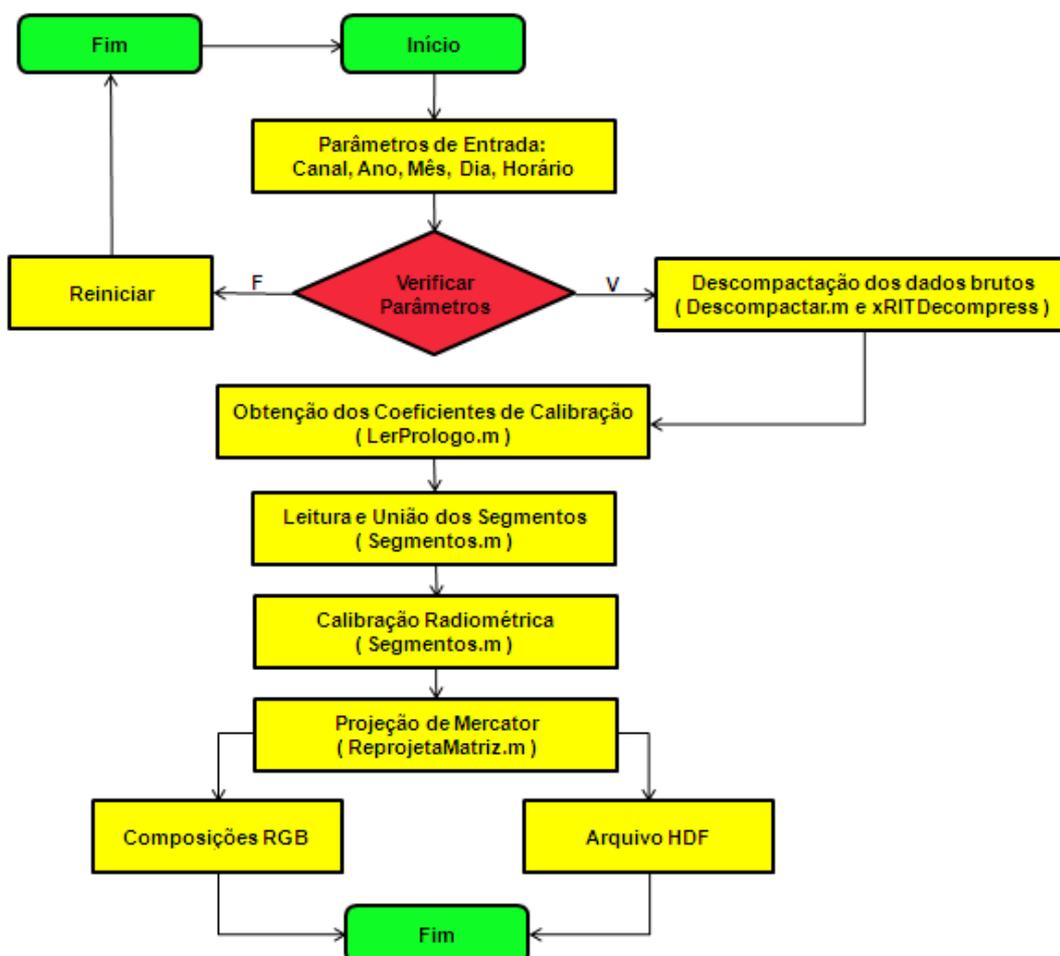


Figura 21. Fluxograma das etapas do processamento dos dados brutos.

A primeira etapa envolveu a definição e padronização das variáveis, canal, ano, mês, dia e horário para selecionar a imagem que será processada, e em vista disso, elas foram utilizadas como parâmetros de entrada em todos os scripts de processamento, apresentados na figura anterior, através do nome da função seguido

da extensão .m entre parênteses. Essas variáveis alimentam os scripts em formato de texto, sendo que o nome do canal corresponde a um dos doze canais do SEVIRI, e as outras variáveis são concatenadas segundo a nomenclatura AAAAMMDDHHMn, onde, AAAA corresponde ao ano em que a imagem foi obtida, expresso com quatro dígitos, MM corresponde ao mês e DD corresponde ao dia, ambos expressos com dois dígitos cada, HHMn corresponde a hora e o minuto, respectivamente. Por exemplo, uma imagem identificada com as variáveis “200906020000”, significa que ela foi obtida no ano de 2009, no dia 02 do mês de junho, as 00 hora e 00 minuto UTC. Foi realizada a verificação desses parâmetros de forma a constatar se existiam os arquivos de dados brutos para a imagem selecionada, em caso positivo o processamento segue o fluxo padrão, caso contrário ele é reinicializado após 15 minutos – intervalo de recepção das imagens do MSG, resolução temporal.

A próxima etapa do processamento envolveu a descompactação dos dados brutos através de um programa disponibilizado pela EUMETSAT e do script desenvolvido para automatizar essa tarefa.

### **3.5.2 Descompactação dos dados brutos**

Para descompactar os arquivos referentes aos dados brutos, foi utilizado o programa chamado Wavelet Transform Software, fornecido pela EUMETSAT e disponível para usuários licenciados no sistema EUMETCast, através do preenchimento do formulário on-line que encontra-se em seu site, acessando-se o endereço: <[www.eumetsat.int/Home/Main/Access\\_to\\_Data/User\\_Support](http://www.eumetsat.int/Home/Main/Access_to_Data/User_Support)>.

O processo de descompactação foi necessário para que fosse possível realizar a leitura dos dados brutos através da linguagem de programação do software Octave utilizando as funções padrão para leitura e escrita em arquivos.

O aplicativo principal xRITDecompress foi o responsável em descompactar os dados brutos ele foi fornecido em versões para Linux e Windows, nesse trabalho utilizou-se a versão compilada para Linux. O seu funcionamento é apresentado na Figura 22.

```

root@lapis-processamento: /home/binarios
root@lapis-processamento:/home/binarios# ls H*WV_073 *
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000001__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000002__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000003__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000004__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000005__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000006__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000007__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000008__-200710241730-C_
root@lapis-processamento:/home/binarios# ./xRITDecompress H-000-MSG2__-MSG2__
-WV_073__-000001__-200710241730-C_
Decompressed file: H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000001__-200710241730-
root@lapis-processamento:/home/binarios# ls H*WV_073 *
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000001__-200710241730-
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000001__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000002__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000003__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000004__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000005__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000006__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000007__-200710241730-C_
H-000-MSG2__-MSG2__-WV_073__-000008__-200710241730-C_
root@lapis-processamento:/home/binarios#

```

Figura 22. Descompactação de uma imagem do canal de vapor d'água, destacando-se em (A) software xRITDecompress e (B) resultado do processamento.

O software foi utilizado através da linha de comando e forneceu-se como parâmetro de entrada o nome do arquivo que representa o dado bruto, como pode ser visto em (A). Quando o arquivo foi descompactado exibe-se a frase “Decompressed file:” seguido do nome do arquivo descompactado que é o resultado do processamento, destacado em (B). Uma maneira de diferenciar o dado bruto do arquivo descompactado é observar o final do seu nome, o sufixo “-C\_”, que indica que o arquivo ainda não foi descompactado, enquanto o sufixo “-\_\_” é usado para identificar os arquivos que foram descompactados. Para automatizar o funcionamento desse programa, visto que é necessário que ele seja utilizado para descompactar cada segmento da imagem, foi estruturado o script *Descompactar.m*, que recebeu como parâmetro de entrada as variáveis de canal, e data que caracterizam a imagem e um número inteiro no intervalo de 1 a 8, correspondente ao segmento da imagem. Sendo assim ele aplicou o aplicativo xRITDecompress a cada um segmentos que foi especificado dentro do intervalo. Isso possibilitou que regiões específicas da imagem fossem consideradas, por exemplo, para processar o hemisfério sul da terra o intervalo de 1 a 4 pode ser escolhido. A escolha de um intervalo apropriado para processar uma determinada região diminuiu o tempo de processamento, portanto deve-se levar em consideração que o tempo de resposta de todo o processamento é predefinido e deve ser inferior a 15 minutos, pois em

caráter operacional, esse é o tempo em que a próxima imagem é adquirida e então, deve ser processada.

Após a descompactação, o dado bruto foi transformado pelo software xRITDecompress em um arquivo binário, esse tipo de arquivo pode conter qualquer tipo de dado codificado em uma seqüência de bytes que podem ser lidos através das funções para leitura de arquivos disponíveis no Octave. A próxima etapa foi realizar a leitura das variáveis necessárias para efetuar a calibração radiométrica, denominadas coeficientes de calibração que foram mencionados na seção 2.3.4.

### 3.5.3 Obtenção dos coeficientes de calibração

A leitura das variáveis Cal\_slope e Cal\_offset foram necessárias para realizar a conversão do número digital em radiância espectral para cada um dos canais do SEVIRI, para isso foi desenvolvido o script chamado LerPrologo.m que faz uso das funções *fopen*, *fseek*, *fread* e *fclose* disponíveis no Octave. A função *fopen* foi utilizada para obter as informações de um arquivo e para abrir o arquivo de cabeçalho (prólogo). Esta função recebeu como parâmetro de entrada o nome do arquivo e como parâmetro de saída forneceu um identificador do arquivo que foi usado para controlar o acesso a posições específicas de leitura ou gravação através da função *fseek*. A documentação da estrutura do arquivo de cabeçalho, disponível em EUMETSAT (2007), define as posições de leitura contidas no arquivo de cabeçalho e através dessa informação, foi possível realizar o posicionamento através da função *fseek* e a leitura das variáveis através da função *fread*. Os coeficientes de calibração estão posicionados exatamente nos 24 bytes após os primeiros 387155 bytes do arquivo de cabeçalho e devem ser armazenados na forma de número real. Após concluir o processo de leitura, a função *fclose* foi usada para fechar o arquivo. A Figura 23 exhibe o funcionamento do script LerPrologo.m.

```

root@lapis-saf-desktop: /home/MSGPROC/AlgoritimoLAPIS
Arquivo Editar Ver Terminal Abas Ajuda
root@lapis-saf-desktop: /home/MSGPROC/Al... x root@lapis-saf-desktop: /home/lapis-saf x
octave:1> [matrizCoeficientesCalibracao]=LerPrologo('200912151300')
Lendo: Cal_slope e Cal_offset, coeficientes de calibracao para imagens MSG2...
matrizCoeficientesCalibracao =

  1.00000000000000e+00  2.04191002994776e-02 -1.04137411527336e+00
  2.00000000000000e+00  2.61677000671625e-02 -1.33455270342529e+00
  3.00000000000000e+00  2.23222002387047e-02 -1.13843221217394e+00
  4.00000000000000e+00  3.65866686960072e-03 -1.86592010349637e-01
  5.00000000000000e+00  8.31811118985590e-03 -4.24223670682651e-01
  6.00000000000000e+00  3.86219681754982e-02 -1.96972037695041e+00
  7.00000000000000e+00  1.26744318685915e-01 -6.46396025298166e+00
  8.00000000000000e+00  1.03960910697578e-01 -5.30200644557646e+00
  9.00000000000000e+00  2.05035676207660e-01 -1.04568194865907e+01
  1.00000000000000e+01  2.22311146680895e-01 -1.13378684807256e+01
  1.10000000000000e+01  1.57606896877807e-01 -8.03795174076818e+00
  1.20000000000000e+01  2.99341008067131e-02 -1.52663914114237e+00

octave:2>

```

Figura 23. Script *LerPrologo.m* em funcionamento, são exibidos os valores dos coeficientes de calibração para uma imagem obtida em 15/12/2009.

Como parâmetro de entrada o script recebeu a data da imagem, e como parâmetro de saída retornou a variável *matrizCoeficientesCalibracao*, que armazenou em uma matriz de três colunas e doze linhas os coeficientes de calibração para cada canal do SEVIRI. Na primeira coluna foi exibido o número do canal e os coeficientes *Cal\_slope* e *Cal\_offset* são exibidos na segunda e terceira colunas, respectivamente. Esses valores estão relacionados com a imagem obtida em uma data e horário em particular. Eles são ajustados quando necessário através do procedimento de descontaminação, que é realizado pela EUMETSAT. Esse procedimento ocorre quando, eventualmente, há degradação do instrumento SEVIRI através da contaminação por gelo, que é removido aumentando-se a temperatura do caminho óptico e dos detectores, posteriormente, ocorre o ajuste dos coeficientes de calibração. (EUMETSAT, 2007).

Após ser realizada a leitura dos coeficientes de calibração, a próxima etapa envolveu a leitura e a união dos segmentos que constituem a imagem de satélite, de forma a armazená-los em uma única matriz em representação adequada.

### 3.5.4 Leitura e união dos segmentos

Foi efetuada a leitura dos segmentos através das funções *fopen*, *fseek*, *fread* e *fclose*, citadas anteriormente, usando-se o script *Segmentos.m*. Através da documentação da estrutura do arquivo de linhas da imagem, disponível em

EUMETSAT (2007). Foram obtidas as posições de leitura, em que, cada linha está posicionada exatamente após os primeiros 6198 bytes de cada segmento, sendo armazenadas em matrizes com as dimensões de 3712x464 *pixels*, que foram chamadas *matrizNumeroDigital10bits*. Determinou-se que a leitura seria realizada do ultimo ao primeiro segmento de forma que a matriz fosse orientada no sentido Norte-Sul, caso contrário, a orientação da mesma seria Sul-Norte.

A *matrizNumeroDigital10bits* contém os dados do número digital no formato binário em uma codificação de 10 bits por *pixel*, que corresponde à resolução radiométrica do instrumento SEVIRI, e equivale a um número inteiro no intervalo de 0 a 1023. Porém, os valores de radiância espectrais são expressos como número real, e por isso, foi necessária a conversão da representação da matriz de 10 bits para 16 bits, para permitir o armazenamento dos mesmos na representação adequada. A Figura 24 ilustra esta situação.

#### REPRESENTAÇÃO DAS VARIÁVEIS NÚMERO DIGITAL E RADIÂNCIA



Figura 24. Variáveis número digital e radiância.

Para isso, foram usadas as operações da lógica binária para o deslocamento de bits, através da função *bitshift* disponível no Octave. Essa função foi utilizada para o deslocamento de bits para a direita ou esquerda e recebeu como parâmetro de entrada o valor que a ser processado e uma variável  $k$  que indicou quantos bits seriam deslocados. Os valores negativos de  $k$  correspondem ao deslocamento de bits à direita enquanto os valores positivos correspondem ao deslocamento à esquerda. Foi desenvolvido um algoritmo para realizar a conversão da representação do número digital de 10 bits para 16 bits. O seu funcionamento pode ser dividido em quatro etapas de leitura e deslocamentos de bits, sendo que, em cada etapa o número digital é armazenado em duas variáveis de oito bytes cada, que foram chamadas  $b1$  e  $b2$ . E então após serem realizados os deslocamentos dos bits, o número digital foi armazenado nas variáveis  $i1$ ,  $i2$ ,  $i3$  e  $i4$  com 16 bits cada.

A Figura 25 ilustra o funcionamento de cada etapa do algoritmo.

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO ALGORITMO PARA CONVERSÃO  
DA REPRESENTAÇÃO DO NÚMERO DIGITAL DE 10 PARA 16 BITS

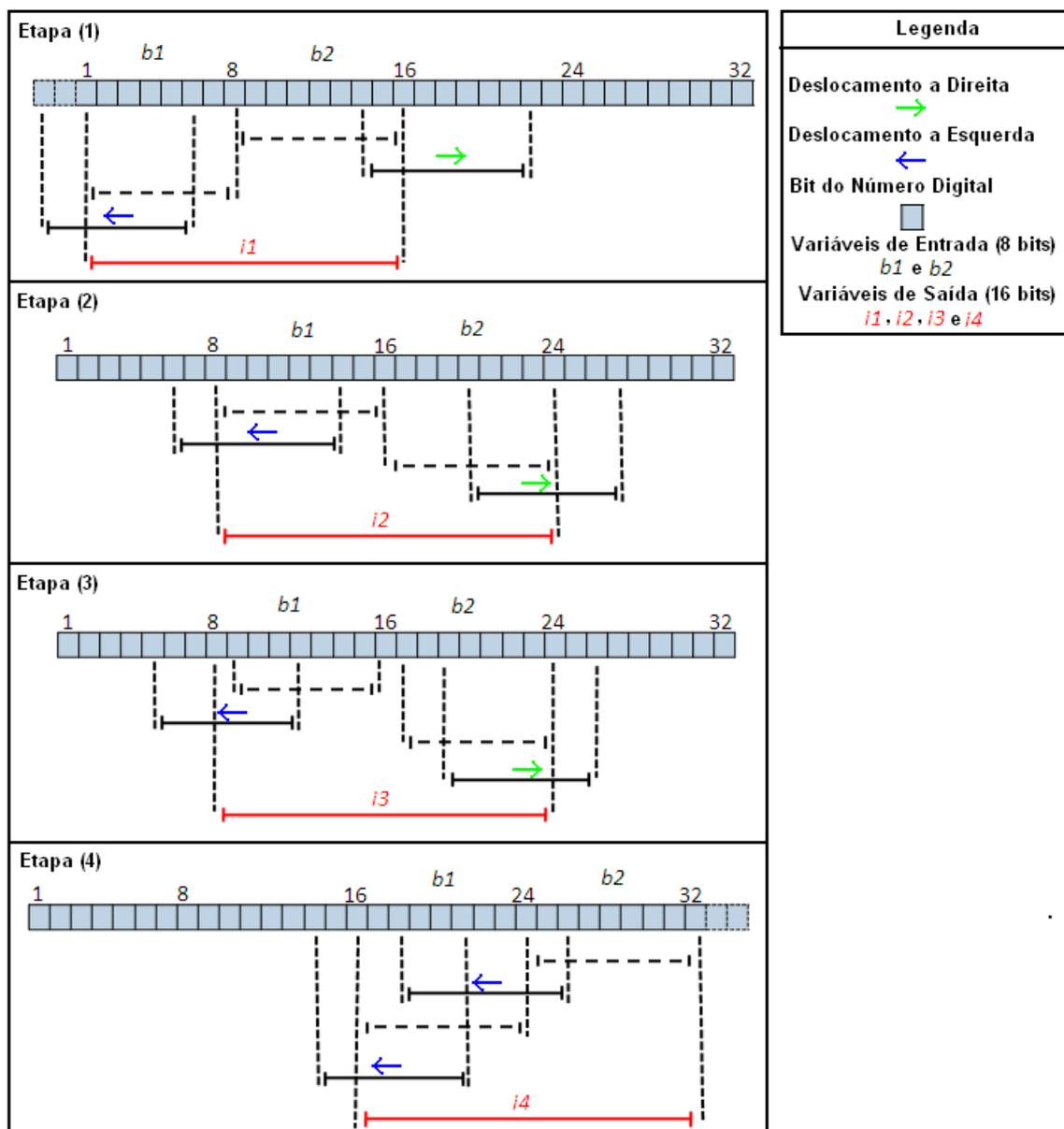


Figura 25. Algoritmo de conversão da representação 10 bits para 16 bits.

A cada etapa as variáveis  $b1$  e  $b2$  foram deslocadas da esquerda para direita, a fim de efetuar a conversão em blocos contíguos de dados com 32 bytes. Destacam-se com, a seta em verde, os deslocamentos realizados à direita, e em azul os deslocamentos à esquerda. Ao final de cada etapa os valores que foram armazenados nas variáveis  $i1, i2, i3$  e  $i4$ , correspondem às linhas de um segmento em particular. A Figura 26 exibe o algoritmo construído.

```

227 for i=463:-1:0
228
229 %posicionamento e leitura das linhas da imagem
230 fseek(dadoBruto,6198+4640*i,'bof');
231 matrizNumeroDigital10bits=fread(dadoBruto,4640);
232
233 %Algoritmo para conversão da representação do número digital
234 f=0:5:4639;
235 %etapa1
236 b1=bitshift(uint8(matrizNumeroDigital10bits(f(:)+1)),0);
237 b2=bitshift(uint8(matrizNumeroDigital10bits(f(:)+2)),-6);
238 i1=uint16(b1); i1=bitshift(i1,2); i1=i1+uint16(b2);
239 %etapa2
240 b1=bitshift(uint8(matrizNumeroDigital10bits(f(:)+2)),2);
241 b2=bitshift(uint8(matrizNumeroDigital10bits(f(:)+3)),-4);
242 i2=uint16(b1); i2=bitshift(i2,2); i2=i2+uint16(b2);
243 %etapa3
244 b1=bitshift(uint8(matrizNumeroDigital10bits(f(:)+3)),4);
245 b2=bitshift(uint8(matrizNumeroDigital10bits(f(:)+4)),-2);
246 i3=uint16(b1); i3=bitshift(i3,2); i3=i3+uint16(b2);
247 %etapa4
248 b1=bitshift(uint8(matrizNumeroDigital10bits(f(:)+4)),6);
249 b2=bitshift(uint8(matrizNumeroDigital10bits(f(:)+5)),0);
250 i4=uint16(b1); i4=bitshift(i4,2); i4=i4+uint16(b2);
251
252 %variáveis temporárias
253 nk1=3712:-4:1;nk2=3711:-4:1;nk3=3710:-4:1;nk4=3709:-4:1;
254
255 matrizNumeroDigital16bits(linha,nk1(:))=i1;
256 matrizNumeroDigital16bits(linha,nk2(:))=i2;
257 matrizNumeroDigital16bits(linha,nk3(:))=i3;
258 matrizNumeroDigital16bits(linha,nk4(:))=i4;
259
260 linha=linha+1;
261 end

```

Figura 26. Editor de scripts padrão do Linux (*gedit*), destacando-se o algoritmo para conversão da representação 10 bits para 16 bits, contido no script *Segmentos.m*.

Na figura é possível observar a utilização das funções e variáveis que foram mencionadas. Adicionalmente, foi utilizado a técnica de vetorização, através do uso do operador “(:)” disponível no Octave, para otimização do processamento dos segmentos. A variável temporária *f* foi usada para endereçar as colunas da matriz, enquanto *nk1*, *nk2*, *nk3* e *nk4* endereçam as linhas. As funções *uint8* e *uint16* são utilizadas para trabalhar com os valores das variáveis em 8 e 16 bytes respectivamente. Por fim, após a leitura de cada linha da imagem elas foram concatenadas dando origem a uma matriz denominada *matrizNumeroDigital16bits*, de forma que os segmentos processados fossem unidos em uma única matriz.

Agora, a variável *matrizNumeroDigital16bits* contém os valores do número digital na representação adequada e os coeficientes *Cal\_slope* e *Cal\_offset* foram

extraídos. A próxima etapa de processamento envolveu o cálculo da radiância espectral e de tabelas que foram usadas para a calibração radiométrica dos canais.

### 3.5.5 Calibração radiométrica

O primeiro passo consistiu em calcular os valores de radiância espectral através da equação (17), página 47, que recebeu como parâmetros de entrada os coeficientes de calibração armazenados na variável *matrizCoeficientesCalibracao*, e o número digital que foi armazenados na variável *matrizNumeroDigital16bits*. Em seguida foram calculadas duas tabelas de calibração radiométrica. Em que, uma delas foi utilizada na calibração dos canais do espectro visível e outra para os canais do espectro infravermelho.

A Figura 27 ilustra o fluxograma do algoritmo para o cálculo das tabelas, utilizadas para calibração radiométrica das imagens.

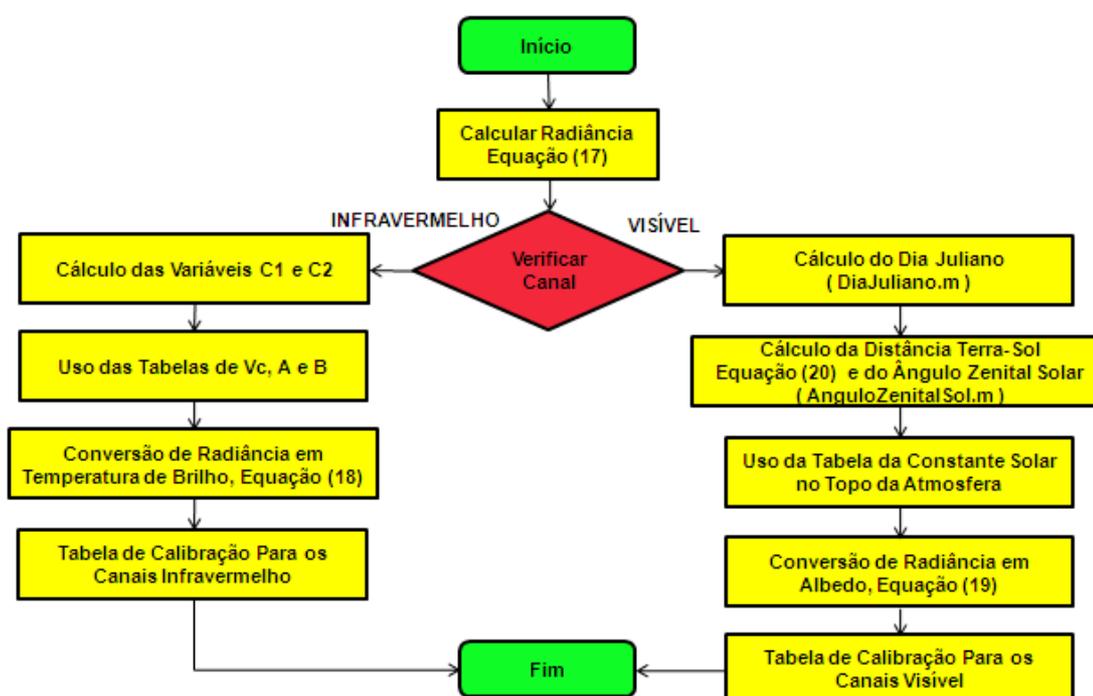


Figura 27. Fluxograma do algoritmo de calibração radiométrica.

Inicialmente, foi realizada uma verificação para identificar qual é o canal que seria processado, pois, para os canais do visível é quantificada a energia proveniente do Sol e refletida pelos alvos como a superfície terrestre e nuvens, por exemplo, nos comprimentos de onda no intervalo de 0.4  $\mu\text{m}$  a 0.7  $\mu\text{m}$ , enquanto para os canais do infravermelho a energia quantificada é a emitida diretamente pelos alvos em comprimentos de onda no intervalo de 0.7  $\mu\text{m}$  a 13  $\mu\text{m}$ . Portanto, a

utilização de tabelas distintas deve-se ao fato de que são aplicados conjuntos diferentes de equações para quantificar a energia em diferentes regiões do espectro, sendo que a equação (18), página 48, foi usada para os canais do espectro infravermelho e a equação (19), página 48, para os canais do espectro visível.

Considerando que o canal a ser calibrado é do espectro visível, foi calculada a distância Terra-Sol a partir da equação (20), página 48, e como ela considera a data da imagem, antes foi utilizado o script *DiaJuliano.m*<sup>13</sup>, que recebeu como parâmetro de entrada, o ano, mês, dia, hora e minuto, e após realizar o processamento retornou a variável *JD* que corresponde ao dia Juliano em formato decimal. A Figura 28 apresenta o trecho do código *Segmentos.m* em que foi calculado a distância Terra-Sol.



```

113 %determinar a distancia terra-sol
114 disp('Calculando: Distancia Terra-Sol...');
115
116 if ( canal < 4 ) | (canal==12)
117
118     %calcular o dia juliano
119     JD=diajuliano(str2num(ano),str2num(mes),str2num(dia),str2num(hora),str2num(minuto));
120
121     %calcular distancia terra sol para dia especifico
122     ESD=1.0-0.0167*cos(2*pi*(JD-3)/365);
123
124 end

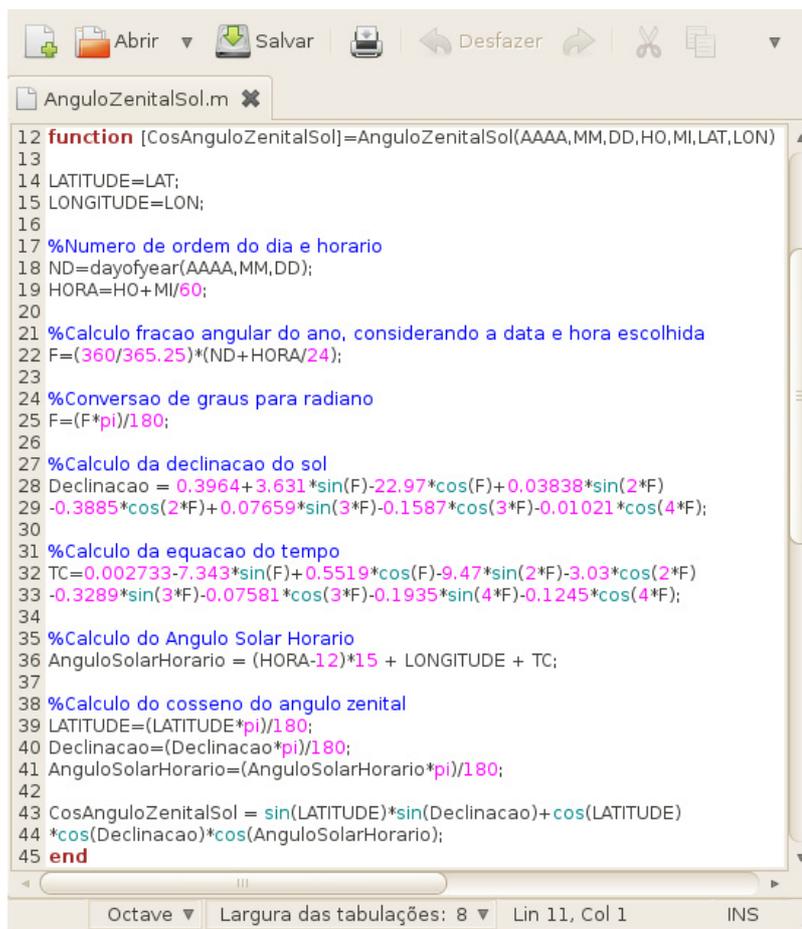
```

Figura 28. Algoritmo usado para calcular o dia Juliano e a distância Terra-Sol.

Os parâmetros de entrada foram fornecidos em formato de texto e a função *str2num* fez a conversão para o formato de número inteiro, necessário para que seja possível calcular o dia Juliano. À distância Terra-Sol foi calculada e armazenada em unidade astronômica, na variável *ESD* em formato decimal.

Para realizar o cálculo do ângulo zenital solar foi desenvolvido o script *AnguloZenitalSol.m* que recebeu como parâmetros de entrada a data da imagem e as coordenadas geográficas latitude e longitude de um determinado *pixel* e calcula o ângulo zenital do sol. Para cada *pixel* da imagem a sua localização foi obtida através do script *pixelcoord2geocoord.m* que é discutido em 3.5.6. A Figura 29 apresenta o script construído.

<sup>13</sup> Este script foi estruturado a partir do algoritmo disponibilizado pela Universidade de Utrecht, disponível no site <http://www.astro.uu.nl/~strous/AA/en/reken/juliaansedag.html>. Acessado em 05 mar, 2010, 15:40.



```

12 function [CosAnguloZenitalSol]=AnguloZenitalSol(AAAA,MM,DD,HO,MI,LAT,LON)
13
14 LATITUDE=LAT;
15 LONGITUDE=LON;
16
17 %Numero de ordem do dia e horario
18 ND=dayofyear(AAAA,MM,DD);
19 HORA=HO+MI/60;
20
21 %Calculo fracao angular do ano, considerando a data e hora escolhida
22 F=(360/365.25)*(ND+HORA/24);
23
24 %Conversao de graus para radiano
25 F=(F*pi)/180;
26
27 %Calculo da declinacao do sol
28 Declinacao = 0.3964+3.631*sin(F)-22.97*cos(F)+0.03838*sin(2*F)
29 -0.3885*cos(2*F)+0.07659*sin(3*F)-0.1587*cos(3*F)-0.01021*cos(4*F);
30
31 %Calculo da equacao do tempo
32 TC=0.002733-7.343*sin(F)+0.5519*cos(F)-9.47*sin(2*F)-3.03*cos(2*F)
33 -0.3289*sin(3*F)-0.07581*cos(3*F)-0.1935*sin(4*F)-0.1245*cos(4*F);
34
35 %Calculo do Angulo Solar Horario
36 AnguloSolarHorario = (HORA-12)*15 + LONGITUDE + TC;
37
38 %Calculo do cosseno do angulo zenital
39 LATITUDE=(LATITUDE*pi)/180;
40 Declinacao=(Declinacao*pi)/180;
41 AnguloSolarHorario=(AnguloSolarHorario*pi)/180;
42
43 CosAnguloZenitalSol = sin(LATITUDE)*sin(Declinacao)+cos(LATITUDE)
44 *cos(Declinacao)*cos(AnguloSolarHorario);
45 end

```

Figura 29. Algoritmo usado para calcular o ângulo zenital do sol em um local e horário especificado.

A função *dayofyear* calculou o dia do ano em formato ordinal, no intervalo de 1 a 366, para uma determinada data fornecida. O resultado foi armazenado na variável *ND*. A variável *HORA* armazenou o horário da imagem processada em frações de hora. Foi realizado o cálculo da fração angular do ano e o seu resultado armazenado na variável *F*. No Octave as funções *sin* e *cos*, foram usadas para calcular o seno e o cosseno e recebem seus parâmetros de entrada em radianos, por isso foi feito a conversão de graus para radianos, através da relação de conversão de ângulos planos, em que  $180^\circ$  equivale a  $\pi$  radianos.

Em seguida foi feito o calculo da declinação do sol, através da equação (21), disponível em VAREJÃO (2000).

$$\begin{aligned}
\delta = & 0.3964 + 3.631 \sin(F) - 22.97 \cos(F) + 0.03838 \sin(2F) \\
& - 0.3885 \cos(2F) + 0.07659 \sin(3F) \\
& - 0.1587 \cos(3F) - 0.01021 \cos(4F)
\end{aligned}
\tag{21}$$

Ainda segundo, VAREJÃO (2000), a equação do tempo, fornece a diferença entre à hora solar verdadeira e a hora solar média numa data particular, e

por isso, foi necessário considerar a correção feita por essa equação para calcular o ângulo horário do sol em uma determinada região. Sua expressão é dada pela equação (22).

$$\begin{aligned} \Delta t = & 0.002733 - 7.343 \sin(F) + 0.5519 \cos(F) - 9.47 \sin(2F) \\ & - 0.03 \cos(2F) - 0.3289 \sin(3F) - 0.07581 \cos(3F) \\ & - 0.1935 \sin(4F) - 0.1245 \cos(4F) \end{aligned} \quad (22)$$

Em que,  $F$  é a fração angular do ano.

Os resultados da aplicação destas equações foram armazenados nas variáveis *Declinacao* e *TC*. Logo após, foi calculado o ângulo zenital do sol através da equação (23).

$$\cos(Z) = \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \cos(h) \quad (23)$$

Em que,  $\Phi$  é a latitude,  $\delta$  é a declinação solar e  $h$  é ângulo solar horário. Após o processamento o resultado foi armazenado na variável *CosAnguloZenitalSol* em radianos.

A documentação técnica EUMETSAT, (2006c) disponibilizou a tabela com a constante solar no topo da atmosfera para cada um dos canais do visível, que é apresentada a seguir:

Tabela 4. Constante solar no topo da atmosfera. Adaptado de EUMETSAT (2006c).

Canal	Constante Solar ( $\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ )
VIS006	20.76
VIS008	23.24
IR_016	19.85
HRV	25.11

Agora, os valores de radiância foram convertidos para reflectância através da equação (19), página 48, e então os resultados foram armazenados na variável *TabelaReflectancia*. A equação modelada no Octave e o algoritmo usado no processamento podem ser visto na Figura 30, entre as linhas 163 e 170.

```

148 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
149 disp('Calculando: Tabela de Calibracao...');
150 %Tabela de Calibracao com quantizacao = 10bits (2^10 = 1024)
151 for i=0:1:1023
152     if (canal>3) & (canal<12) % Tabela de calibracao para os canais espectro Infravermelho
153         %Calculo da radiancia
154         Cal_Slope=matrizCoeficientesCalibracao(canal,2,1);
155         Cal_Offset=matrizCoeficientesCalibracao(canal,3,1);
156         radiancia=i*Cal_Slope+Cal_Offset;
157
158         %Conversao da radiancia em temperatura de brilho, equacao (18)
159         logp=log(C1*vc(canal)*vc(canal)*vc(canal)/radiancia+1);
160         Tb=(C2*vc(canal)/logp-B(canal))/A(canal);
161         TabelaTB(i+1)=(Tb-273.15)*100;
162
163     else % Tabela de calibracao para os canais espectro visivel
164         %Calculo da radiancia
165         Cal_Slope=matrizCoeficientesCalibracao(canal,2,1);
166         Cal_Offset=matrizCoeficientesCalibracao(canal,3,1);
167         radiancia=i*Cal_Slope+Cal_Offset;
168
169         %Conversao da radiancia em reflectancia, equacao (18)
170         TabelaReflectancia(i+1)=10000*radiancia/TOARAD(canal)/(ESD*ESD);
171
172     end
173 end

```

Figura 30. Algoritmo usado para calcular as tabelas de calibração para os canais do espectro visível e infravermelho.

As tabelas de calibração foram calculadas considerando-se a resolução radiométrica do SEVIRI e conseqüentemente os possíveis valores para o número digital. A aplicação da equação (17), página 47, pode ser vista entre as linhas 154 e 161. O resultado do processamento das equações foi armazenado na variável *radiancia*. Para os canais do espectro infravermelho foram realizados os cálculo das variáveis  $C_1$  e  $C_2$ , que foram necessárias para aplicação da equação (18). As constantes, Velocidade da luz, Constante de Plank e de Stefan-Boltzmann foram obtidas através do site <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/>, e os seus valores são apresentados na Tabela 5:

Tabela 5. Constantes físicas para o cálculo de  $C_1$  e  $C_2$ .

Parâmetro	Valor
Velocidade da luz (no vácuo)	$299792458 \text{ ms}^{-1}$
Constante de Plank	$6.62606896 \times 10^{-34} \text{ Js}$
Constante de Stefan-Boltzmann	$1.3806503 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$

A Figura 31 ilustra o processamento realizado no Octave para calcular  $C_1$  e  $C_2$  a partir da tabela anterior.

```

root@lapis-saf-desktop: /home/MSGPROC/AlgoritimoLAPIS
Arquivo Editar Ver Terminal Abas Ajuda
root@lapis-saf-desktop: /home/MSGPROC/Al... x root@lapis-saf-desktop: /home/lapis-saf x
octave:1> c=299792458;
octave:2> h=662606896*10^-34;
octave:3> k=1.3806503*10^-23;
octave:4> C1=2*h*c^2;
octave:5> C2=h*c/k;
octave:6> C1
C1 = 1.1910e-08
octave:7> C2
C2 = 1.4388e+06
octave:8>

```

Figura 31. Cálculo das constantes  $C_1$  e  $C_2$ .

Na documentação EUMETSAT, (2006c) foi disponibilizado os valores das constantes  $V_c$ , comprimento de onda central do canal e dos coeficientes de correção do canal  $A$  e  $B$ , que são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores das constantes  $V_c$  e coeficientes de correção  $A$  e  $B$  para os canais infravermelhos.

Canal	$V_c$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$A$ (adimensional)	$B$ (K)
IR_039	2569.094	0.9959	3.471
WV_062	1598.566	0.9963	2.219
WV_073	1362.142	0.9991	0.485
IR_087	1149.083	0.9996	0.181
IR_097	1034.345	0.9999	0.060
IR_108	930.659	0.9983	0.627
IR_120	839.661	0.9988	0.397
IR_134	752.381	0.9981	0.576

Em seguida, considerando que todos os parâmetros necessários para utilização da equação (18) foram calculados, foi construído a tabela de calibração para os canais do espectro infravermelho. O resultado foi convertido de Kelvin para graus Celsius, e então o resultado é armazenado na variável *TabelaTB*.

### 3.5.6 Geo-localização e projeção de mercator

Para realizar a geo-localização das imagens, a EUMETSAT disponibilizou duas funções implementadas em um software de navegação, cujo código fonte foi escrito nas linguagens de programação FORTRAN e C. Estas funções foram usadas para a conversão das coordenadas de imagem (linha e coluna) e para as correspondentes coordenadas geográficas (latitude e longitude). O software foi distribuído gratuitamente, e pode ser acessado através do endereço

[http://www.eumetsat.int/Home/Main/Access\\_to\\_Data/User\\_Support/](http://www.eumetsat.int/Home/Main/Access_to_Data/User_Support/). A definição matemática das funções utilizadas é descrita em (EUMETSAT, 1999).

As funções são *geocoord2pixcoord* e sua inversa *pixcoord2geocoord*, sendo que a primeira recebeu como parâmetro de entrada as coordenadas geográficas de uma localização e retornou como resultado a coordenada da imagem no formato linha e coluna. A segunda função realizou o processamento inverso.

Elas foram convertidas para o Octave, porém sua nomenclatura original permaneceu a mesma. No Apêndice II encontram-se o código fonte destas funções, onde foram utilizados comentários para fazer referência às equações utilizadas.

Porém, destaca-se que as funções disponibilizadas pela EUMETSAT foram projetadas para trabalhar com uma imagem na projeção GEOS, que é a projeção original do satélite, sendo que fica a cargo do usuário escrever suas próprias funções para fazer a transformação de coordenadas para outras projeções.

Diante disso, foram escritas duas novas funções, a função *mercator2geocoord* que recebeu como parâmetro de entrada as coordenadas de um ponto da imagem e retornou como resultado as coordenadas geográficas em projeção MERCATOR, e a função *geocoord2mercator* que realizou o processo inverso. As equações (15) e (16), página 46, disponibilizadas pela EUMETSAT, foram utilizadas para a construção destas funções, que foram implementadas em scripts do Octave. A Figura 32 ilustra o algoritmo da função *mercator2geocoord*.

```

7 function [lat, lon] = mercator2geocoord(col, lin, COFF, LOFF, CFAC, LFAC)
8
9 PI=3.14159265359; % PI %
10 c=col;
11 l=lin;
12
13 %Aplicacao da funcao de escala, equacao (6)
14 x = 2^16 * ( c - COFF) / CFAC;
15 y = 2^16 * ( l - LOFF) / LFAC;
16
17 %Conversao de graus para radianos
18 a=PI; %180 graus em radianos
19 b=PI/2; %90 graus em radianos
20
21 %Calcula latitude e longitude a partir da funcao inversa, equacao (16)
22 longi = a*x;
23 lati = b - 2*atan(exp(PI*y));
24
25 %Converte os valores de radianos para graus e retorna o resultado
26 lat = lati*180/PI;
27 lon = longi*180/PI;
28 end

```

Figura 32. Algoritmo de transformação de coordenada da imagem para projeção MERCATOR.

Inicialmente, foi utilizada a função de escala, através da equação (6), página 42, para determinar as coordenadas intermediárias, pois, os valores de linha e coluna são números inteiros, mas as coordenadas intermediárias  $x$  e  $y$  possuem valores reais, que, para serem calculados, faz-se necessário utilizar os coeficientes de escala que são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Valores dos coeficientes de escala. Adaptado de: EUMETSAT, (2006).

Variável	Valor
COFF	1856
LOFF	1856
CFAC	-781648343
LFAC	-781648343

Em seguida foi aplicada a equação (16), página 46, que transforma os valores de coordenadas intermediárias para coordenadas geográficas. No final do processamento os valores de latitude e longitude são convertidos de radianos para graus e armazenados nas variáveis *lat* e *lon*.

A função *geoord2mercator* fez a transformação de coordenadas geográficas para coordenadas de imagem em projeção MERCATOR. A Figura 33 ilustra o algoritmo da função que foi construída.

```

7 function [col, lin] = geoord2mercator(lat, lon, COFF, LOFF, CFAC, LFAC)
8 PI=3.14159265359; % PI %
9 lati= lat;
10 longi= lon;
11
12 %Checa se os valores sao validos, caso contrario retorna erro
13 if (lati < -90.0 || lati > 90.0 || longi < -180.0 || longi > 180.0 )
14     row = -999;    column = -999;    return;
15 end
16
17 %Conversao de graus para radianos
18 lat = lati*PI/180;
19 lon = longi*PI/180;
20 a = PI; %180 graus em radianos
21 b = PI/2; %90 graus em radianos
22
23 %Calcula a projecao a partir da funcao direta, equacao (15)
24 xx = lon/a;
25 yy = (1/PI)*(log(tan((b - lat)/2)));
26
27 %Aplicacao da funcao de escala, equacao (6)
28 cc = COFF + xx * 2^-16 * CFAC;
29 ll = LOFF + yy * 2^-16 * LFAC;
30
31 %calcula do numero inteiro mais proximo
32 ccc=round(cc);
33 lll=round(ll);
34 col = ccc;
35 lin = lll;
36 end

```

Figura 33. Algoritmo de transformação de coordenada geográfica para projeção MERCATOR.

Inicialmente foi feita a verificação dos valores de entrada através das variáveis *lat* e *lon*, pois o domínio considerado é de -90 a +90 graus para latitude e -180 a +180 graus para a longitude. Caso exista alguma incoerência com estes valores, o processamento é encerrado, e é atribuído o valor -999 para referenciar a linha e coluna, o que na prática não faz referencia a nenhum *pixel* da imagem.

Em seguida foram calculadas as coordenadas intermediárias, nomeadas *xx* e *yy*, através da função de projeção direta, equação (15), pagina 47, e a aplicação da função de escala, equação (6), página 42, foi necessária para transformar as coordenadas intermediárias em coordenadas da imagem, linhas e coluna, que foram armazenadas nas variáveis *ll* e *cc*. Em seguida foi usado a função *round* disponível no Octave, que fez o arredondamento do resultado para o número inteiro mais próximo das coordenadas da imagem que, por fim, foi armazenado nas variáveis *lin* e *col*.

Através da aplicação das funções descritas, foi possível realizar a localização de pontos na imagem, com o objetivo de identificar um determinado *pixel* da imagem, a partir de suas coordenadas geográficas, ou vice-versa. Este processo foi útil para poder representar a divisão política ou administrativa de uma região e localizar cidades, estradas, rios ou qualquer outro alvo de interesse, desde que seja conhecida sua localização geográfica. A Figura 34 ilustra a localização em coordenadas de imagem para o ponto em que está localizada a estação de recepção EUMETCast instalada na UFAL.



```
root@lapis-saf-desktop: /home/MSGPROC/AlgoritimoLAPIS
Arquivo Editar Ver Terminal Abas Ajuda
root@lapis-saf-desktop: /home/MSGPROC/Algo... x root@lapis-saf-desktop: /home/lapis-saf x
For information about changes from previous versions, type `news'.
octave:1> [lin col]=geocoord2pixcoord(-9.33, -35.46, 1856, 1856, -781648343, -781648343)
lin = 3028
col = 1527
octave:2> [lin col]=geocoord2mercator(-9.33, -35.46, 1856, 1856, -781648343, -781648343)
lin = 4206
col = 1235
octave:3> █
```

Figura 34. Aplicação das funções *geocoord2pixcoord* e *geocoord2mercator* para a localização dos *pixels* no ponto em que está localizada a estação de recepção.

Ambas as funções tem como parâmetros de entrada a localização da estação de recepção em coordenadas geográficas e os coeficientes de escala definidos na Tabela 7. O resultado do processamento é expresso através das

variáveis, *lin* e *col*. Percebeu-se que os resultados apresentados por cada função acima são diferentes, apesar de serem utilizados os mesmo parâmetros de entrada, isso se deve ao fato de que as funções utilizam projeções diferentes. A função *geocord2pixcoord*, desenvolvida pela EUMETSAT utiliza a projeção GEOS, enquanto a função *geocord2mercator*, desenvolvida neste trabalho, utiliza a projeção MERCATOR.

Portanto, a partir destas observações, foi construído o script *ReprojetarMatriz.m* para realizar a mudança da projeção da imagem, considerando que agora é possível calcular as coordenadas de imagens em ambas as projeções. Ele também deve incluir a opção de realizar cortes retangulares, com objetivo de destacar uma região específica da imagem, como por exemplo, podem ser definidos cortes para o monitoramento específico sobre a América do Sul, Amazônia, Nordeste do Brasil ou qualquer outra região de interesse. A Figura 35 apresenta o fluxograma da função construída.

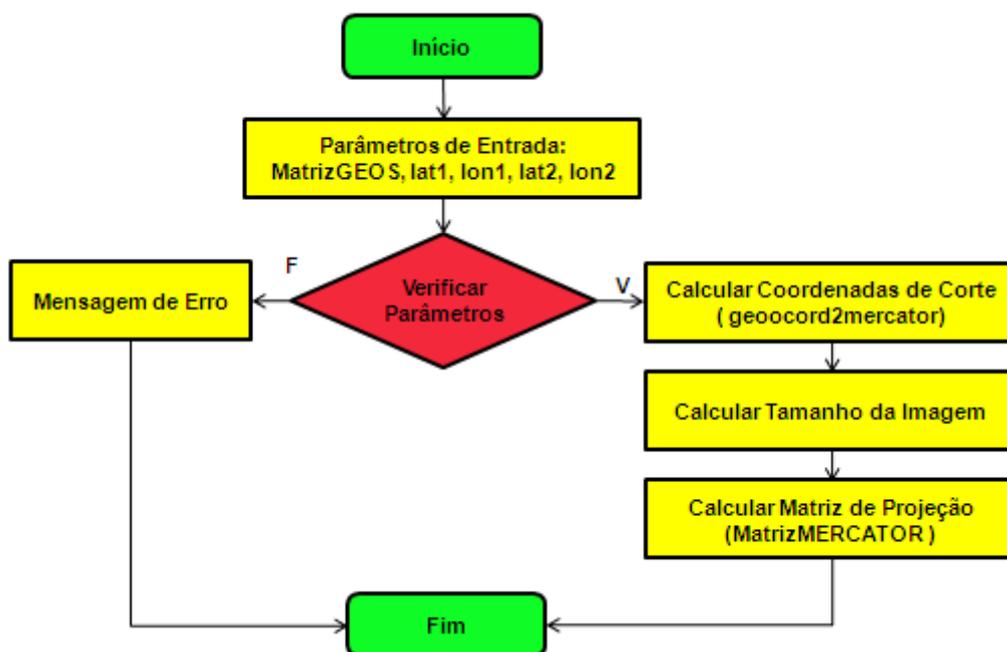
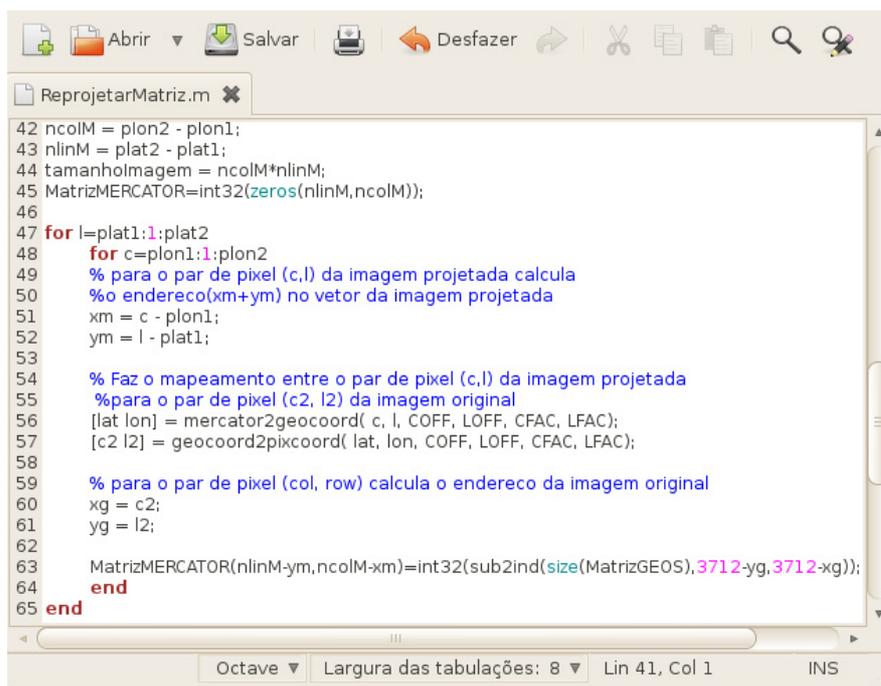


Figura 35. Fluxograma do algoritmo de projeção MERCATOR.

Como parâmetros de entrada, o script recebeu uma matriz na projeção GEOS, e as coordenadas de corte que definiram um retângulo, sendo que, *lat1* e *lon1* são referentes a um ponto no canto superior esquerdo da imagem, e *lat2* e *lon2* a um ponto no canto inferior direito da imagem. Após a verificação do domínio para latitude e longitude, foram calculadas as coordenadas de corte através da função *geocord2mercator* e seu resultado foi armazenado nas variáveis *plat1*, *plon1*, *plat2*,

$plon2$  em coordenadas de imagem. Em seguida foi calculado o tamanho da imagem resultante através das subtrações entre as coordenadas de longitude e latitude, que foram armazenadas nas variáveis  $ncolM$  e  $nlinM$ , logo produto entre essas variáveis representa o tamanho da imagem. A Figura 36 ilustra o algoritmo construído para realizar a mudança da projeção GEOS para projeção MERCATOR.



```

42 ncolM = plon2 - plon1;
43 nlinM = plat2 - plat1;
44 tamanhoimagem = ncolM*nlinM;
45 MatrizMERCATOR=int32(zeros(nlinM,ncolM));
46
47 for l=plat1:1:plat2
48     for c=plon1:1:plon2
49         % para o par de pixel (c,l) da imagem projetada calcula
50         %o endereco(xm+ym) no vetor da imagem projetada
51         xm = c - plon1;
52         ym = l - plat1;
53
54         % Faz o mapeamento entre o par de pixel (c,l) da imagem projetada
55         %para o par de pixel (c2, l2) da imagem original
56         [lat lon] = mercator2geocoord( c, l, COFF, LOFF, CFAC, LFAC);
57         [c2 l2] = geocoord2pixcoord( lat, lon, COFF, LOFF, CFAC, LFAC);
58
59         % para o par de pixel (col, row) calcula o endereco da imagem original
60         xg = c2;
61         yg = l2;
62
63         MatrizMERCATOR(nlinM-ym,ncolM-xm)=int32(sub2ind(size(MatrizGEOS),3712-yg,3712-xg));
64     end
65 end

```

Figura 36. Função de transformação de coordenada geográfica para projeção MERCATOR.

Foi então realizada a leitura seqüencial de linhas e colunas da matriz na projeção GEOS para obtenção das respectivas coordenadas da imagem, variáveis  $l$  e  $c$ . Após isso, o endereço na imagem para projeção de MERCATOR foi calculado e armazenado em  $xm$  e  $ym$ . Esse valor foi convertido para coordenadas geográficas através de *mercator2geocoord*, e como as funções compartilham as mesmas coordenadas, foi usado *geocoord2pixcoord* para obter as coordenadas na imagem na projeção GEOS. O resultado foi armazenado em  $xg$  e  $yg$ . Em seguida, na variável *matrizMERCATOR* foi armazenado os índices de forma linear para a projeção, que são calculados através dos endereços que foram armazenados em  $xm$ ,  $ym$ ,  $xg$  e  $yg$ . As subtrações  $3712-yg$  e  $3712-xg$  foram necessárias para considerar uma imagem orientada no sentido Norte-Sul. Um índice linear é a representação de índices equivalente a N-dimensões de uma matriz, em 1-dimensão. Por exemplo, em uma

matriz 2x2, um elemento que se encontra no índice (2,2) pode ser localizado através do índice linear (4), que indica que o elemento ocupa a quarta posição da matriz.

No Octave, a função *sub2ind* foi responsável em fazer o mapeamento de uma determinada posição da matriz para seu respectivo índice linear, e a função *size* calculou o tamanho da matriz em questão. A utilização de índices lineares para percorrer os elementos de uma matriz é mais eficiente quando comparado aos métodos tradicionais que envolvem a utilização de estruturas de repetição.

Usando as funções que foram apresentadas, a imagem teve seus *pixels* localizados em um sistema de coordenadas geográficas, através da latitude e longitude. Houve então a possibilidade de agregar outros tipos de dados espaciais, tais como medições feitas por estações de superfície, dados de imagens provenientes de outros sensores ou pontos obtidos por GPS serem registrados na imagem e assim criar uma base integrada de dados espaciais com as imagens do MSG.

Dessa forma, foi construída a divisão político-administrativa para a América do Sul e os Estados do Brasil através do script *GerarOverlay.m* que recebeu como parâmetros de entrada uma lista de coordenadas representando os pontos que foram localizados na imagem de satélite. Para o Brasil, os pontos foram obtidos através do site IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), que forneceu mapas contendo os limites interestaduais e municipais através do produto Malha Municipal Digital 2007. Eles foram obtidos através do FTP disponibilizado pelo IBGE através do endereço <ftp://geofp.ibge.gov.br/> acessando-se o acervo de malhas digitais. A documentação deste produto foi encontrada em IBGE (2007). Para os limites continentais e dos países da América do Sul, África e Europa, os pontos foram obtidos através do produto Coastline Extractor através do endereço <http://rimmer.ngdc.noaa.gov/>.

Os pontos foram obtidos e organizados em arquivos de texto, e em seguida a leitura desses pontos foi realizada pelo script *GerarOverlay.m*. Para cada ponto foi realizada sua localização geográfica através das funções de geolocalização descritas, em por fim, os *pixels* foram registrados em uma matriz com dimensões compatíveis as imagens do MSG (divisão político-administrativa).

A Figura 37 apresenta a divisão político-administrativa construída para as imagens do MSG.



Figura 37. Divisão político-administrativa elaborada pelo script *GerarOverlay.m*.

Após realizar o processamento dos pontos o resultado foi armazenado na variável *MatrizOverlay*, que foi registrado em arquivo, sendo posteriormente acessado, quando foi necessário aplicar esses dados na imagem.

A próxima etapa do processamento envolveu expressar o resultado do processamento realizado com os dados brutos na forma de produtos para o monitoramento meteorológico. Foram usado formato de imagens digitais que foram elaboradas a partir da combinação dos canais do SEVIRI através de um procedimento conhecido por composições coloridas.

### **3.5.7 Composições coloridas**

Até recentemente, os imageadores a bordo dos satélites geoestacionários eram limitados a possuir seus canais em duas ou três regiões espectrais, geralmente, no visível, infravermelho e vapor d' água. Habitualmente os meteorologistas utilizam imagens em preto e branco, ou aplicam técnicas como a LUT (Look-Up Tables, em inglês), que buscam criar tabelas com novas cores para realçar alvos de interesse.

O advento dos imageadores multi-espectrais em órbita geoestacionária está oferecendo maior detalhamento de nuvens e das características de massa de ar, sendo que, as imagens dos canais podem ser combinadas através de composições coloridas e alvos podem ser evidenciados com um mínimo de

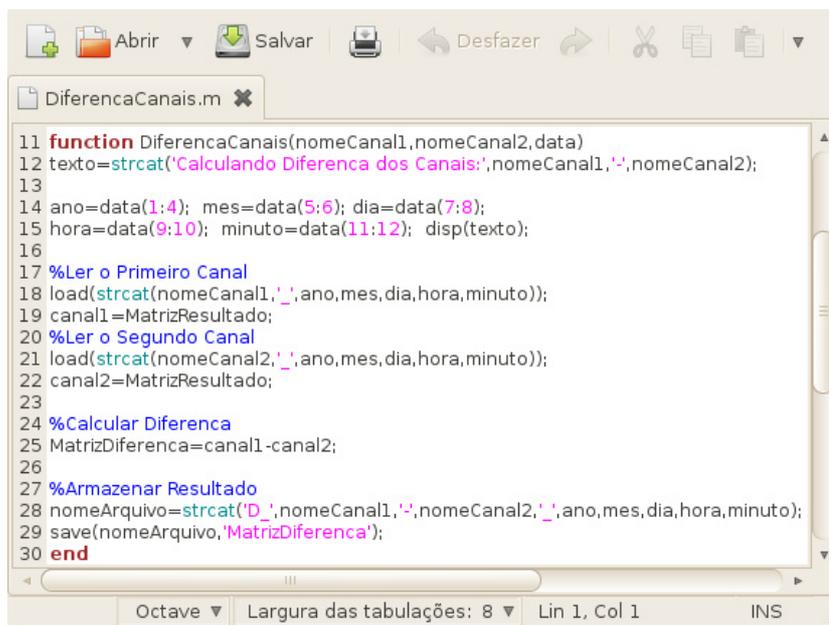
processamento computacional, através da seleção de canais e/ou diferenças de canais para os planos individuais de cada cor no sistema RGB. (USD, 2005).

Segundo Usd, (2005) até o momento, nenhuma norma geral foi estabelecida para padronizar a escolha dos canais ou as diferenças entre eles. Com a divulgação de informações pelos centros operacionais, seria necessário que houvesse alguma padronização, pois isso iria contribuir para a comparação dos resultados alcançados em cada instituição.

No Apêndice III é listado um conjunto de composições RGB que foram utilizadas nesse trabalho. Elas são baseadas em experiências práticas com as imagens fornecidas pelo SEVIRI e recomendadas pela EUMETSAT. As mesmas foram calculadas através da combinação de canais ou da diferença entre eles, e de atribuições aos planos de cores RGB e ajustes de brilho. De acordo com Usd, (2005) estes processamentos realizados na imagem referem-se a manipulações nos valores de reflectância e temperatura de brilho e têm o objetivo de limitar o seu domínio para que seja possível combinar os canais e formar uma nova imagem.

Para realizar a composição colorida dos canais do MSG foram elaborados dois scripts, o primeiro, *DiferencaCanais.m* que realizou a subtração entre os *pixels* de dois canais do MSG. Este foi um procedimento necessário para que fosse possível calcular as composições utilizadas neste trabalho. Ainda nesse contexto, o trabalho de MAHOVIC (2008), apresenta a aplicações da diferença dos canais VIS006 e IR\_016, para detecção de sistemas convectivos. O segundo script, *CriarRGB.m*, teve a função de combinar os canais do satélite com a possibilidade de aplicar limites em seus valores máximos e mínimos para os planos de cores do sistema RGB além de permitir operações como realce e ajuste de brilho através de função  $\gamma$ , e também, inversão da cor do *pixel*. Ao contrário das técnicas como a LUT, as composições coloridas não atribuem cores específicas aos alvos, entretanto, a coloração resultante pode ser influenciada pela escolha adequada dos canais e das suas diferenças.

A Figura 38 apresenta o algoritmo contido no script *DiferencaCanais.m* descrevendo o procedimento de subtração entre os canais.



```

11 function DiferencaCanais(nomeCanal1,nomeCanal2,data)
12 texto=strcat('Calculando Diferenca dos Canais:',nomeCanal1,'-',nomeCanal2);
13
14 ano=data(1:4); mes=data(5:6); dia=data(7:8);
15 hora=data(9:10); minuto=data(11:12); disp(texto);
16
17 %Ler o Primeiro Canal
18 load(strcat(nomeCanal1,'_',ano,mes,dia,hora,minuto));
19 canal1=MatrizResultado;
20 %Ler o Segundo Canal
21 load(strcat(nomeCanal2,'_',ano,mes,dia,hora,minuto));
22 canal2=MatrizResultado;
23
24 %Calcular Diferenca
25 MatrizDiferenca=canal1-canal2;
26
27 %Armazenar Resultado
28 nomeArquivo=strcat('D_',nomeCanal1,'-',nomeCanal2,'_',ano,mes,dia,hora,minuto);
29 save(nomeArquivo,'MatrizDiferenca');
30 end

```

Figura 38. Algoritmo para realizar a diferença entre os canais do MSG.

O script recebeu como parâmetros de entrada, o nome dos dois canais em que foi necessário realizar o processamento, eles foram atribuídos através das variáveis *nomeCanal1* e *nomeCanal2*. Adicionalmente, a data da imagem foi fornecida através da variável *data*. Foi definido que seria exibida uma frase para o usuário indicando qual processamento ocorreu. A função *strcat* realizou a concatenação de variáveis em formato de texto construindo a frase “Calculando Diferenca dos Canais X-Y”. Onde X e Y correspondem a *nomeCanal1* e *nomeCanal2*. Logo após, a data da imagem foi desagrupada e armazenada nas variáveis *ano*, *mês*, *dia*, *hora* e *minuto*. Então, foi feito a leitura dos dois canais através da função *load*, que foram armazenados nas variáveis *Canal1* e *Canal2*. O calculo da diferença dos canais foi efetuado através do operador de subtração para matrizes e o resultado foi armazenado na variável *MatrizDiferenca*. Foi definido que o nome do arquivo como resultado do processamento deve iniciar com os caracteres “D\_”, seguidos dos nomes dos canais e de sua data. A variável *MatrizDiferenca* foi armazenada em arquivo através da função *save*, produzindo então o resultado do processamento que foi armazenado em um arquivo formato binário usado pelo Octave para armazenar dados no computador.

O script *CriarRGB.m* foi o responsável pelo processamento do produto para monitoramento meteorológico, que foram construídos a partir de um único canal do satélite MSG ou através das composições de canais.

Em Usd, (2005) a EUMETSAT documenta como o *pixel* da imagem deve ser processado para se derivar a imagem digital através dos valores de reflectância ou temperatura de brilho que foram calculados. Foi utilizada a seguinte equação para efetuar os processamentos.

$$BYTE = 255 \left[ \frac{BRF, EBT - MIN}{MAX - MIN} \right]^{1/\gamma} \quad (24)$$

Onde, *BYTE* indica o *pixel* da imagem resultante em um intervalo de oito bits, ou seja, um número inteiro no intervalo de 0 a 255 que foi atribuído a cada plano de cor do sistema RGB. Esse processamento da imagem tem o objetivo de representar os valores de reflectância indicados por *BRF* (Bidirectional Reflectance Factor, em inglês) ou temperatura de brilho indicando por *ETB* (Equivalent Brightness Temperature, em inglês), dependendo do canal, na forma de uma imagem digital. Os valores indicados por *MAX* e *MIN* referem-se a limites máximos e mínimos aplicados aos valores das variáveis reflectância e temperatura de brilho. A variável  $\gamma$  indica uma correção que foi aplicada ao brilho da cor do *pixel* resultante. Segundo Lensky, (2008) a transformação  $\gamma$  é usada para aumentar ou diminuir a intensidade de brilho das cores da imagem. Nas composições coloridas é proposto  $\gamma \geq 1$ , indicando assim, o brilho mais intenso nas partes escuras da imagem.

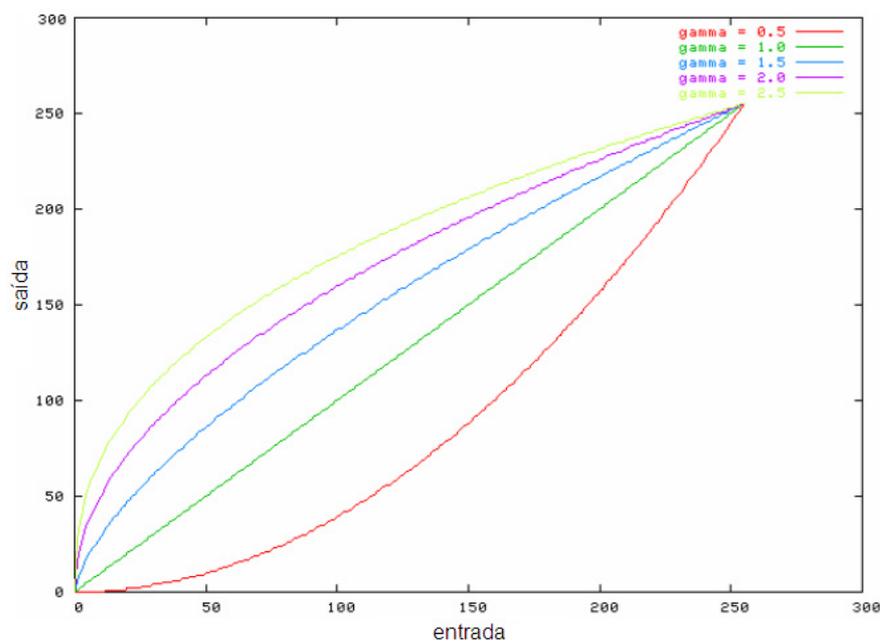
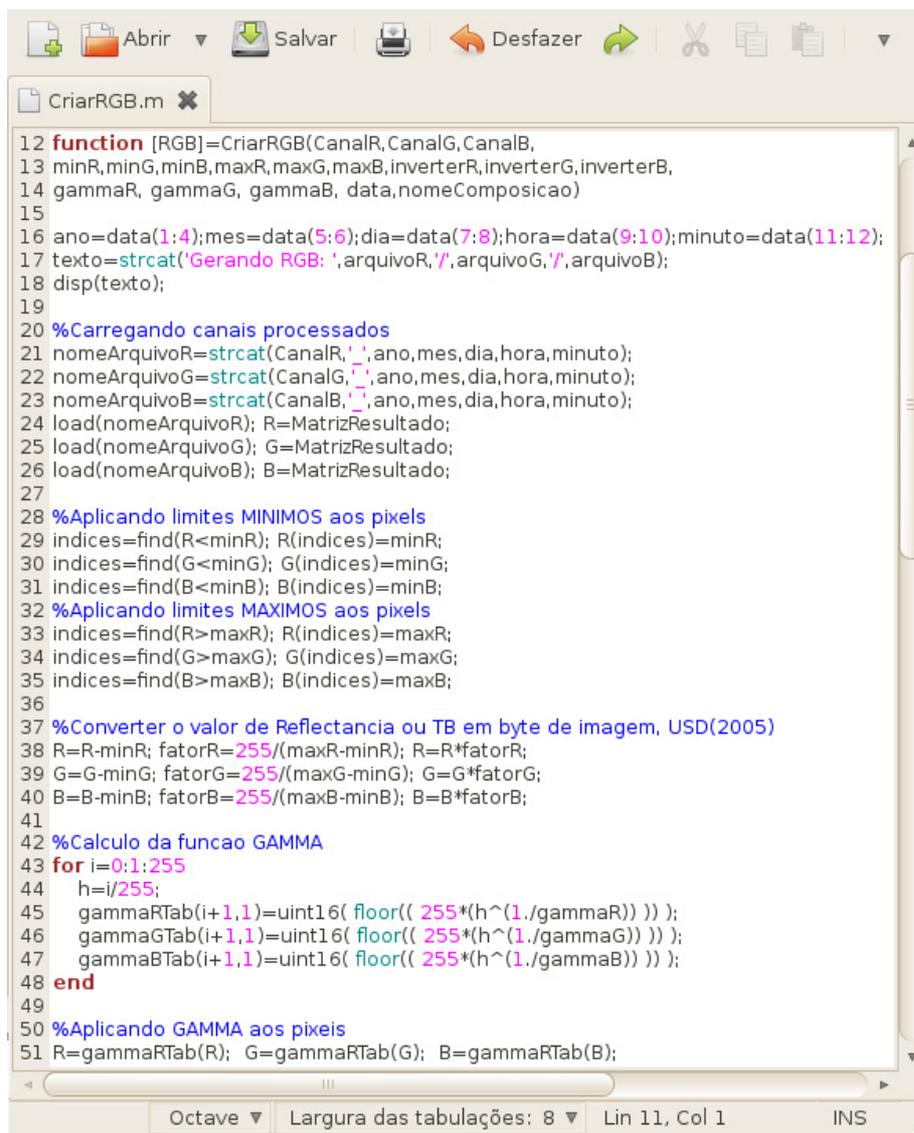


Figura 39. Transformação  $\gamma$  aplicada aos *pixels*. O valor de  $\gamma > 1$  realiza o ajuste de intensidade do brilho para a curva côncava e  $\gamma < 1$  para a curva convexa. Adaptado de: USD, (2005).

A Figura 40 apresenta a primeira parte do script construído para realizar as composições coloridas do MSG.



```

12 function [RGB]=CriarRGB(CanalR, CanalG, CanalB,
13 minR, minG, minB, maxR, maxG, maxB, inverterR, inverterG, inverterB,
14 gammaR, gammaG, gammaB, data, nomeComposicao)
15
16 ano=data(1:4); mes=data(5:6); dia=data(7:8); hora=data(9:10); minuto=data(11:12);
17 texto=strcat('Gerando RGB: ', arquivoR, '/', arquivoG, '/', arquivoB);
18 disp(texto);
19
20 %Carregando canais processados
21 nomeArquivoR=strcat(CanalR, '_', ano, mes, dia, hora, minuto);
22 nomeArquivoG=strcat(CanalG, '_', ano, mes, dia, hora, minuto);
23 nomeArquivoB=strcat(CanalB, '_', ano, mes, dia, hora, minuto);
24 load(nomeArquivoR); R=MatrizResultado;
25 load(nomeArquivoG); G=MatrizResultado;
26 load(nomeArquivoB); B=MatrizResultado;
27
28 %Aplicando limites MINIMOS aos pixels
29 indices=find(R<minR); R(indices)=minR;
30 indices=find(G<minG); G(indices)=minG;
31 indices=find(B<minB); B(indices)=minB;
32 %Aplicando limites MAXIMOS aos pixels
33 indices=find(R>maxR); R(indices)=maxR;
34 indices=find(G>maxG); G(indices)=maxG;
35 indices=find(B>maxB); B(indices)=maxB;
36
37 %Converter o valor de Reflectancia ou TB em byte de imagem, USD(2005)
38 R=R-minR; fatorR=255/(maxR-minR); R=R*fatorR;
39 G=G-minG; fatorG=255/(maxG-minG); G=G*fatorG;
40 B=B-minB; fatorB=255/(maxB-minB); B=B*fatorB;
41
42 %Calculo da funcao GAMMA
43 for i=0:1:255
44     h=i/255;
45     gammaRTab(i+1,1)=uint16( floor( ( 255*(h^(1./gammaR)) ) ) );
46     gammaGTab(i+1,1)=uint16( floor( ( 255*(h^(1./gammaG)) ) ) );
47     gammaBTab(i+1,1)=uint16( floor( ( 255*(h^(1./gammaB)) ) ) );
48 end
49
50 %Aplicando GAMMA aos pixels
51 R=gammaRTab(R); G=gammaRTab(G); B=gammaRTab(B);

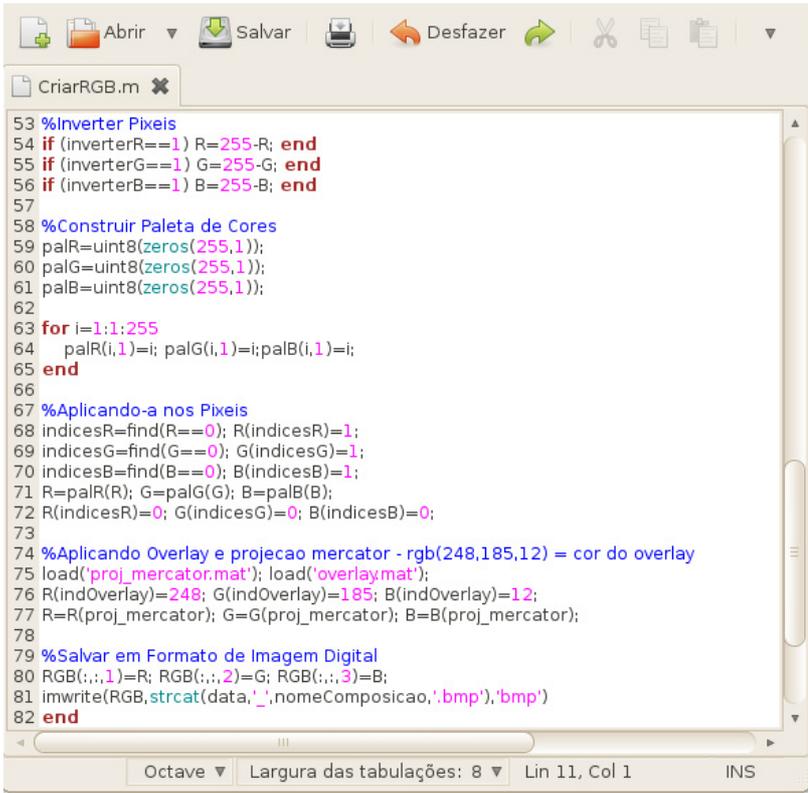
```

Figura 40. Algoritmo para processamento de composições coloridas.

O script recebeu como parâmetros de entrada o nome do arquivo correspondente ao canal do SEVIRI. Para cada plano da imagem RGB foi fornecido o nome do canal ou do arquivo processado através da diferença dos canais. As variáveis *CanalR*, *CanalG* e *CanalB* representaram o canal considerado nos planos de cor do vermelho, verde e azul, respectivamente. As variáveis *minR*, *minG* e *minB* correspondem aos valores mínimos, enquanto *maxR*, *maxG* e *maxB* aos valores máximos que são aplicados a reflectância ou temperatura de brilho. As variáveis *inverterR*, *inverterG*, *inverterB* podem assumir os valores lógicos 0 ou 1, para indicar a operação de inversão da cor do *pixel*, assim, por exemplo, um *pixel* com a cor 255 (branca) pode ser convertido para 0 (preto). A variável *nomeComposicao* representa um rótulo em formato de texto para identificar a composição RGB que foi processada. Os procedimentos utilizados para processar a data e exibir a frase

“Gerando RGB” foram semelhantes ao realizado no script *DiferencaCanais.m*. A função *load* foi usada para abrir cada um dos canais selecionados, os nome dos arquivos foram definidos através das variáveis *nomeArquivoR*, *nomeArquivoG*, e *nomeArquivoB* e da função *strcat*. Após serem feito o carregamento das matrizes correspondentes a cada canal, seus valores foram armazenados nas variáveis *R*, *G*, e *B*.

A função *find* disponível no Octave buscou os elementos da matriz que obedeceram a uma determinada condição em parênteses. Ela foi usada para a aplicação dos limites máximos e mínimos nos *pixels* que foram localizados através das condições impostas pelos operadores *<* e *>*. Em seguida, a equação (24) foi usada para calcular os valores dos *pixels* resultantes, que foram substituídos pelo que estavam anteriormente armazenados nas variáveis *R*, *G* e *B*. A equação foi dividida em três etapas, inicialmente realizou-se o cálculo do numerador, em seguida, foi feito o calculo do denominador e o produto entre eles. Na terceira etapa foi feito o calculo da transformação  $\gamma$  e através das variáveis *gammaRTab*, *gammaGTab* e *gammaBTab* elas foram aplicadas a cada plano de cor. A Figura 41 apresenta a segunda parte do script.



```

53 %Inverter Pixeis
54 if (inverterR==1) R=255-R; end
55 if (inverterG==1) G=255-G; end
56 if (inverterB==1) B=255-B; end
57
58 %Construir Paleta de Cores
59 palR=uint8(zeros(255,1));
60 palG=uint8(zeros(255,1));
61 palB=uint8(zeros(255,1));
62
63 for i=1:1:255
64     palR(i,1)=i; palG(i,1)=i; palB(i,1)=i;
65 end
66
67 %Aplicando-a nos Pixeis
68 indicesR=find(R==0); R(indicesR)=1;
69 indicesG=find(G==0); G(indicesG)=1;
70 indicesB=find(B==0); B(indicesB)=1;
71 R=palR(R); G=palG(G); B=palB(B);
72 R(indicesR)=0; G(indicesG)=0; B(indicesB)=0;
73
74 %Aplicando Overlay e projecao mercator - rgb(248,185,12) = cor do overlay
75 load('proj_mercator.mat'); load('overlay.mat');
76 R(indOverlay)=248; G(indOverlay)=185; B(indOverlay)=12;
77 R=R(proj_mercator); G=G(proj_mercator); B=B(proj_mercator);
78
79 %Salvar em Formato de Imagem Digital
80 RGB(:,:,1)=R; RGB(:,:,2)=G; RGB(:,:,3)=B;
81 imwrite(RGB,strcat(data,'_',nomeComposicao,'.bmp'),'bmp')
82 end

```

Figura 41. Continuação do algoritmo para processamento de composições coloridas.

A inversão da cor do *pixel* foi feita através da verificação das variáveis *inverterR*, *inverterG* e *inverterB*, sendo que no caso do valor lógico verdadeiro, indicado pelo número 1, toda a matriz equivalente a um dos planos de cores teve seus *pixels* subtraídos do valor 255.

Em seguida foi definida a escala de cores aplicada aos *pixels*. Ela representa a gama total de cores suportadas pela imagem. Para cada cor da escala foi designado um número e em cada *pixel* da imagem é armazenado um desses números que, por sua vez, determinam a cor do *pixel*. As variáveis *palR*, *palG* e *palB* armazenam as paletas que definem as cores vermelho, verde e azul. Em seguida foram aplicadas a divisão política dos estados na imagem através da variável *MatrizOverlay* e a projeção de MERCATOR através dos índices lineares que foram armazenados na variável *MatrizMercator*. A função *imwrite* foi utilizada para armazenar o arquivo em uma imagem no formato BMP com 24 bits. Outros formatos de imagem poderiam ter sido adotados, porém este foi escolhido, por não possuir compactação, sendo que, esta foi realizada em uma etapa posterior através da edição final da imagem, onde foi incluído o logotipo do LAPIS e dados para identificar a imagem, como o canal, dia e horários processados. Isso foi feito através do software ImageMagick, que por sua vez aplicou compactação na imagem final disponibilizando-a no formato JPEG.

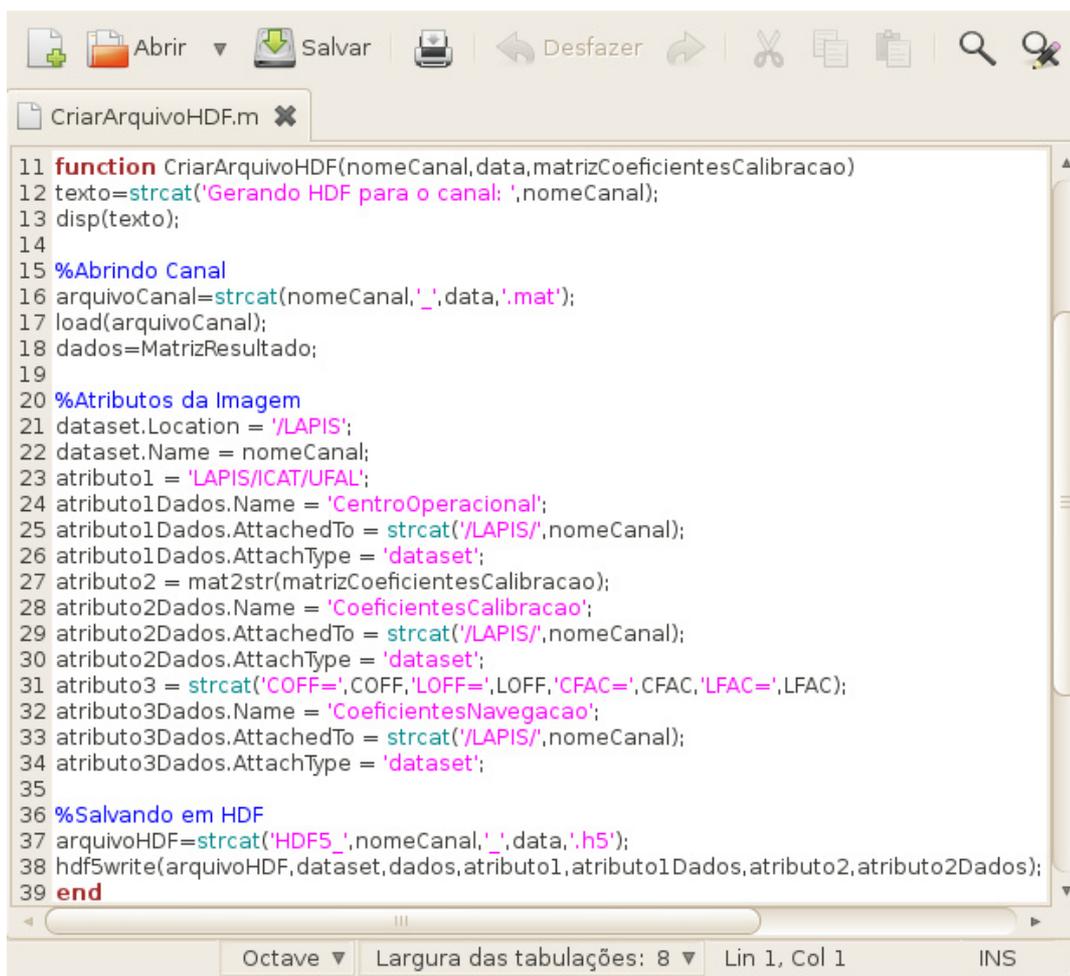
Nas imagens produzidas foi possível realizar a interpretação visual dos alvos, porém, no processamento que foi realizado, os valores de reflectância e temperatura de brilho foram transformados em informações de cores, o que impossibilitou a análise quantitativa dos mesmos. Por fim, decidiu-se que os resultados fossem expressos no formato de arquivos HDF, para que essa informação fosse aproveitada futuramente.

### **3.5.8 Armazenamento do arquivo HDF**

Os arquivos HDF possuem um formato que independe da plataforma utilizada e sua estrutura lógica permite a inclusão de uma grande quantidade de dados de diferentes tipos e origens em um mesmo arquivo.

Para as imagens do MSG, foram armazenados além dos valores de reflectância e temperatura de brilho, as características da imagem obtida, os dados de calibração e as informações necessárias para geo-localização.

Para armazenar o arquivo no formato HDF foi construído o script *CriarArquivoHDF.m*. A Figura 42 apresenta o algoritmo do script construído.



```

11 function CriarArquivoHDF(nomeCanal,data,matrizCoeficientesCalibracao)
12 texto=strcat('Gerando HDF para o canal: ',nomeCanal);
13 disp(texto);
14
15 %Abrindo Canal
16 arquivoCanal=strcat(nomeCanal,'_',data,'.mat');
17 load(arquivoCanal);
18 dados=MatrizResultado;
19
20 %Atributos da Imagem
21 dataset.Location = '/LAPIS';
22 dataset.Name = nomeCanal;
23 atributo1 = 'LAPIS/ICAT/UFAL';
24 atributo1Dados.Name = 'CentroOperacional';
25 atributo1Dados.AttachedTo = strcat('/LAPIS/',nomeCanal);
26 atributo1Dados.AttachType = 'dataset';
27 atributo2 = mat2str(matrizCoeficientesCalibracao);
28 atributo2Dados.Name = 'CoeficientesCalibracao';
29 atributo2Dados.AttachedTo = strcat('/LAPIS/',nomeCanal);
30 atributo2Dados.AttachType = 'dataset';
31 atributo3 = strcat('COFF=',COFF,'LOFF=',LOFF,'CFAC=',CFAC,'LFAC=',LFAC);
32 atributo3Dados.Name = 'CoeficientesNavegacao';
33 atributo3Dados.AttachedTo = strcat('/LAPIS/',nomeCanal);
34 atributo3Dados.AttachType = 'dataset';
35
36 %Salvando em HDF
37 arquivoHDF=strcat('HDF5_',nomeCanal,'_',data,'.h5');
38 hdf5write(arquivoHDF,dataset,dados,atributo1,atributo1Dados,atributo2,atributo2Dados);
39 end

```

Figura 42. Algoritmo para armazenamento do arquivo HDF.

Considerando que os dados brutos do MSG foram descompactados, calibrados, estão em projeção MERCATOR e foram armazenados em matrizes, foi possível fazer a leitura direta das mesmas através da função *load*, que recebeu como parâmetros de entrada o canal processado através da variável *nomeCanal*.

Em seguida foram definidos os atributos do arquivo HDF, pois, esse formato é auto-descritivo, sendo que, além dos dados, incluíram-se os metadados, que são informações úteis para identificar o arquivo ou realizar processamentos futuros. Isso foi feito através das variáveis *atributo1*, *atributo2*, e *atributo3* que

armazenaram, respectivamente, informações sobre a estação de recepção, coeficientes de calibração e coeficientes de navegação.

A função principal utilizada deste script foi a *hdf5write* adaptada para o Octave, responsável por armazenar o arquivo no computador. Ela recebeu como parâmetros de entrada o nome do arquivo, um identificador para o plano de dados, os dados e atributos adicionais citados anteriormente. Nesse formato um plano de dados representa uma matriz bidimensional, porém vários planos de dados podem ser sobrepostos originando matrizes N-dimensionais. Ele recebeu o nome do canal processado, sendo que suas configurações foram fornecidas através dos atributos da variável *dataset* contida no script.

Depois de realizado o processamento, o armazenamento dos dados brutos em formato HDF permitiu que análises físicas dos valores de reflectância ou temperatura de brilho fossem realizadas considerando os domínios espaciais e temporais das variáveis através de uma ferramenta para elaboração de gráficos, descrita em 3.8.

### **3.6 Processamento dos produtos para o monitoramento ambiental**

O processamento dos dados recebidos pelo projeto LSA SAF teve o objetivo de decodificar os dados que são recebidos no formato HDF, entender sua estrutura e transformá-los em parâmetros biofísicos relacionados à vegetação como o índice FVC aos fluxos de energia Albedo da superfície e LST, posteriormente armazenando-os em formato de imagem digital e realizando análise temporal dessas variáveis. Para isso, foram elaborados algoritmos através de scripts do software Octave.

Buscou-se reaproveitar os algoritmos construídos até então, visto que esses dados possuem estrutura semelhante aos dados brutos do MSG no que diz respeito à resolução espacial, projeção e funções utilizadas para a geo-localização dos *pixels*.

As etapas do processamento e os scripts desenvolvidos para processar estes dados são apresentados no fluxograma ilustrado na Figura 43.

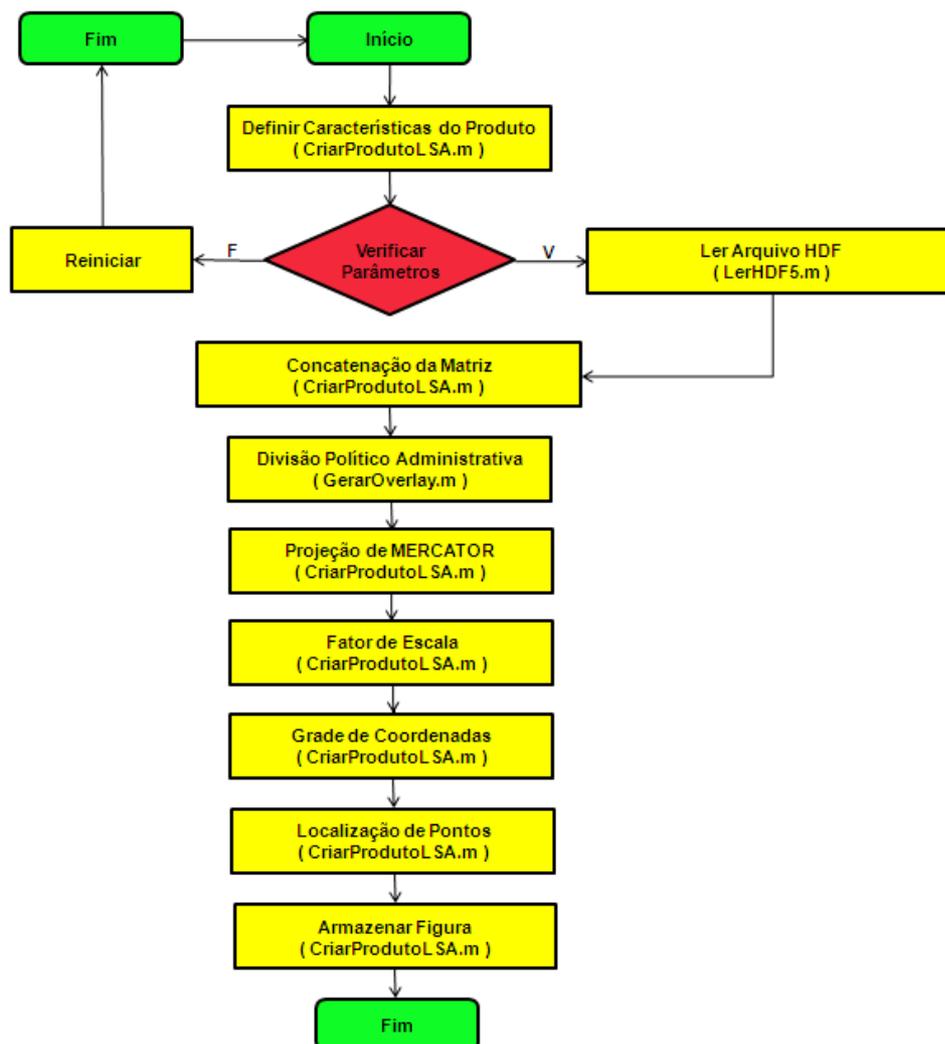


Figura 43. Fluxograma das etapas do processamento dos dados para monitoramento ambiental.

As etapas contidas no fluxograma foram comuns para todos os dados fornecidos pelo LSA SAF que foram processados no LAPIS, pois, identificou-se que as diferenças existentes entre eles estão relacionadas às unidades físicas que são armazenadas em cada arquivo, o fator de escala que deve ser adotado e a definição utilizada na escala de cores para representar a saída em formato de imagem para cada produto. Dessa forma, a primeira etapa envolveu identificar estas variáveis para cada um deles. Percebeu-se que o formato HDF é auto-descritivo, sendo que, para cada estrutura de dado contida no arquivo existe uma informação associada a ele, sendo ela comumente chamada de metadados. Para entender a estrutura básica dos arquivos, foi necessário utilizar o software HDFView que foi fornecido gratuitamente pelo HDFGroup através do endereço <http://www.hdfgroup.org/hdf-java-html/hdfview/>, e inicialmente foi feita a identificação da estrutura do arquivo e dos seus metadados. Na Figura 44 é ilustrado o software HDFView em execução,

exibindo a estrutura do arquivo HDF relacionado ao produto FVC que foi obtido em 31 de Janeiro de 2010.

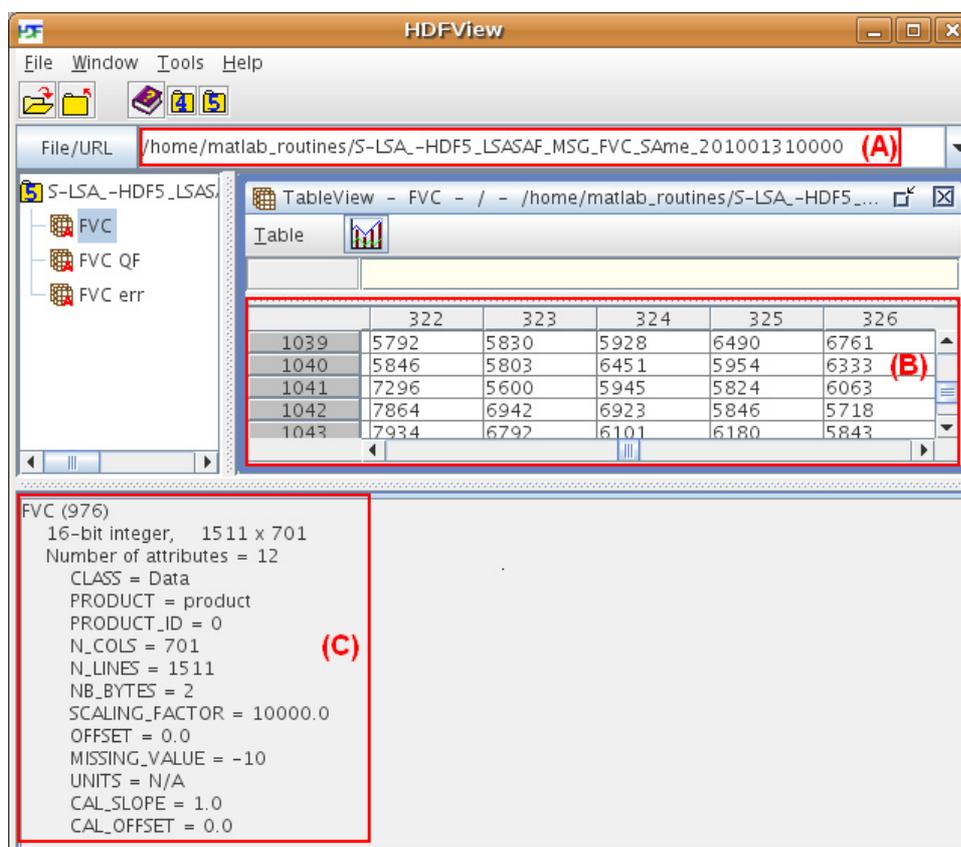


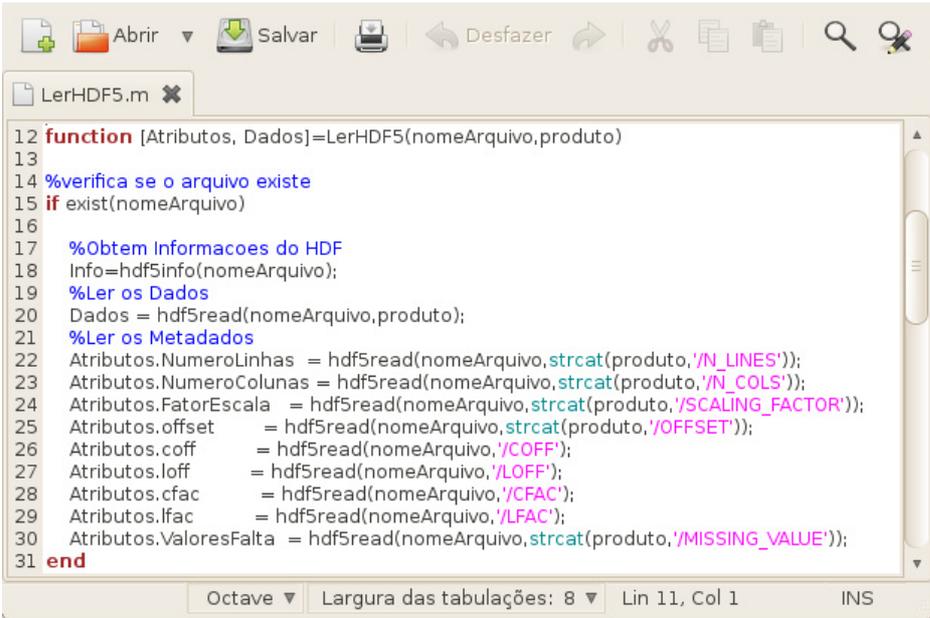
Figura 44. Software HDFView e estrutura do produto FVC.

Na figura acima em (A) foi destacado o nome do arquivo, onde percebeu-se que, semelhantemente aos dados brutos do MSG, existiu uma padronização identificando o produto, o que pode ser visto através dos identificadores do centro operacional, do produto e da região do corte retangular. Em (B) foi destacado parte da matriz de dados e os valores apresentados são referentes aos *pixels* da imagem multiplicados pelo fator de escala 10000 que é adotado para o FVC. Em (C) destacam-se os metadados do arquivo, além da identificação do produto onde são informados as dimensões da matriz, o fator de escala e os valores atribuídos aos *pixels* em que não há informações, nuvens por exemplo.

A partir da análise da estrutura do arquivo e da identificação dos metadados, foi elaborado um script para realizar a sua leitura, a partir das funções disponibilizadas pelo Octave.

### 3.6.1 Leitura do arquivo HDF

Para realizar a leitura do HDF foi construído o script *LerHDF5.m* que recebeu como parâmetros de entrada o nome do arquivo e um identificador para o produto através das variáveis *nomeArquivo* e *Produto*. Ele retornou como resultado do processamento os metadados e a matriz de *pixels* que foram armazenados nas variáveis *Atributos* e *Dados*, respectivamente. O Octave realizou a leitura desses arquivos através da função adaptada *hdf5info*, que foi usada para se obter informações sobre os dados contidos nas estruturas do arquivo, a função *hdf5read* que realizou a leitura destes dados e que os armazenou nas variáveis citadas anteriormente. A Figura 45 ilustra o algoritmo contido no script *LerHDF5.m*.



```

12 function [Atributos, Dados]=LerHDF5(nomeArquivo,produto)
13
14 %verifica se o arquivo existe
15 if exist(nomeArquivo)
16
17     %Obtem Informacoes do HDF
18     Info=hdf5info(nomeArquivo);
19     %Ler os Dados
20     Dados = hdf5read(nomeArquivo,produto);
21     %Ler os Metadados
22     Atributos.NumeroLinhas = hdf5read(nomeArquivo,strcat(produto,'%N_LINES'));
23     Atributos.NumeroColunas = hdf5read(nomeArquivo,strcat(produto,'%N_COLS'));
24     Atributos.FatorEscala = hdf5read(nomeArquivo,strcat(produto,'%SCALING_FACTOR'));
25     Atributos.offset = hdf5read(nomeArquivo,strcat(produto,'%OFFSET'));
26     Atributos.coff = hdf5read(nomeArquivo,'%COFF');
27     Atributos.loff = hdf5read(nomeArquivo,'%LOFF');
28     Atributos.cfac = hdf5read(nomeArquivo,'%CFAC');
29     Atributos.lfac = hdf5read(nomeArquivo,'%LFAC');
30     Atributos.ValoresFalta = hdf5read(nomeArquivo,strcat(produto,'%MISSING_VALUE'));
31 end
  
```

Figura 45. Algoritmo para leitura dos arquivos disponibilizados pelo LSA SAF.

Os atributos foram armazenados de acordo com a descrição fornecida pelo software HDFView. Sendo que, para cada atributo foi dedicado uma variável para seu armazenamento. Eles foram utilizados para definir as características dos produtos que foram processados através do script *CriarProduto.m*.

Percebeu-se que os scripts que foram desenvolvidos para aplicação da projeção MERCATOR e da divisão político-administrativa dos dados brutos do MSG poderiam ser reutilizados, visto que eles possuem estrutura semelhante aos dados disponibilizados pelo LSA SAF, no que diz respeito à resolução espacial.

Porém o corte retangular que caracteriza o produto para a América do Sul possui uma dimensão menor que a imagem original do MSG, por isso foi necessário

realizar a concatenação das matrizes com o objetivo de alcançar o tamanho da imagem original do MSG que é 3712x3712 *pixels*, e dessa forma pode reutilizar os scripts que foram construídos anteriormente.

### 3.6.2 Concatenação de matrizes

Foi necessário realizar a concatenação da matriz de *pixels* dos produtos LSA SAF com matrizes nulas, até que se alcançasse a dimensão da imagem do MSG, sendo que, a função *zeros* disponível no Octave criou essas matrizes preenchidas com valores nulos. Para definir-se o tamanho das matrizes que seriam concatenadas, partiu-se do princípio que os produtos têm 1511x701 *pixels* e deveria ser alcançada a dimensão de 3712x3712 *pixels*. Foram então criadas as variáveis que são representadas pela cores da Figura 46. A matriz que representa os dados do LSA SAF é exibida em azul, a divisão política em preto e as outras matrizes foram apresentadas com as demais cores. Na legenda da figura abaixo, são apresentados os nomes que foram atribuídos as matrizes.

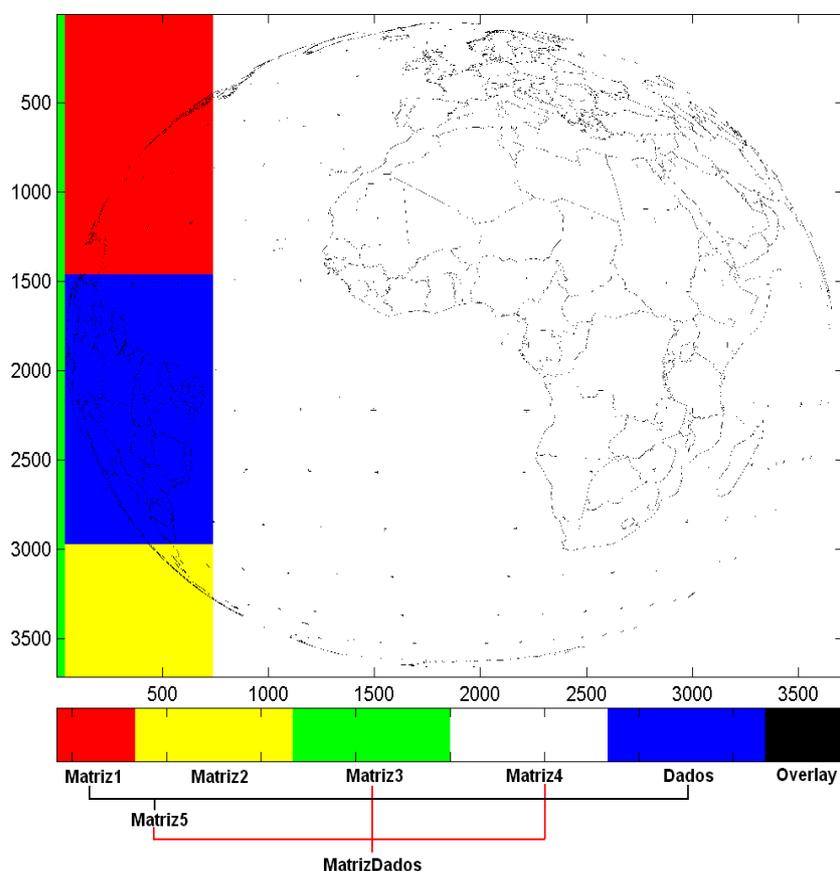


Figura 46. Matrizes concatenadas com os dados LSA SAF.

A Figura 47 ilustra o algoritmo usado para concatenação das matrizes, de acordo com a figura apresentada anteriormente.

```

102 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
103 %Carregando matriz de dados apartir do hdf %
104 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
105 [Atributos, Dados]=LerHDF5(nomeArquivo,produto);
106 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
107 %concatenando matriz de dados para obter o tamanho:3712x73712%
108 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
109 Matriz1=zeros(1459,701);
110 Matriz2=zeros(742,701);
111 Matriz3=zeros(3712,38);
112 Matriz4=zeros(3712,2973);
113 Matriz5=[Matriz1;Dados;Matriz2];
114 MatrizDados=[Matriz3 Matriz5 Matriz4];

```

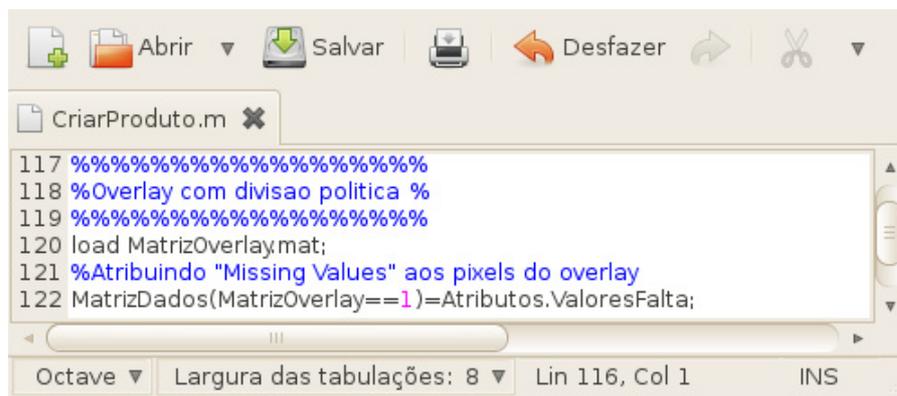
Figura 47. Concatenação de matrizes no script *CriarProduto.m*.

O primeiro passo foi ler os dados através da função *LerHDF5*, e em seguida cada uma das matrizes foram criadas, sendo assim, suas dimensões foram calculadas através das características dos cortes retangulares e áreas geográficas para os produtos que são relatados em Pum, (2008).

Para realizar a inserção dos *pixels* que indicam a divisão político-administrativa e a projeção de MERCATOR, foram herdadas as matrizes construídas através do procedimento que foi aplicado as imagens do MSG na seção 3.5.6.

### 3.6.3 Divisão político-administrativa e projeção de MERCATOR

A divisão político-administrativa foi inserida nos produtos, utilizando-se o mesmo arquivo que a representou para as imagens do MSG. Através da função *load* foi feita sua leitura e em seguida, para os *pixels* contidos na variável *MatrizDados* que possuíam o mesmo índice linear que a matriz da divisão política foi atribuído o valor do atributo “MISSING VALUES” presente nos metadados do produtos. A Figura 48 ilustra o trecho do script *CriarProduto.m* que contém o algoritmo usado para inserir a divisão político-administrativa.



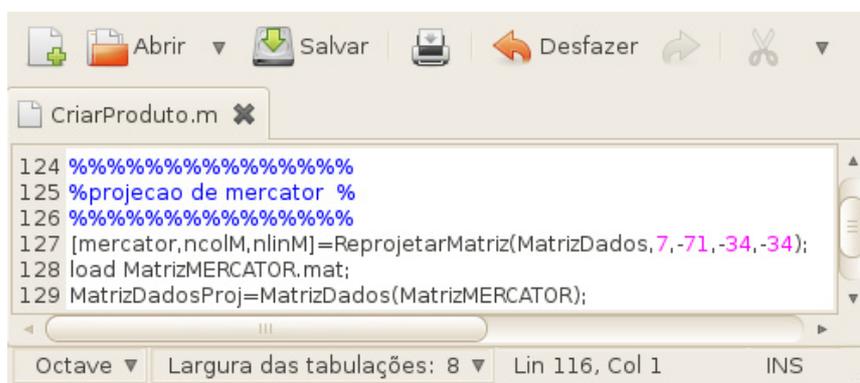
```

117 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
118 %Overlay com divisao politica %
119 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
120 load MatrizOverlay.mat;
121 %Atribuindo "Missing Values" aos pixels do overlay
122 MatrizDados(MatrizOverlay==1)=Atributos.ValoresFalta;

```

Figura 48. Algoritmo para divisão político-administrativa nos produtos de monitoramento ambiental.

Aplicou-se, também, uma máscara na imagem, com o objetivo de destacar somente os *pixels* do Brasil e omitir os valores para os outros países da América do Sul. Em seguida, foi feita aplicação à projeção MERCATOR na imagem, foi utilizada a função *ReprojetarMatriz.m* que realizou um corte retangular segundo as coordenadas, (7°N ; 71°O) para o canto superior esquerdo e (34°S ; 34°O) para o canto inferior direito da imagem. A Figura 49 ilustra o trecho do script *CriarProduto.m* que contém o algoritmo usado para projeção do produto.



```

124 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
125 %projecao de mercator %
126 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
127 [mercator,ncolM,nlinM]=ReprojetarMatriz(MatrizDados,7,-71,-34,-34);
128 load MatrizMERCATOR.mat;
129 MatrizDadosProj=MatrizDados(MatrizMERCATOR);

```

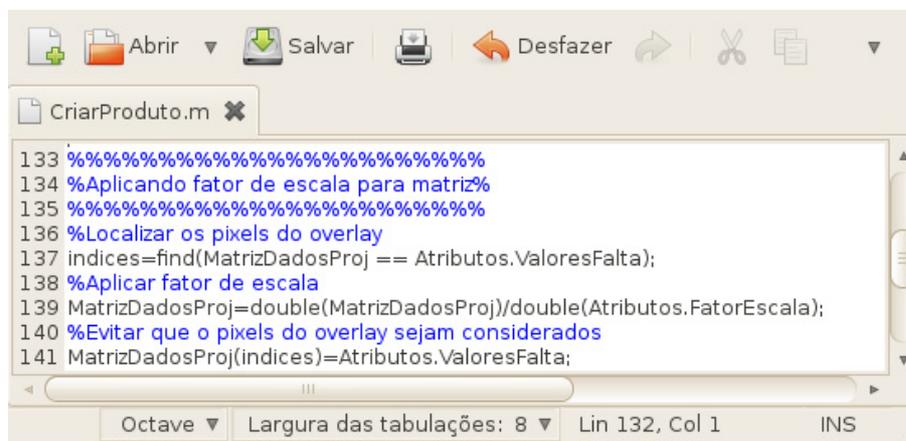
Figura 49. Algoritmo para projeção MERCATOR nos produtos de monitoramento ambiental.

Percebeu-se que os valores associados aos *pixels* dos produtos considerados foram multiplicados por um fator de escala, que foi descrito nos metadados através do atributo “SCALING FACTOR” sendo associado à variável *Atributo* de forma que fosse possível aplicá-los aos *pixels*.

### 3.6.4 Fator de escala

Para se aplicar o fator de escala, foi necessário dividir o valor da matriz dos dados pelo valor anteriormente descrito, tomando-se o cuidado de evitar que os *pixels* referentes à divisão política fossem considerados, e conseqüentemente, na

etapa de armazenamento do produto em formato de imagem digital, estes fossem associados a cores incorretas. A Figura 50 ilustra o trecho do algoritmo desenvolvido para aplicar o fator de escala.



```

133 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
134 %Aplicando fator de escala para matriz%
135 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
136 %Localizar os pixels do overlay
137 indices=find(MatrizDadosProj == Atributos.ValoresFalta);
138 %Aplicar fator de escala
139 MatrizDadosProj=double(MatrizDadosProj)/double(Atributos.FatorEscala);
140 %Evitar que o pixels do overlay sejam considerados
141 MatrizDadosProj(indices)=Atributos.ValoresFalta;

```

Figura 50. Algoritmo para aplicação do fator de escala.

A função *find* foi utilizada para localizar os *pixels* referentes à divisão-política, que tiveram os seus índices lineares armazenados na variável *índices*. Em seguida, foi efetuada a operação de divisão que aplicou o fator de escala aos *pixels* dos dados. No final deste processamento, os valores armazenados em *índices* receberam o valor associado à divisão política.

Na etapa seguinte, foram realizados os passos para caracterizar a imagem digital resultante dos produtos LSA SAF, sendo que inicialmente foram definidas as tabelas de cores referentes aos *pixels* de cada produto. Depois foi construído um algoritmo para inserir uma grade de coordenadas e realizar a localização de pontos na imagem. Foram utilizadas as mesmas funções construídas para realizar a geo-localização nos dados brutos do MSG.

### 3.6.5 Tabela de cores, grade de coordenadas e geo-localização de pontos

Para os produtos processados foram definidas tabela de cores de forma que além de associar os valores do domínio usados para seus *pixels* às cores da tabela, fosse possível obter considerável contraste entre os valores máximos, mínimos e intermediários dos parâmetros físicos e biofísicos considerados, suas definições foram encontradas em (PUM, 2008). Na Figura 51 são exibidas as tabelas de cores definidas.

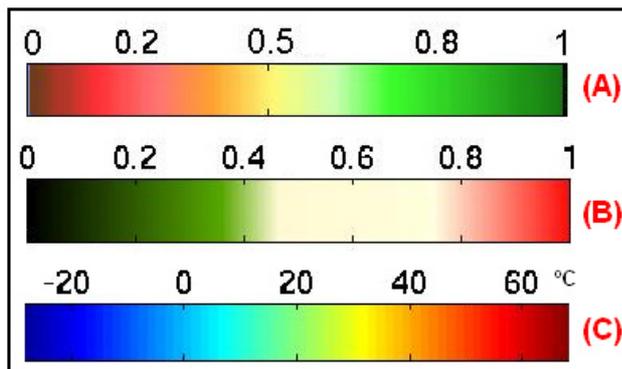


Figura 51. Tabelas de cores para os produtos LSA SAF processados.

Em (A) é destacado a tabela de cor para o produto FVC, em (B) para o produto Albedo de Superfície, e em (C) para o LST. Somente o ultimo é apresentado em escala de graus Celsius, os outros produtos possuem unidades adimensionais.

Uma grade de coordenadas geográficas foi definida com resolução de cinco graus, para facilitar a identificação visual de áreas na imagem, sendo construída para destacar as linhas imaginárias de meridianos e paralelos na imagem. A Figura 52 ilustra o algoritmo construído.

```

162 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
163 %pontos da grade de latitude e longitude %
164 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
165 i=0;
166 for m=lat1:-1:lat2
167     if ( rem(floor(m),5) == 0 )
168         i=i+1;
169         [x1 y1]=geocoord2mercator(lat1,lon1,COFF,LOFF,CFAC,LFAC);
170         [x2 y2]=geocoord2mercator(floor(m),lon1,COFF,LOFF,CFAC,LFAC);
171         pontosYLabel(i)=floor(m);
172         pontosY(i)=y1-y2;
173     end
174 end
175 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
176 i=0;
177 for m=lon1:+1:lon2
178     if ( rem(floor(m),5) == 0 )
179         i=i+1;
180         [x1 y1]=geocoord2mercator(lat1,lon1,COFF,LOFF,CFAC,LFAC);
181         [x2 y2]=geocoord2mercator(lat1,floor(m),COFF,LOFF,CFAC,LFAC);
182         pontosXLabel(i)=floor(m);
183         pontosX(i)=x1-x2;
184     end
185 end

```

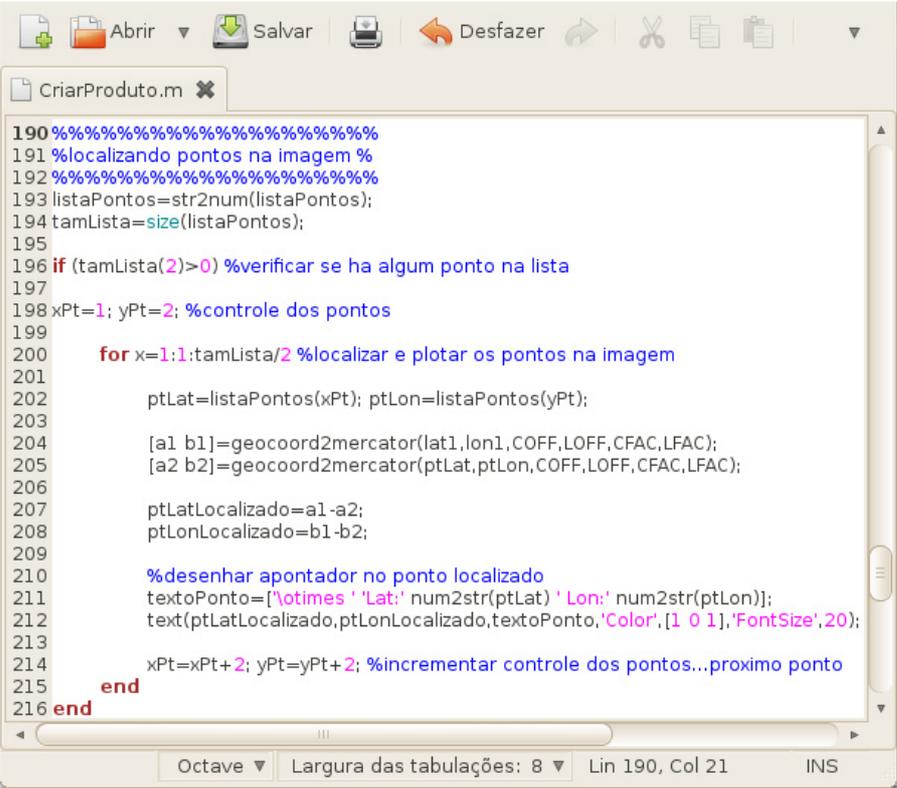
Figura 52. Algoritmo para construção da grade de coordenadas.

O funcionamento do algoritmo dá-se da seguinte forma, através dos pontos que foram fornecidos para o corte retangular da imagem identificaram-se as

coordenadas iniciais que delimitam a grade, elas foram incrementadas até que se alcancem os valores finais, e é importante dizer que o intervalo definido foi de cinco graus.

A função *rem* recebeu como parâmetro de entrada os valores referentes a coordenada geográfica e resolução da grade, e retornou como resultado o resto da divisão entre eles. A função *floor* recebeu um valor real e retornou o seu inteiro mais próximo. Com a aplicação destas funções foi possível considerar as coordenadas de latitude e longitude que são divisíveis pelo do valor da resolução da grade. Elas foram armazenadas nas variáveis *pontosXLabel* e *pontosYLabel*, e então, foram calculados os endereços dos *pixels* em que foram desenhados através das subtrações  $y_1 - y_2$  e  $x_1 - x_2$ , que foram armazenados em *pontosY* e *pontosX*.

Para realizar a localização de pontos e destacá-los na imagem, foi construído um algoritmo, parte do script *CriarProduto.m*, que recebeu uma lista com pares de coordenadas geográficas, e para cada ponto da lista, foi desenhado na imagem um apontador, indicando visualmente a localização exata destes pontos. A Figura 53 ilustra o algoritmo construído.



```

190 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
191 %localizando pontos na imagem %
192 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
193 listaPontos=str2num(listaPontos);
194 tamLista=size(listaPontos);
195
196 if (tamLista(2)>0) %verificar se ha algum ponto na lista
197
198 xPt=1; yPt=2; %controle dos pontos
199
200     for x=1:1:tamLista/2 %localizar e plotar os pontos na imagem
201
202         ptLat=listaPontos(xPt); ptLon=listaPontos(yPt);
203
204         [a1 b1]=geocoord2mercator(lat1,lon1,COFF,LOFF,CFAC,LFAC);
205         [a2 b2]=geocoord2mercator(ptLat,ptLon,COFF,LOFF,CFAC,LFAC);
206
207         ptLatLocalizado=a1-a2;
208         ptLonLocalizado=b1-b2;
209
210         %desenhar apontador no ponto localizado
211         textoPonto=["\otimes ' 'Lat:' num2str(ptLat) ' Lon:' num2str(ptLon)];
212         text(ptLatLocalizado,ptLonLocalizado,textoPonto,'Color',[1 0 1],'FontSize',20);
213
214         xPt=xPt+ 2; yPt=yPt+ 2; %incrementar controle dos pontos...proximo ponto
215     end
216 end

```

Figura 53. Algoritmo para localização de pontos na imagem.

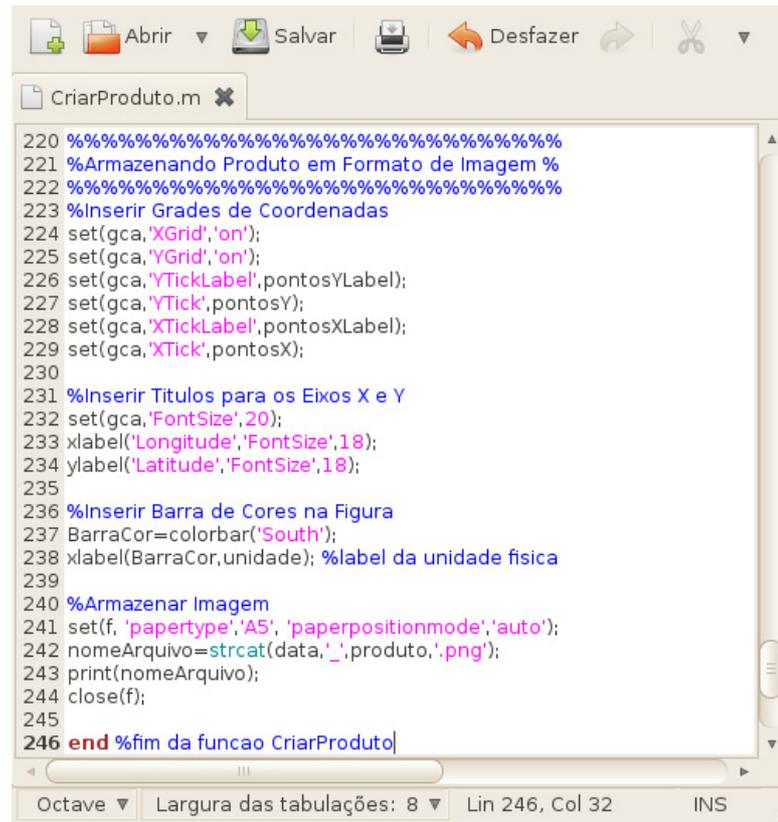
No algoritmo ilustrado, inicialmente os pontos foram convertidos para formato numérico, função *str2num*, em seguida foi calculado a quantidade de pontos

da lista, cada ponto é composto por um par de coordenadas. Para cada um deles, foi calculada a coordenada de imagem através da função *geocord2mercator*, depois foram calculados através das subtrações  $a1-a2$  e  $b1-b2$  o endereço dos *pixels* na projeção considerada, tendo como referencial o corte retangular da imagem. O registro do ponto na imagem é feito através da função *text*, que recebeu a coordenada de imagem em conjunto com o texto armazenado na variável *textoPonto*, e os desenhou.

A etapa final do processamento envolveu o armazenamento do produto no formato de imagem digital, em projeção MERCATOR, com a divisão político-administrativa, tabela de cores e grade de coordenadas definidas.

### **3.6.6 Armazenamento do produto para monitoramento ambiental**

Antes de realizar-se o armazenamento da imagem, elas foram personalizadas, inseriram-se a grade de coordenadas e a barra de cores construída, também foram definidos os títulos e fontes para os eixos horizontais e verticais da imagem. A Figura 54 apresenta o algoritmo construído para personalizar e armazenar o produto.



```

220 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
221 %Armazenando Produto em Formato de Imagem %
222 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
223 %Inserir Grades de Coordenadas
224 set(gca,'XGrid','on');
225 set(gca,'YGrid','on');
226 set(gca,'YTickLabel',pontosYLabel);
227 set(gca,'YTick',pontosY);
228 set(gca,'XTickLabel',pontosXLabel);
229 set(gca,'XTick',pontosX);
230
231 %Inserir Titulos para os Eixos X e Y
232 set(gca,'FontSize',20);
233 xlabel('Longitude','FontSize',18);
234 ylabel('Latitude','FontSize',18);
235
236 %Inserir Barra de Cores na Figura
237 BarraCor=colorbar('South');
238 xlabel(BarraCor,unidade); %label da unidade fisica
239
240 %Armazenar Imagem
241 set(f, 'papertype','A5', 'paperpositionmode','auto');
242 nomeArquivo=strcat(data,'_',produto,'.png');
243 print(nomeArquivo);
244 close(f);
245
246 end %fim da funcao CriarProduto

```

Figura 54. Algoritmo para armazenamento do produto de monitoramento ambiental.

No Octave todo objeto gráfico tem um conjunto de propriedades associadas a ele e relacionadas à cor, tamanho, posição, etc. No momento de criação, para cada objeto é associado um atributo denominado *handle*, uma vez conhecido tal atributo, suas propriedades podem ser alteradas. A variável *gca* representa o *handle* para os eixos atuais da imagem. Os atributos relacionados a ele foram configurados através da função *set*. Os atributos *XGrid* e *YGrid* representam a grade para os eixos da imagem, seu valor padrão é *off* (desligado), através da função *set*, e foram configurados para o valor *on* (ligado). Em seguida foram configurados os valores para os atributos *Ticks* e *TickLabel*, que receberam as coordenadas geográficas e coordenadas da imagem que foram calculadas na etapa anterior. O tamanho das fontes do texto exibido nos eixos foi configurado através do atributo *FontSize*. As funções *xlabel* e *ylabel* inseriram os rótulos nos eixos com as palavras “Latitude” e “Longitude”.

A barra de cores foi inserida através da função *colorbar*, e o seu posicionamento foi estabelecido como “South”, o que indicou abaixo da imagem. Associou-se a ela o *handle BarraCor* para que fosse possível manipular seus

atributos e então, como rótulo da barra de cores, através da função *set*, foi associado à unidade física do produto.

O nome do arquivo foi definido segundo a terminologia, *DATA\_PRODUTO*, onde *DATA* é referente à data da obtenção da imagem, e *PRODUTO* ao identificador do produto que foi processado. Em seguida, a imagem foi salva em arquivo de imagem no formato PNG, através da função *print*. A partir das etapas descritas, foram processados os produtos para o monitoramento ambiental através dos dados disponibilizados pelo LSA SAF.

Seguindo-se os objetivos específicos deste trabalho, as próximas etapas da metodologia envolvem o processamento dos dados para o monitoramento oceanográfico a partir de um produto de TSM.

### 3.7 Processamento dos produtos para o monitoramento oceanográfico

Para os produtos disponibilizados pelo O&SI SAF foi processada a temperatura da superfície do oceano, através dos cortes setoriais denominados LML e MAP, que foram recebidos em intervalos de 3 e 12 horas, respectivamente, e codificados no formato GRIB (GRIdded Binary).

O produto para TSM de 3 horas, LML (Low and Mid Latitudes) cobre áreas em baixas e médias latitudes, e são derivados dos dados dos satélites GOES-Leste sobre a região oeste do oceano Atlântico e do satélite MSG sobre a região leste do oceano Atlântico. O produto TSM de 12 horas, MAP (Merged Atlantic Products), é derivado a partir dos mesmos satélites citados anteriormente, entretanto para latitudes altas (acima de 60N) são utilizados os dados do NOAA/AVHRR como complemento para cobrir toda a área do oceano Atlântico. (O&SI SAF, 2006). As características geográficas dos produtos são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Produtos disponibilizados pelo OSI SAF, considerados no trabalho, e suas características. Adaptado de: O&SI SAF, (2006) p. 21.

Produto	Projeção	Resolução	Tamanho		Limites Geográficos			
			Linhas	Colunas	Norte	Sul	Leste	Oeste
<b>LML</b>	Eqüidistante*	0.1 Graus	1201	1451	60	60	45	100
<b>MAP</b>	Eqüidistante*	0.1 Graus	1500	1451	89.9	60	45	100

\*Projeção cilíndrica eqüidistante para latitude e longitude com resolução de  $0.1^\circ \approx 10$  km.

Semelhantemente aos produtos anteriores foram elaborados scripts do Octave, contendo algoritmos para processá-los, ma, como pode se perceber na tabela anterior, estes possuíam características que os diferem dos dados brutos do

MSG, não sendo possível reaproveitar os scripts que foram anteriormente desenvolvidos, sendo que, foi necessário desenvolver scripts específicos para processar estes produtos.

Para realizar a leitura do arquivo no formato GRIB, utilizou-se a função *loadgrib*, que foi desenvolvida por Barth, (2006) e disponibilizada gratuitamente. Originalmente essa função foi desenvolvida para realizar a leitura de dados de modelos numéricos de previsão distribuídos no formato GRIB, mas percebeu-se que a sua utilização poderia ser estendida para realizar a leitura dos dados provenientes do O&SI SAF, uma vez que o padrão especificado pela WMO foi adotado.

Para realizar a geo-localização de pontos nesse produto, foi necessário escrever duas funções de geo-localização através de uma relação linear entre os *pixels* da imagem e as coordenadas geográficas, esta relação encontra-se documentada em (O&SI SAF, 2006). Houve a elaboração de uma tabela de cores com o objetivo de realçar os valores de TSM no intervalo de 26°C a 33°C.

A visão geral das etapas e os scripts desenvolvidos para processar estes dados são apresentados no fluxograma contido na Figura 55.

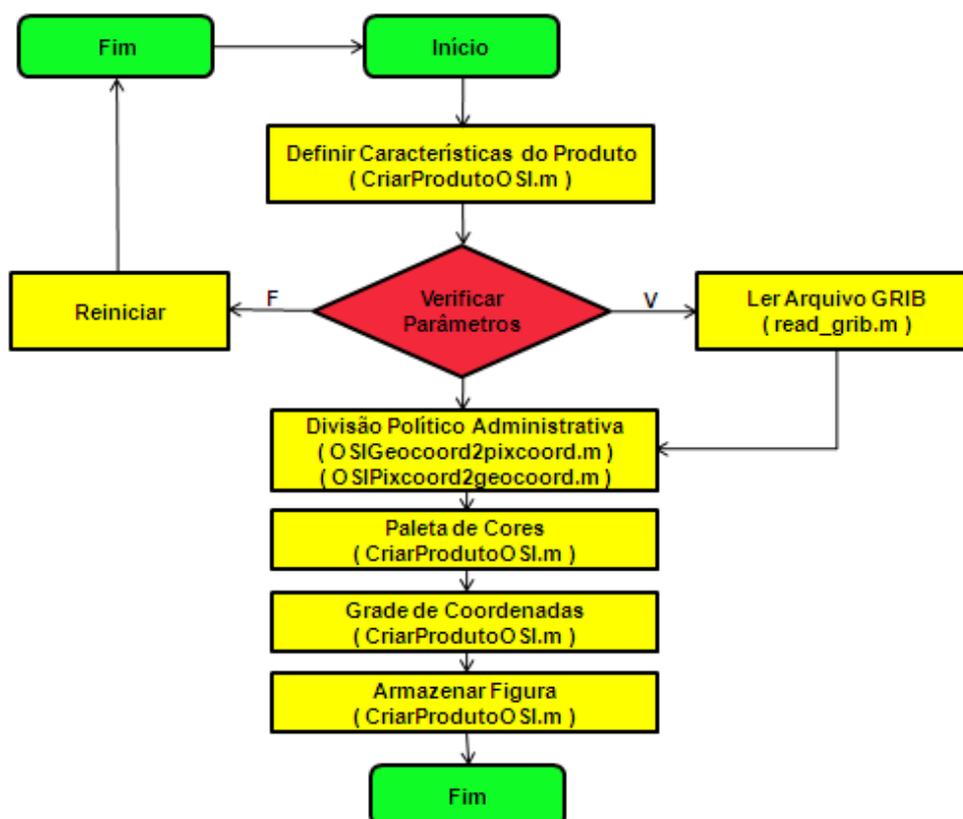
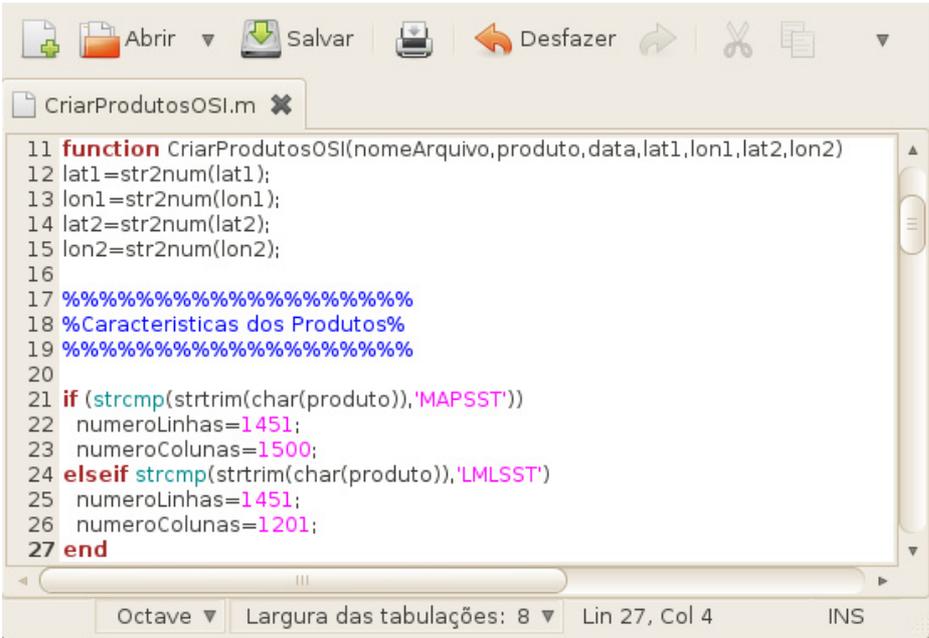


Figura 55. Fluxograma das etapas do processamento dos produtos de monitoramento oceanográfico.

O script *CriarProdutosOSI.m* foi o principal responsável em processar os dados, sendo que a maioria das etapas descritas no fluxograma acima foram escritas na forma de algoritmos neste script. Ele recebeu como parâmetro de entrada o nome do arquivo no formato GRIB, o nome do produto e dois pares de coordenadas geográficas que representaram o corte setorial que pode ser feito na imagem. Estas variáveis definiram as características do produto que foi processado, principalmente com relação aos limites geográficos e o tamanho da imagem que foi construída.

A Figura 56 apresenta o algoritmo responsável por definir as características do produto, no caso de algum parâmetro de entrada possuir valores inconsistentes, sendo assim o fluxo do processamento é reiniciado.



```

11 function CriarProdutosOSI(nomeArquivo,produto,data,lat1,lon1,lat2,lon2)
12 lat1=str2num(lat1);
13 lon1=str2num(lon1);
14 lat2=str2num(lat2);
15 lon2=str2num(lon2);
16
17 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
18 %Caracteristicas dos Produtos%
19 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
20
21 if (strcmp(strtrim(char(produto)),'MAPSST'))
22     numeroLinhas=1451;
23     numeroColunas=1500;
24 elseif strcmp(strtrim(char(produto)),'LMLSST')
25     numeroLinhas=1451;
26     numeroColunas=1201;
27 end

```

Figura 56. Algoritmo do script *CriarProdutosOSI.m* para a definição das características do produto.

A função *str2num* fez a conversão das coordenadas geográficas em formato de texto para o formato numérico, pois ao decorrer do processamento estes valores foram utilizados para realização do corte setorial na imagem.

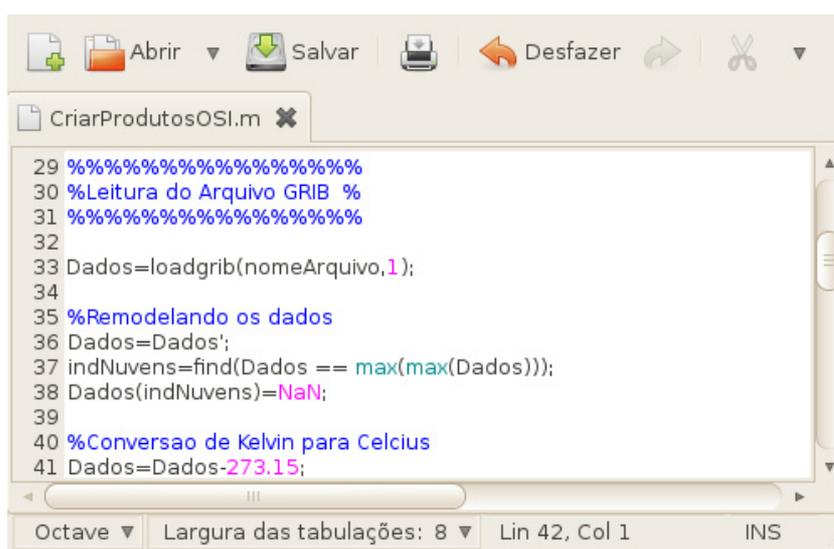
Em seguida o algoritmo verificou se o produto que foi processado pertence ao corte setorial LML ou MAP, definindo de acordo com os dados da tabela anterior o tamanho da imagem que foi processada.

A próxima etapa envolveu realizar a leitura do arquivo de dados, onde se encontrou a matriz com as unidades físicas do produto de TSM.

### 3.7.1 Leitura do arquivo GRIB

O GRIB é um formato de dados matematicamente conciso, padronizado pela WMO, comumente utilizado para o armazenamento de dados meteorológicos de previsão fornecidos pelos modelos numéricos. Atualmente, existem três versões do formato GRIB. A primeira versão, conhecida como edição zero, foi usada de forma limitada e não está mais em uso operacional. A primeira edição é utilizada pela maioria dos centros operacionais meteorológicos para armazenamento dos resultados dos modelos numéricos. Uma nova geração foi introduzida, conhecida como GRIB de segunda edição, sendo que os dados de outras versões estão mudando para este formato. Esta ultima edição do formato GRIB foi utilizada para disponibilizar os produtos O&SI SAF distribuídos pelo sistema EUMETCast. A leitura de arquivos no formato GRIB foi realizada através da função *loadgrib* para o software Octave que foi desenvolvida por Barth, (2006) com suporte a vários modos para a leitura dos dados, permitindo desde a extração de registros individuais até a extração de um inventário completo do conteúdo do arquivo.

Em termos práticos, instalou-se a biblioteca no Octave de acordo com os procedimentos documentados Barth, (2006) e em seguida foi feito a leitura do arquivo, identificando-se também, os dados e os metadados contidos no arquivo. A Figura 57 ilustra o algoritmo usado para realizar a leitura, construído como parte do script *CriarprodutosOSI.m*,



```
29 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
30 %Leitura do Arquivo GRIB %
31 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
32
33 Dados=loadgrib(nomeArquivo,1);
34
35 %Remodelando os dados
36 Dados=Dados';
37 indNuvens=find(Dados == max(max(Dados)));
38 Dados(indNuvens)=NaN;
39
40 %Conversao de Kelvin para Celcius
41 Dados=Dados-273.15;
```

Figura 57. Algoritmo para leitura de arquivos formato GRIB.

A função *loadgrib* recebeu como parâmetro de entrada o nome do arquivo, através da variável *nomeArquivo* e um segundo parâmetro que indicou o registro que foi lido, nesse caso, o valor indicado por “1” representou a leitura completa do arquivo, incluindo-se todos os seus registros. O resultado da leitura foi armazenado na variável *Dados*, que é uma matriz contendo os *pixels* do arquivo GRIB que constituem o produto de TSM.

Considerando que a matriz dos dados deve ser representada em formato bidimensional com a dimensão adequada ao produto, foi usado o operador apóstrofo ('), disponível no Octave para realizar a transposição de matrizes. Isso foi necessário, pois a função *loadgrib* utilizada anteriormente realizou uma rotação na matriz que inverteu os seus eixos.

Segundo a definição do produto, encontrada em O&SI SAF (2006), os *pixels* referentes a nuvens possuem os valores máximos na matriz de dados. Seus índices lineares foram localizados, através da função *find* e armazenados na variável *indNuvens*, e em seguida adotou-se o valor *NaN (Not a Number)* para representar este *pixels*, que nas etapas posteriores será associado a cor branca para representá-los. Os valores de TSM originalmente são representados em escala Kelvin, mas, para a exibição dos produtos processados neste trabalho, eles foram convertidos para valores da escala de graus Celsius.

A próxima etapa do processamento envolveu a modelagem das equações que estabelecem as relações necessárias para se realizar a geo-localização de pontos na imagem, sendo esta etapa essencial para que fosse possível elaborar a divisão político-administrativa para o produto.

### 3.7.2 Geo-localização e divisão político-administrativa

Os produtos de TSM são disponibilizados na projeção cilíndrica eqüidistante. Nesse tipo de projeção existe uma relação linear entre os *pixels* da imagem e as coordenadas geográficas. Em O&SI SAF (2006), encontram-se as equações que estabelecem esta relação e que são apresentadas a seguir, a equação (25) foi usada para o produto LML

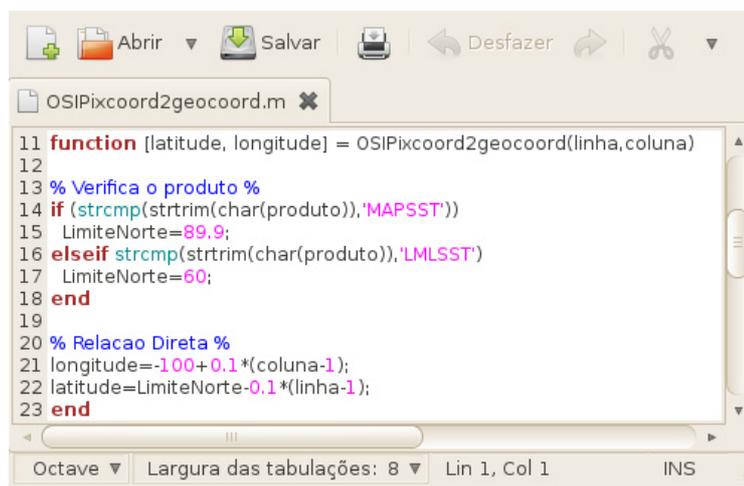
$$\begin{aligned} \textit{Longitude} &= -100 + 0.1(\textit{coluna} - 1) \\ \textit{Latitude} &= 60 - 0.1(\textit{linha} - 1) \end{aligned} \tag{25}$$

E a equação (26) para o produto MAP,

$$\begin{aligned} \text{Longitude} &= -100 + 0.1(\text{coluna} - 1) \\ \text{Latitude} &= 89.9 - 0.1(\text{linha} - 1) \end{aligned} \quad (26)$$

Percebe-se que estas equações estabelecem uma relação direta entre as coordenadas geográficas e as coordenadas da imagem, sendo que, o inverso destas equações, por sua vez, estabelece a relação inversa.

Elas foram modeladas na forma de algoritmos em dois scripts do Octave, o primeiro, *OSIPixcoord2geocoord.m*, fez a conversão de coordenada geográfica para coordenada de imagem sendo o algoritmo ilustrado na Figura 58.



```

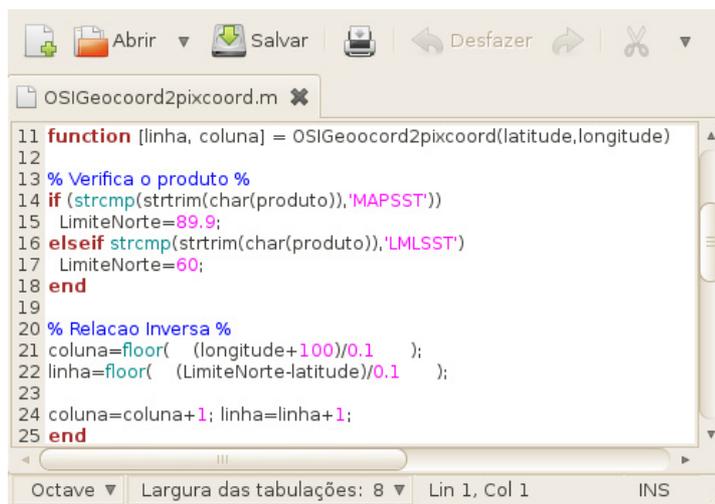
11 function [latitude, longitude] = OSIPixcoord2geocoord(linha,coluna)
12
13 % Verifica o produto %
14 if (strcmp(strtrim(char(produto)), 'MAPSST'))
15     LimiteNorte=89.9;
16 elseif strcmp(strtrim(char(produto)), 'LMLSST')
17     LimiteNorte=60;
18 end
19
20 % Relacao Direta %
21 longitude=-100+0.1*(coluna-1);
22 latitude=LimiteNorte-0.1*(linha-1);
23 end

```

Figura 58. Algoritmo de transformação de coordenadas da imagem para coordenadas geográficas.

Ele recebeu como parâmetros de entrada a linha e coluna da imagem e retornou como parâmetro de saída a latitude e longitude correspondente. Percebe-se que nas equações (25) e (26) a única diferença está no valor do limite ao norte da imagem, sendo que no início do algoritmo o produto é verificado e para cada produto utilizou-se o seu respectivo limite geográfico. Em seguida foi modelada a equação que estabelece a relação direta.

A função do script *OS/Geocoord2pixcoord.m* foi realizar o processo inverso, ou seja, através das coordenadas geográficas, determinar as coordenadas da imagem, para tal, modelaram-se a inversa das equações (25) e (26) no algoritmo contido neste script, que é ilustrado na Figura 59,



```

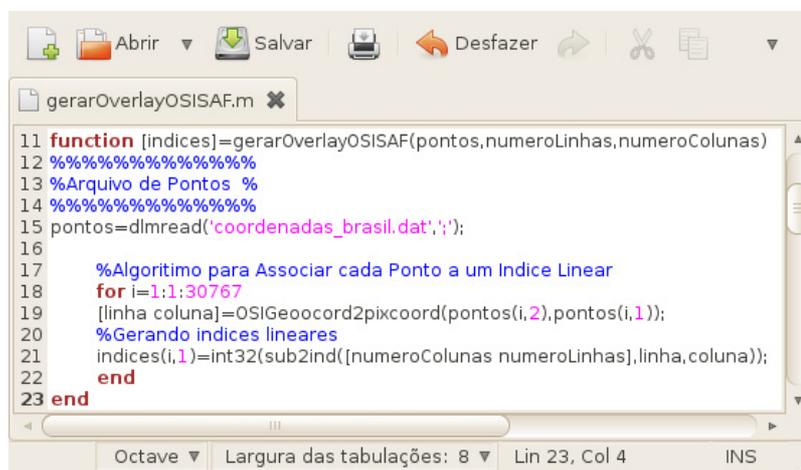
11 function [linha, coluna] = OSIGeocord2pixcoord(latitude,longitude)
12
13 % Verifica o produto %
14 if (strcmp(strtrim(char(produto)), 'MAPSST'))
15     LimiteNorte=89.9;
16 elseif strcmp(strtrim(char(produto)), 'LMLSST')
17     LimiteNorte=60;
18 end
19
20 % Relacao Inversa %
21 coluna=floor( (longitude+100)/0.1 );
22 linha=floor( (LimiteNorte-latitude)/0.1 );
23
24 coluna=coluna+1; linha=linha+1;
25 end

```

Figura 59. Algoritmo de transformação de coordenadas geográfica para coordenadas de imagem.

Ele recebeu como parâmetros de entrada as coordenadas geográficas de um ponto na imagem e retornou como parâmetro de saída as coordenadas da imagem, no formato, linha e coluna correspondente. Da mesma forma que o algoritmo anterior, foi verificado os limites geográficos do produto, e em seguida, calculou-se a relação inversa que determinou as coordenadas da imagem. A função *floor* recebeu um valor real e retornou o seu inteiro mais próximo, de forma a considerar as coordenadas geográficas com precisão de uma casa decimal.

Semelhantemente aos dados brutos do MSG, foi calculada a divisão político-administrativa para os produtos de TSM. Para isso utilizou-se o mesmo conjunto de pontos que delimitaram os limites continentais, dos países e dos estados brasileiros e foram descritos em 3.5.6. O script *gerarOverlayOSISAF.m* foi responsável em transformar esses pontos em índices lineares da imagem. A Figura 60 ilustra o seu funcionamento.



```

11 function [indices]=gerarOverlayOSISAF(pontos,numeroLinhas,numeroColunas)
12 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
13 %Arquivo de Pontos %
14 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
15 pontos=dlmread('coordenadas_brasil.dat',';');
16
17 %Algoritmo para Associar cada Ponto a um Indice Linear
18 for i=1:1:30767
19     [linha coluna]=OSIGeocord2pixcoord(pontos(i,2),pontos(i,1));
20     %Gerando indices lineares
21     indices(i,1)=int32(sub2ind([numeroColunas numeroLinhas],linha,coluna));
22     end
23 end

```

Figura 60. Algoritmo para elaboração da divisão político-administrativa para os produtos de monitoramento oceanográfico.

A função *d1mread* realizou a leitura do arquivo contendo os pontos fornecidos pelo produto Malha Municipal Digital 2007, do IBGE, em conjunto com os pontos fornecidos pelo Coastline Extractor. Em seguida para cada ponto foi calculado os seus índices lineares, através da função *sub2ind*, eles foram armazenados na variável *indices*. Foram associadas duas variáveis de forma a diferenciar os índices pertencentes à superfície terrestre e a divisão político-administrativa, e posteriormente elas foram armazenadas na forma de arquivo, através da função *save*, com o nome *overlay\_osi\_saf.mat*.

Nessa etapa, foram criados os scripts necessários para realizar a geolocalização de pontos na imagem, e com isso foi possível além de construir a divisão política, ter o controle do produto, no que diz respeito a identificar se um determinado *pixel* refere-se às nuvens, superfície terrestre ou a divisão política. Na próxima etapa iniciaram-se os processamentos que caracterizaram o produto, de forma que uma tabela de cores foi associada a ele, destacando temperaturas de interesse a inserção da grade de coordenadas.

### 3.7.3 Escala de cores

Para os produtos O&SI SAF processados foi definida uma escala de cores, representada na Figura 61, de forma que além de associar os valores do domínio usados para seus *pixels* às cores da tabela, fosse possível realçar os valores de TSM no intervalo de 26°C a 33°C.



Figura 61. Escala de cores para os produtos O&SI SAF.

Os valores de TSM foram associados à escala em graus Celsius acima, sendo que, além disso, valores da escala superior a 45°C foram associados às cores adotadas para representar a superfície terrestre, as nuvens e a divisão político-administrativa. Este valor foi escolhido dado a sua inexistência como um *pixel* válido para o produto de TSM. A tabela de cores foi associada à imagem através da função *colorbar* e através da função *load* foi realizada a leitura do arquivo que contém a divisão política e armazenada em índices. Por fim, seus valores foram associados às cores da tabela de acordo com o algoritmo ilustrado na Figura 62.

```

45 %%%
46 %Overlay%
47 %%%
48 load overlay_osi_saf.mat
49 Dados(indContinente)=48; % Branco - LUT
50 Dados(indNuvens)=48; % Branco - LUT
51 Dados(indOverlay)=49; % Preto - LUT

```

Figura 62. Algoritmo para inserção da divisão política, e associação às cores da escala.

Para os índices lineares referentes à superfície terrestre e as nuvens, foram associadas à cor branca, enquanto para a divisão político-administrativa, a cor preta foi associada.

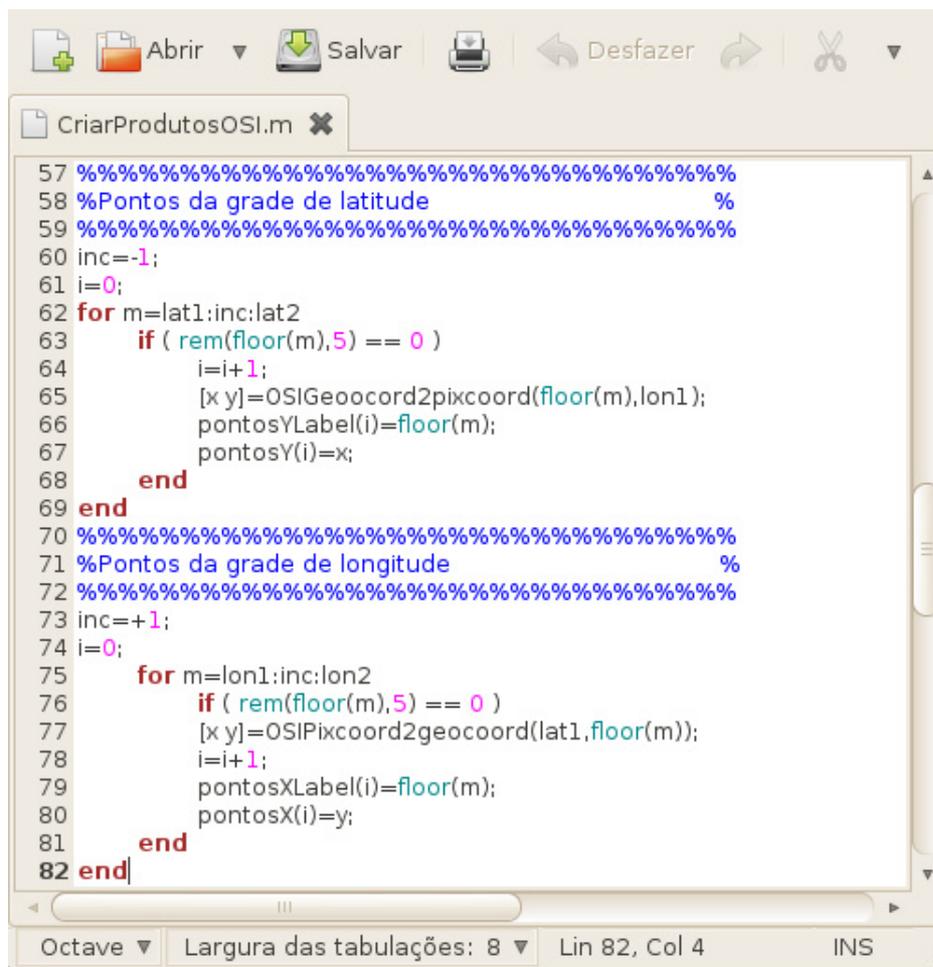
Semelhantemente aos produtos LSA SAF, uma grade de coordenadas geográficas foi definida para facilitar a identificação visual de áreas na imagem, sendo o processamento realizado detalhado a seguir.

### 3.7.4 Grade de coordenadas

O funcionamento do algoritmo dá-se através dos pontos que foram fornecidos para o corte retangular da imagem pelos parâmetros de entrada, latitude e longitude do ponto1. Identificaram-se as coordenadas iniciais que delimitariam a grade e elas foram incrementadas ate que se alcancem os valores finais, latitude e longitude do ponto2, sendo o intervalo definido de cinco graus.

Com a aplicação das funções *rem* e *floor* foi possível considerar as coordenadas de latitude e longitudes que são divisíveis pelo do valor da resolução da grade, e a cada interação do algoritmo elas foram armazenadas nas variáveis *pontosXLabel* e *pontosYLabel*, e então, foram calculados os endereços dos *pixels* em que foram desenhados através dos valores contidos em *x* e *y*, que foram armazenados em *pontosY* e *pontosX*.

A Figura 63 ilustra o algoritmo construído, percebendo-se semelhanças com o que foi apresentado para processar a grade de produtos LSA SAF. Basicamente houve reaproveitamento do seu código, com apenas algumas modificações, de forma a adaptá-lo para processar os dados OSI SAF.



```

57 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
58 %Pontos da grade de latitude %
59 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
60 inc=-1;
61 i=0;
62 for m=lat1:inc:lat2
63     if ( rem(floor(m),5) == 0 )
64         i=i+1;
65         [x y]=OSIGeoocord2pixcoord(floor(m),lon1);
66         pontosYLabel(i)=floor(m);
67         pontosY(i)=x;
68     end
69 end
70 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
71 %Pontos da grade de longitude %
72 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
73 inc=+1;
74 i=0;
75 for m=lon1:inc:lon2
76     if ( rem(floor(m),5) == 0 )
77         [x y]=OSIPixcoord2geocoord(lat1,floor(m));
78         i=i+1;
79         pontosXLabel(i)=floor(m);
80         pontosX(i)=y;
81     end
82 end

```

Figura 63. Algoritmo para construção da grade de coordenadas.

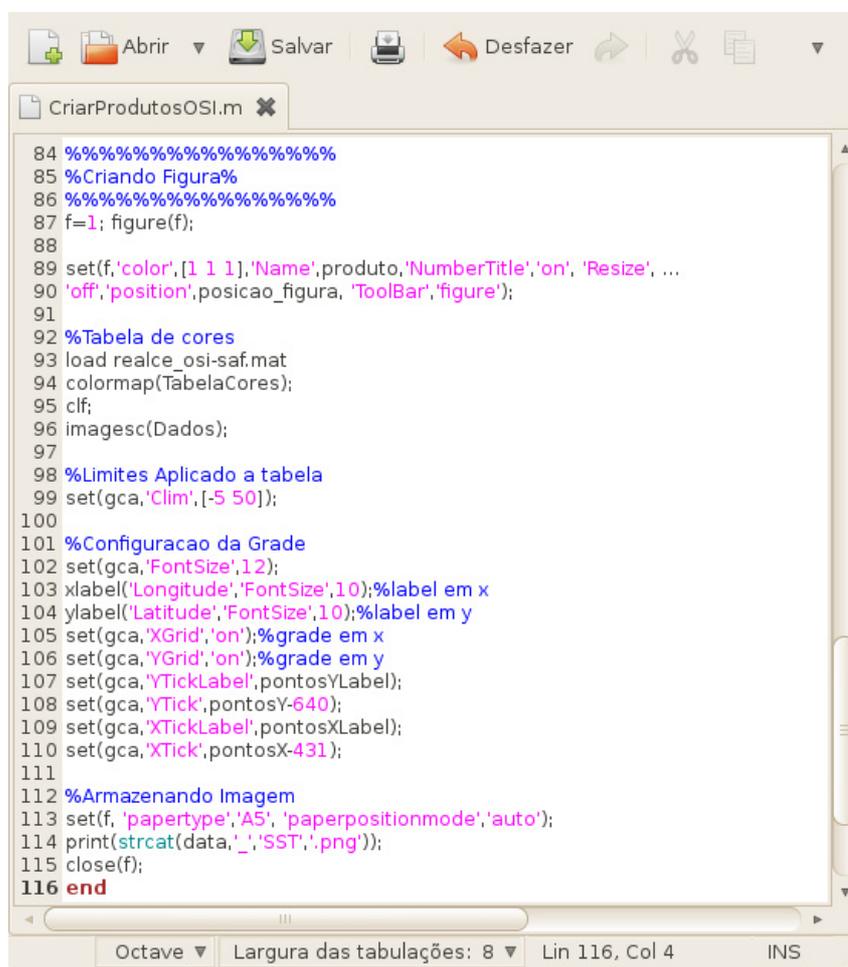
As modificações incluem a substituição das funções de geo-localização e a inexistência da operação de subtração para o armazenamento dos índices lineares que representam os *pixels* dos pontos de grade, que foram representados pelas variáveis *pontosX* e *pontosY*, que receberam seus índices lineares de forma direta através de *X* e *Y*. Isso deve-se ao fato de que a subtração onde considerou-se o corte retangular da imagem foi feita na etapa a seguir.

A próxima etapa teve o objetivo de armazenar o produto no formato de imagem digital, com a tabela de cores definida e a grade de coordenadas.

### 3.7.5 Armazenamento do produto para monitoramento oceanográfico

O algoritmo desta etapa utilizou as mesmas funções que foram aplicadas aos produtos do LSA SAF, sendo que foram feitas as configurações das propriedades do objeto gráfico, responsável por definir as características da imagem final e dos eixos que representaram a grade de coordenadas. Estas configurações

foram feitas através da aplicação da função *set* nas variáveis *f* e *gca*. A Figura 64 apresenta o algoritmo construído para o armazenamento dos produtos O&SI SAF.



```

84 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
85 %Criando Figura%
86 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
87 f=1; figure(f);
88
89 set(f,'color',[1 1 1],'Name',produto,'NumberTitle','on','Resize', ...
90 'off','position',posicao_figura,'ToolBar','figure');
91
92 %Tabela de cores
93 load realce_osi-saf.mat
94 colormap(TabelaCores);
95 clf;
96 imagesc(Dados);
97
98 %Limites Aplicado a tabela
99 set(gca,'Clim',[-5 50]);
100
101 %Configuracao da Grade
102 set(gca,'FontSize',12);
103 xlabel('Longitude','FontSize',10);%label em x
104 ylabel('Latitude','FontSize',10);%label em y
105 set(gca,'XGrid','on');%grade em x
106 set(gca,'YGrid','on');%grade em y
107 set(gca,'YTickLabel',pontosYLabel);
108 set(gca,'YTick',pontosY-640);
109 set(gca,'XTickLabel',pontosXLabel);
110 set(gca,'XTick',pontosX-431);
111
112 %Armazenando Imagem
113 set(f,'papertype','A5','paperpositionmode','auto');
114 print(strcat(data,'_','SST','.png'));
115 close(f);
116 end

```

Figura 64. Algoritmo para armazenamento dos produtos O&SI SAF.

A função *figure* criou o objeto gráfico, enquanto a função *set* atribuiu suas propriedades, configurando a cor de fundo da imagem, o nome do produto, e a sua posição na janela de visualização do Octave. Em seguida através da função *load* foi realizada a leitura da matriz que armazenou a tabela de cores, que foi aplicada no produto através da função *colormap*. Configuraram-se os limites das unidades de TSM exibidas no produto em um intervalo de -5°C a 50°C, através do *handle* indicado pela variável *gca*. A grade de coordenadas foi configurada através dos atributos *XGrid* e *YGrid*, que representam a grade para os eixos da imagem. Os valores para os atributos *Ticks* e *TickLabel* receberam as coordenadas geográficas e coordenadas da imagem que foram calculadas. O tamanho das fontes do texto exibido nos eixos foi configurado através do atributo *FontSize*. As funções *xlabel* e *ylabel* inseriram os rótulos nos eixos com as palavras “Latitude” e “Longitude”.

Concluindo-se o processamento do produto de TSM, a imagem foi salva em arquivo de imagem no formato PNG, através da função *print*.

.Para análise das unidades físicas e biofísicas provenientes dos dados processados foi desenvolvido uma ferramenta para construção de gráficos a partir dos arquivos nos formato HDF.

### 3.8 Ferramenta para construção de gráficos

O software GNUPlot foi utilizado para a construção dos gráficos, pois ele possui a característica de funcionar através de comandos, que por sua vez, foram organizados em scripts. Para a construção da série temporal, optou-se por dividir o processamento dos gráficos em dois arquivos. O primeiro arquivo teve os dados processados distribuídos em colunas, sendo que, a primeira coluna do arquivo foi reservada para a representação da série temporal, enquanto as demais colunas foram utilizadas para representação das unidades físicas, obtidas a partir da leitura dos dados. O segundo script definiu as características do gráfico, como por exemplo, limites, eixos e tipo de gráfico. Para a construção automatizada destes arquivos foram desenvolvidos os scripts do Octave *LerPixelHDF.m* e *GraficoPixelHDF.m*.

O primeiro script realizou a leitura do arquivo HDF, através da função *LerHDF5.m*, localizando através das funções de navegação apresentadas o *pixel* correspondente a uma dada coordenada geográfica. Para análise de uma área, o ponto localizado correspondeu ao *pixel* central de uma matriz quadrada, sendo assim análises estatísticas foram realizadas, incluindo-se a média, valores máximos e mínimos e desvio padrão dos *pixels* de uma área.

O script *GraficoPixelHDF.m* recebeu como parâmetro de entrada o nome do produto, o tamanho da matriz que representou a área estudada, e as coordenadas geográficas do *pixel* central, e como resultado do processamento, ele construiu o arquivos de dados e o gráfico através do software GNUPlot. A primeira parte do algoritmo é apresenta na Figura 65. O seu funcionamento consiste em abrir os arquivos HDF existentes em uma lista de arquivos e extraírem os *pixels* através de sua localização e escrever os seus valores em um arquivo de dados no formato CSV (Comma-Separated Values).

```

7 function GraficoPixelHDF(produto,tamanho_matriz,lat,lon)
8 %Arquivos de Resultado
9 nomeArqDados=strcat('grafico_',lat_',num2str(lat),'_lon_',num2str(lon),'_csv');
10 nomeArqPlot=strcat('grafico_',lat_',num2str(lat),'_lon_',num2str(lon),'_plot');
11 nomeArqSVG=strcat('grafico_',lat_',num2str(lat),'_lon_',num2str(lon),'_svg');
12 arqDados = fopen(nomeArqDados,'w'); arqPlot = fopen(nomeArqPlot,'w');
13
14 %Lista dos Arquivos HDF
15 [resultado saida]=system('ls H* -C1');
16 listaArquivos=strread(saida,'%s','delimiter',' ');
17 tamLista=size(listaArquivos);
18
19 fprintf(arqDados,'#Data UNIDADE_FISICA\n');
20 for x=1:1:tamLista(1)
21 %Ler Cada Arquivo da Lista
22 [mLatitude mLongitude matrizResultado maximo minimo media desvio status],...
23 =lerPixelHDF(listaArquivos {x} ,produto,tamanho_matriz,lat,lon);
24
25 %Desagrupar nome do arquivo, para pegar a data
26 nome_arquivo=strread(listaArquivos {x} ,'%s','delimiter',' ');
27 tam_nome=size(nome_arquivo); data_tmp=nome_arquivo(tam_nome(1));
28 data_arquivo=str2mat(data_tmp); ano=data_arquivo(1:4); mes=data_arquivo(5:6); dia=data_arquivo(7:8);
29
30 %armazena matriz de pontos no arquivo em formato CSV
31 tamMatriz=size(matrizLatitude);
32 for y=1:1:tamMatriz(1)
33 for z=1:1:tamMatriz(1)
34 fprintf(arqDados,'%s\t%f\n',datestr(datenum(str2num(ano),...
35 str2num(mes),str2num(dia))),matrizResultado(y,z));
36 end
37 end
38 end

```

Figura 65. Algoritmo do script para construção de gráficos.

Inicialmente, o nome dos arquivos referentes aos dados, ao script do GNUPlot e ao gráfico em formato de imagem foram atribuídos através da função *strcat*, e definiu-se que para cada gráfico elaborado seu nome estaria associado a coordenada geográfica do ponto considerado, e em seguida os arquivos foram criados através da função *fopen*.

Uma listagem dos arquivos HDF foi realizada através da utilização do comando do sistema Linux para listagem de arquivos. Assim, o comando “*ls H\* -C1*” realizou a listagem com saída no formato de coluna, de todos os arquivos encontrados, cujo nome iniciou com o caractere “H” e posteriormente, a lista foi formatada através da função *strread* e armazenada na variável *listaArquivos*.

Para cada arquivo da lista foi feita a leitura do *pixel* localizado através do script *LerPixelHDF.m*, e em seguida foi feita a leitura da data pertinente a cada arquivo, ela foi desagrupada em ano, mês e dia, através das funções *strread* e *str2mat*, e então foi realizado o armazenamento das datas processadas e das unidades físicas, contidas na variável *matrizResultado*, no respectivo arquivo de

dados segundo o formato CSV através da função *fprintf*. Em vista disso o delimitador escolhido foi o de tabulação, indicado pelos caracteres “\t” no algoritmo construído.

A Figura 66 apresenta a segunda parte do script construído, onde foi feito a construção do algoritmo que definiu as características dos gráficos, e a chamada ao software GNUPlot.

```

41 fprintf(arqPlot,'#Gráficos de Produtos em GNUPLOT LINUX - LAPIS/ICAT/UFAL\n');
42 fprintf(arqPlot,'#Autor: Ivon Wilson Jr. - ivon.ws@gmail.com\n');
43 fprintf(arqPlot,'set title "PRODUCT: %s - PIXEL LOCATION: lat=%f / lon=%f - LAPIS/ICAT/UFAL\n',produto,lat,lon);
44 fprintf(arqPlot,'set xlabel "Month" \n'); %titulo eixo x
45 fprintf(arqPlot,'set ylabel "%s" \n',produto); %titulo eixo y
46 fprintf(arqPlot,'set grid y\n'); %grade eixo x
47 fprintf(arqPlot,'set grid x\n'); %grade eixo y
48 fprintf(arqPlot,'set xdata time\n'); %formatacao de data no eixo x
49 fprintf(arqPlot,'set timefmt "%d-%b-%Y"\n');
50 fprintf(arqPlot,'set format x "%b"\n'); %como vai ser exibido no eixo x
51 fprintf(arqPlot,'set terminal svg \n'); %salvar em arquivo svg
52 fprintf(arqPlot,'set datafile missing "NaN" \n'); %caso nao haja algum valor no CSV
53 fprintf(arqPlot, strcat('set output "', nomeArqSVG, ".\n")); %nome do arquivo
54
55 %extraindo as datas do primeiro e do ultimo arquivo
56 nome_arquivo=strread(listaArquivos{1}, '%s','delimiter',' '); %primeira data da lista
57 tam_nome=size(nome_arquivo); data_tmp=nome_arquivo(tam_nome(1));
58 data_arquivo=str2mat(data_tmp); anoInicial=data_arquivo(1:4);
59 mesInicial=data_arquivo(5:6); diaInicial=data_arquivo(7:8);
60 nome_arquivo=strread(listaArquivos{tamLista(1)}, '%s','delimiter',' '); %ultimo data da lista
61 tam_nome=size(nome_arquivo); data_tmp=nome_arquivo(tam_nome(1));
62 data_arquivo=str2mat(data_tmp); anoFinal=data_arquivo(1:4);
63 mesFinal=data_arquivo(5:6); diaFinal=data_arquivo(7:8);
64
65 %Comando para desenhar o grafico no GNUPlot, a chamada da funcao 'plot'
66 fprintf(arqPlot, strcat('plot ["%s"; "%s"] "', nomeArqDados, "' using 1:2 title \"%s\" with points, \"',...
67 nomeArqDados, "' using 1:2 smooth csplines title \"smooth splines\" with lines\n'),...
68 datestr(datetime(str2num(anoInicial), str2num(mesInicial), str2num(diaInicial))),...
69 datestr(datetime(str2num(anoFinal), str2num(mesFinal), str2num(diaFinal))), produto); %nome do arquivo
70
71 %Fechando arquivos e executando GNUPlot
72 fclose(arqDados); fclose(arqPlot); comando=['gnuplot ' nomeArqPlot];
73 system(comando);

```

Figura 66. Continuação do algoritmo para construção de gráficos.

Através da função *fprintf*, foram feitas as configurações dos parâmetros do GNUPlot necessários para determinação da característica do gráfico, eles foram escritos no arquivo representado pela variável *arqPlot*. Inicialmente foi definido o título principal do gráfico através do comando *title*, e os rótulos para os eixos x e y através dos comandos *xlabel* e *ylabel*, também foi habilitada a grade de visualização na área do gráfico através do comando *grid*, e a formatação dos parâmetros de datas foram feitas através dos comandos *xdata* e *timefmt*.

Definiu-se que o gráfico construído seria armazenado no formato SVG (Scalable Vector Graphics), que é um padrão para descrever gráficos vetoriais bidimensionais, sua principal característica dar-se ao fato de que linhas e curvas são descritas matematicamente e não através de *pixels*, sendo que elas não perdem qualidade visual ao serem ampliadas (zoom). O nome do arquivo de gráfico foi

definido através do comando *output*, bem como As datas iniciais e finais foram extraídas da lista de arquivos e delimitaram o início e o fim das séries temporais. Em seguida, foi utilizado o principal comando do GNUPlot, responsável por construir o gráfico resultante, comando *plot*, que recebeu parâmetros que indicaram que o gráfico seria gerado com os dados proveniente do script de dados em um layout de duas colunas, utilizando-se pontos para representar seus valores e uma curva aproximada da série temporal obtida através do método de interpolação por *splines cúbicas*.

A técnica de interpolação por *splines cúbicas*, documentada em Boor, (2001) é muito popular devido a sua baixa complexidade computacional. O seu método se baseia na utilização de vários polinômios de terceira ordem, cada um definido em subintervalos, os quais se conectam por suas extremidades. Esses polinômios são calculados de forma que as derivadas coincidam nas extremidades dos subintervalos adjacentes, permitindo uma aparente suavidade do sinal obtido. Ao término do processamento, o GNUPlot foi executado através da função *system*, originando-se dessa forma os gráficos que representaram as séries temporais a partir dos dados dos arquivos da lista.

A seguir, é apresentado o sistema de visualização que foi desenvolvido para disponibilizar os produtos processados em ambiente de internet de forma que usuários geograficamente distribuídos tivessem acesso aos produtos processados.

### **3.9 Sistema de visualização, animação e banco de imagens**

Os sistemas que usam a plataforma WEB têm sido amplamente utilizados na disseminação de informações em centros operacionais, universidades e instituições que utilizam dados meteorológicos para fins de ensino e pesquisa. Um dos benefícios do ambiente WEB está relacionado à familiaridade que os usuários percebem ao se deparar com um cenário bastante utilizado que é a internet.

Do ponto de vista computacional, estes sistemas possuem arquitetura centralizada, sendo que em termos práticos, com a instalação do sistema em um único computador, denominado servidor, os demais computadores, denominados clientes, podem estar geograficamente distribuídos e acessar o sistema disponibilizado em um ambiente de intranet ou internet.

Existem várias propostas para o desenvolvimento de sistemas de visualização de imagens, logo, a adotada neste trabalho fez o uso do Linux como sistema operacional, o Apache como servidor da aplicação, em conjunto com a linguagem PHP. Esta combinação de softwares e linguagens de programação foram suficientes para o desenvolvimento das páginas WEB dinâmicas, que fizeram a apresentação dos resultados obtidos no processamento dos produtos na forma de imagens estáticas e animações. Os requisitos com relação à funcionalidade do sistema de visualização foram: a) Visualização e animação das imagens do MSG para o Globo Terrestre, da América do Sul e do estado de Alagoas; b) Visualização de imagens referentes aos produtos para monitoramento ambiental e oceanográfico; c) Banco de imagens para recuperação dos dados processados e d) Controle de acesso de usuários. Em (a) as imagens foram exibidas por um sistema de animação em tempo quase-real, onde cada cena é constituída por nove imagens que representam o estado da atmosfera nas ultimas duas horas de observação. Em (b) as imagens são processadas de acordo com a resolução temporal e disponibilidade do produto. O banco de imagens (c) permitiu o acesso aos produtos processados, porém deve se levar em consideração à disponibilidade de espaço físico de armazenamento para as imagens.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos através do emprego operacional das aplicações construídas neste trabalho. Enfatizou-se desde a recepção dos dados a etapas como a decodificação, calibração, geo-localização, projeção a visualização das imagens e dos produtos processados. De forma a valorizar as características dos produtos, evidenciou-se o ganho que o processamento realizado trouxe a eles, sendo que alguns exemplos são apresentados destacando-se sua aplicação em possíveis fenômenos habitualmente observados nas imagens recebidas em uma estação de recepção EUMETCast, porém, vale ressaltar que as análises apresentadas não tiveram o interesse de examinar os fenômenos meteorológicos em sua totalidade.

Durante a realização deste trabalho, foram armazenados os dados recebidos através do sistema EUMETCast no período entre 2008 a 2010. Em caráter operacional, foram realizados os processamentos dos dados brutos do MSG destinados ao monitoramento meteorológico durante o período citado. Para os produtos de monitoramento ambiental os dados foram processados no período de 2008 a 2009 e para os produtos de monitoramento oceanográfico no período entre 2009 a 2010. Os resultados foram armazenados em um banco de dados para que os órgãos operacionais de meteorologia pudessem recuperá-los através do site do LAPIS pelo endereço [www.lapismet.com](http://www.lapismet.com).

Para o seu bom funcionamento, o sistema necessitou de um acompanhamento periódico, de forma a monitorar a qualidade do sinal recebido pela antena, a recepção dos dados e os recursos computacionais disponíveis. Sendo assim, uma amostra do volume de dados que foram recebidos e processados pela estação EUMETCast instalada na UFAL é apresentada a seguir.

### **4.1 Volume de dados recebidos**

O acompanhamento da operação do sistema EUMETCast permitiu elaborar estatísticas que reportaram o volume de dados recebidos pela estação, dessa forma, foi possível planejar desde estratégias para o armazenamento dos dados até localizar possíveis falhas com relação a recepção devido a problemas

como falta de energia por longos períodos, sobrecarga com relação aos recursos computacionais ou possíveis manutenções dos serviços de disseminação dos dados.

A Figura 67 ilustra o volume de dados brutos do MSG recebidos entre o período de 01/03/2010 a 31/03/2010.

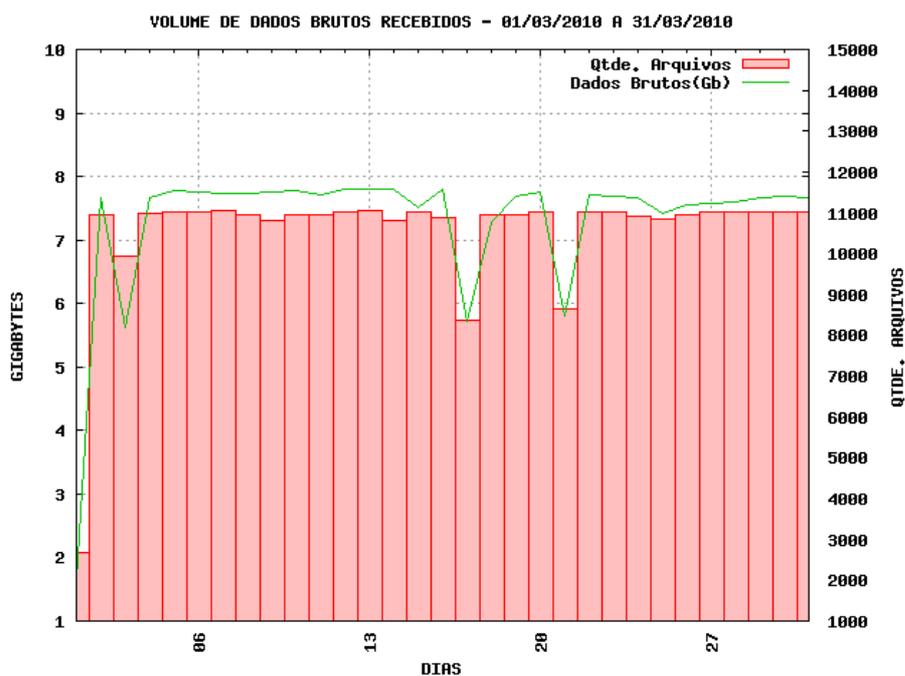


Figura 67. Volume de dados brutos recebidos em março de 2010.

Durante esse mês foram recebidos em média 7,29 GBytes/Dia em um fluxo de 10512 Arquivos/Dia correspondentes aos dados brutos do MSG. Percebe-se que nos dias 1, 3, 17 e 21 de março houve queda no volume dados recebidos. A partir de uma investigação detalhada, percebeu-se que a causa do problema estava relacionada à falta de energia durante algumas horas, o suficiente para desligar o computador destinado a recepção dos dados. Quando isso ocorreu houve a utilização do software UMARF para obter esses dados através de arquivamentos via FTP.

A Figura 68 ilustra o volume de dados LSA SAF para monitoramento ambiental, recebidos durante o mesmo período anterior.

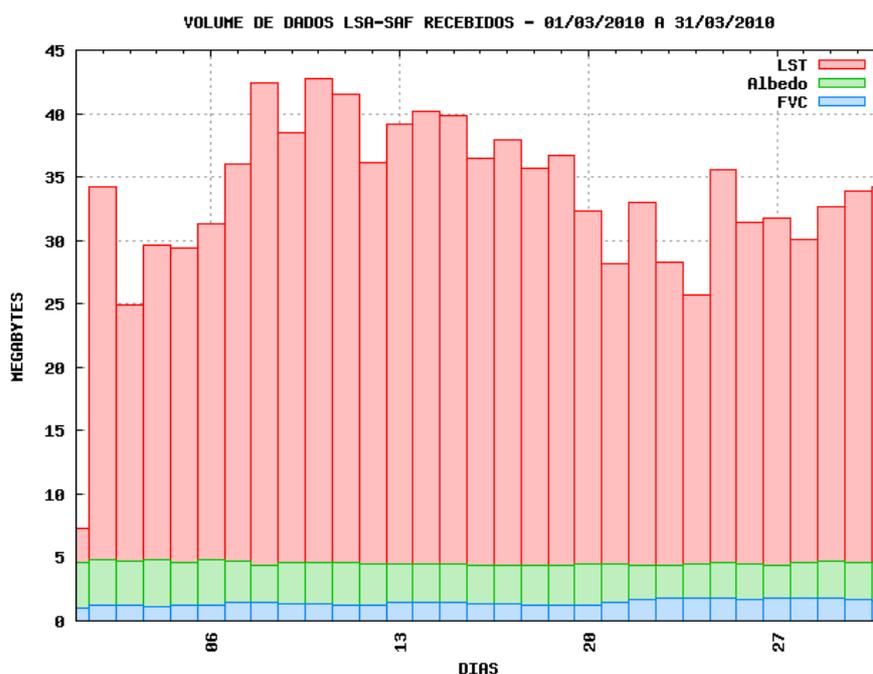


Figura 68. Volume de dados ambientais recebidos em março de 2010.

Para os dados de LST foram recebidos em média 33,46 MBytes/Dia em um fluxo de 90 Arquivos/Dia, mas, considerando sua resolução temporal de 15 minutos e levando em conta a interrupção da recepção pela falta de energia, percebe-se que houve uma perda de aproximadamente 9,6% dos dados. Para os dados de Albedo de superfície, foram recebidos em média 4,55 MBytes/dia e para os dados de FVC foram recebidos em média 1,43 MBytes/Dia. Considerando suas resoluções temporais o fluxo diário de dados foi satisfatório sendo adquirido um Arquivo/Dia resultando em um total de 100% dos arquivos recebidos durante o período considerado. Semelhantemente aos dados brutos, para preencher a lacuna percebida para os dados de LST foi utilizado o software UMARF.

A Figura 69 ilustra o volume de dados O&SI SAF para o monitoramento oceanográfico, recebidos entre o período de 01/03/2010 a 31/03/2010.

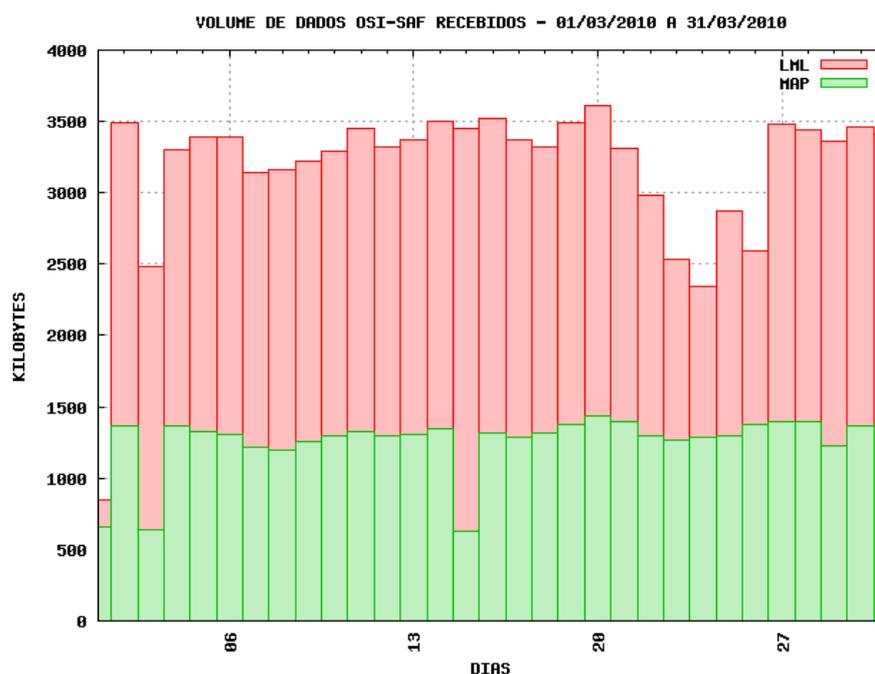


Figura 69. Volume de dados oceanográficos recebidos em março de 2010.

Para os dados de TSM corte setorial LML foram recebidos em média 3,10 MBytes/Dia em um fluxo de oito Arquivos/Dia. E para o corte setorial MAP, foram recebidos em média 1,23 MBytes/Dia em um fluxo de dois Arquivos/Dia. Observou-se queda no fluxo de arquivos nos dias 1, 3, e no período de 21 a 26 de março. Para os primeiros dias do mês o motivo da queda no fluxo de dados foi à falta de energia elétrica no computador destinado a recepção, enquanto na última semana de março houve manutenção no serviço de distribuição de dados pelo O&SI SAF. Os boletins de manutenção foram acompanhados através do endereço <http://www.osi-saf.org>.

## 4.2 Produtos processados para monitoramento meteorológico

Os exemplos apresentados a seguir, ilustram os resultados obtidos através da aplicação dos algoritmos e scripts construídos para o monitoramento meteorológico. Para uma imagem recebida no dia 18/08/2009 foram realizadas as etapas de descompactação dos dados brutos, leitura dos coeficientes de calibração e segmentos da imagem e a calibração radiométrica, em seguida foram feitos o armazenamento da imagem digital para o canal VIS006.

Foram omitidas as etapas de geo-localização e projeção da imagem com o objetivo de ilustrar uma imagem do MSG, através da Figura 70, da mesma forma que ela foi obtida pelo instrumento SEVIRI.



Figura 70. Canal VIS006 em projeção GEOS, imagem obtida em 18/08/2009 às 12:00 UTC.

A imagem acima está na projeção GEOS, com a dimensão de 3712x3712 *pixels*, mas sem a divisão político-administrativa. Percebe-se a área de cobertura do satélite MSG englobando os continentes da América do Sul, África e Europa o que oferece uma visão sinótica dos principais sistemas atmosféricos atuantes nessa região, como a zona de convergência intertropical (ZCIT) ciclones e anticiclones, frentes, massas de ar, corrente de jato bem como fenômenos de meso-escala como sistemas convectivos ou linhas de instabilidade, por exemplo.

No comprimento de onda desse canal, exibi-se a reflectância dos alvos observados, sendo que resposta da superfície terrestre é significativamente menor quando comparado aos outros canais do visível como VIS008 ou IR\_016, por isso exige-se um maior esforço visual para diferenciar a superfície terrestre dos oceanos por exemplo. Ainda assim, visualizando a mesma imagem em um canal como o IR\_016, onde a superfície terrestre teve uma resposta maior, e por conseqüência apareceu mais clara, ainda houve a limitação do olho humano em determinar qual a localização geográfica aproximada de um determinado sistema ou fenômeno meteorológico.

Nesse contexto, a Figura 71 apresenta a mesma imagem anterior, porém, no processamento que foi realizado para esta imagem, as etapas referentes à geolocalização e projeção da imagem não foram omitidas.

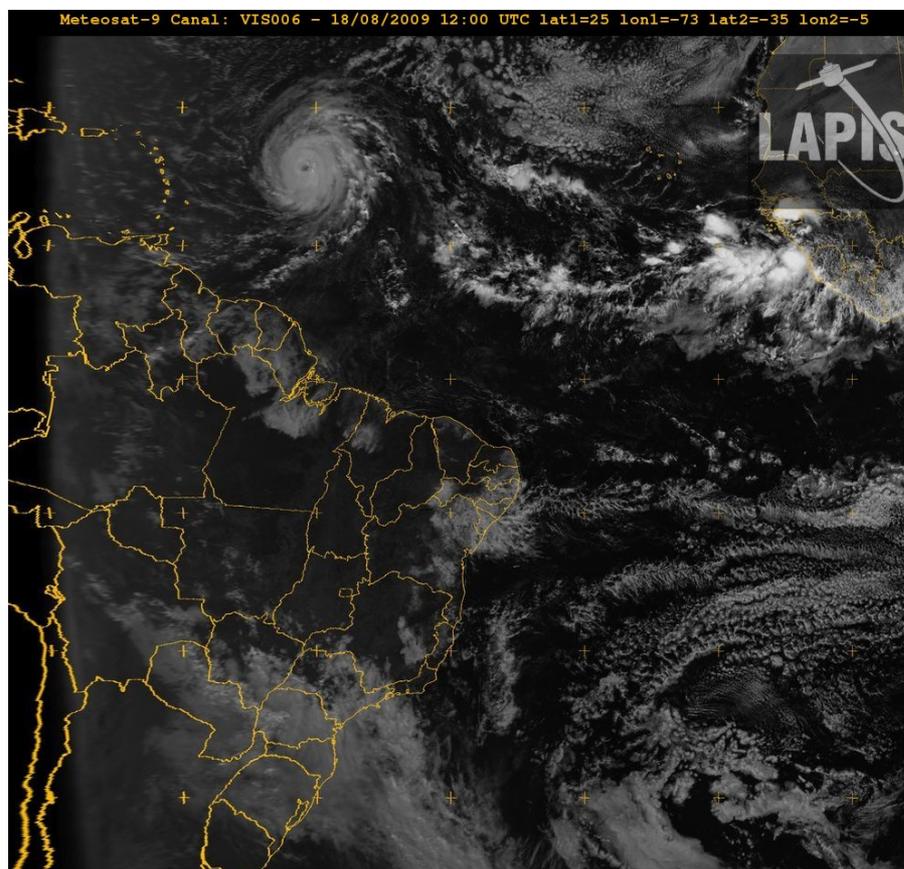


Figura 71. Canal VIS006 em projeção MERCATOR, imagem obtida em 18/08/2009 às 12:00 UTC.

A imagem acima está em projeção MERCATOR, em um corte retangular englobando as coordenadas (25°N; 73°O) para o canto superior esquerdo e (35°S; 5°O) para o canto inferior direito e possui a dimensão de 1442x1371 *pixels*. Nela pode se perceber o ganho que a divisão político-administrativa trouxe a interpretação visual da imagem através, por exemplo, da observação do furacão Bill com o núcleo localizado em (15°N; 48°3'O), acima da Guiana Francesa, a posição da ZCIT e a cobertura de nuvens sobre o leste da região nordeste do Brasil

A seguir é apresentada a análise da calibração radiométrica realizada a partir dos dados brutos, descrevendo-se os resultados obtidos desde a leitura do número digital a transformação em parâmetros físicos, especificamente, radiância reflectância e temperatura de brilho para as imagens dos canais do espectro visível e infravermelho.

### 4.3 Análise da decodificação e calibração radiométrica dos dados brutos

Para exemplificar os resultados durante a decodificação e calibração radiométrica dos dados brutos, foi destacada a região em que ocorreu o furacão BILL e através da seleção de uma área na imagem foram exibidos os valores para os parâmetros físicos obtidos em um canal do visível e dois canais do infravermelho, sendo um deles destinado ao monitoramento da distribuição do vapor d' água.

A Figura 72, ilustra os resultados para o canal VIS006 na imagem obtida em 18/08/2009 às 12:00 UTC. A área em destaque na imagem localiza-se entre as coordenadas (20°N; 56°O) e (10°N; 44.5°O) em projeção MERCATOR.

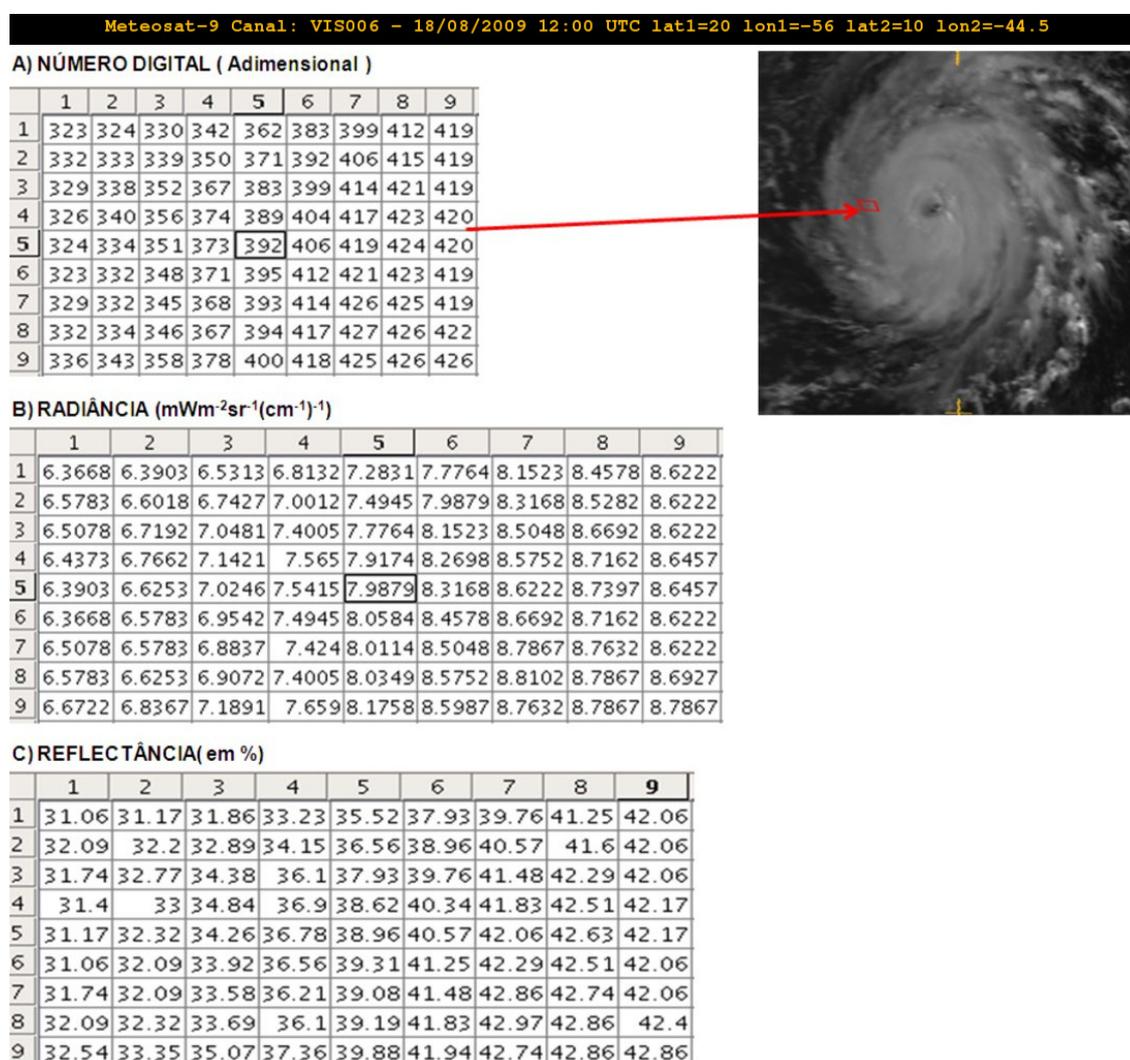


Figura 72. Parâmetros físicos para o canal VIS006, em uma área de 9x9 pixels.

Essa área foi escolhida por permitir a visualização do contraste entre as diferentes respostas radiométricas ao redor do furacão. Durante a execução do script *Segmentos.m* utilizou-se o comando “whos” para visualizar os valores

armazenados em suas variáveis. Em destaque na imagem, foram exibidas as tabelas com os valores do número digital tabela (A), radiância em  $\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ , tabela (B) e reflectância em porcentagem, tabela (C).

A Figura 73, ilustra os resultados para o canal IR\_108 na mesma imagem anterior.

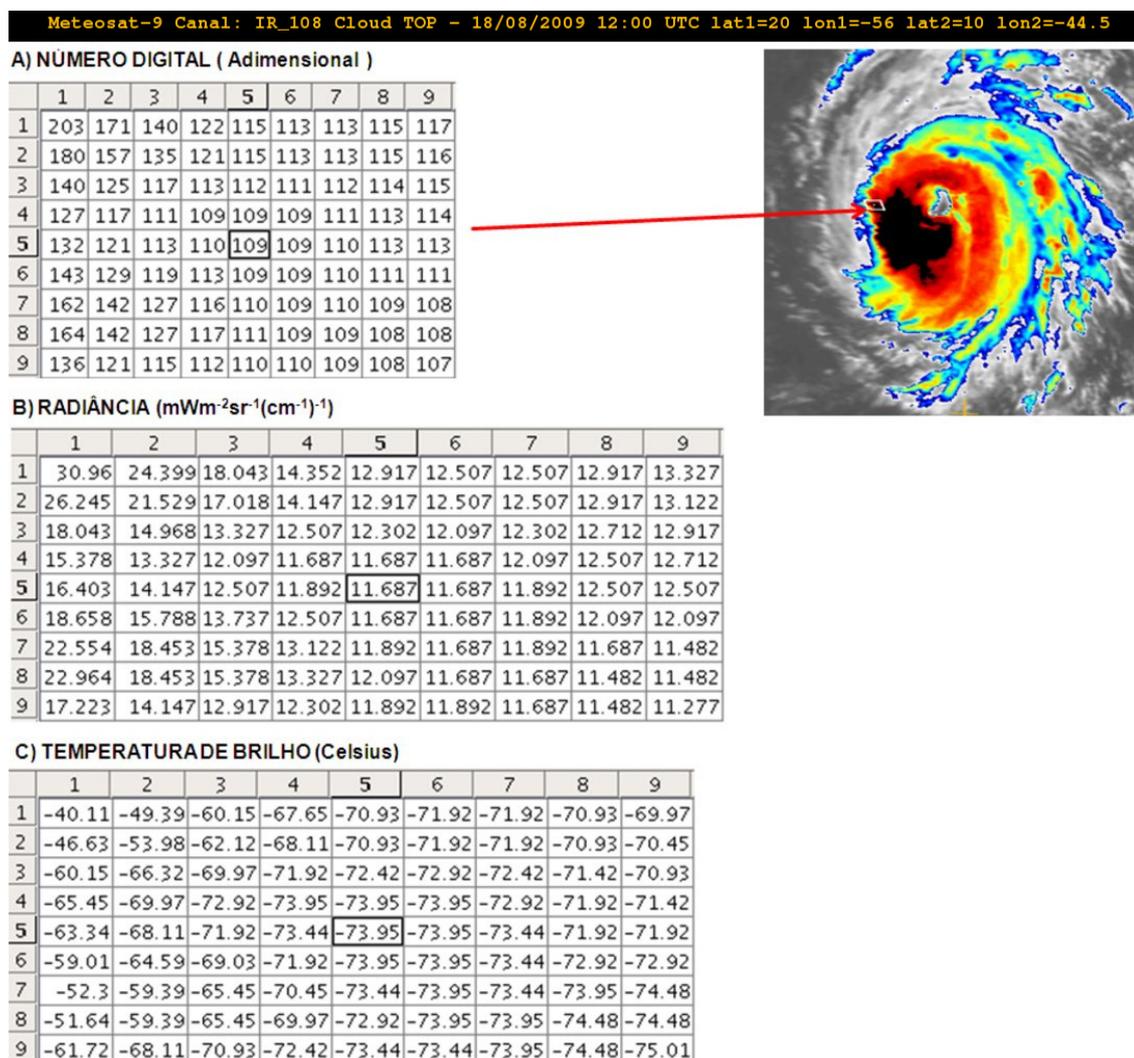


Figura 73. Parâmetros físicos para o canal IR\_108, em uma área de 9x9 pixels.

As tabelas (A) e (B) apresentadas, exibem os valores do número digital e da radiância em  $\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ . Para esse canal, a tabela (C) exibe os valores da temperatura de brilho expressa em graus Celsius. Pode se perceber que a resposta do instrumento SEVIRI, para o comprimento desse canal, resultou em maiores valores de radiância quando comparado ao canal anterior, isso se deve ao fato de que a janela atmosférica utilizada por esse canal possui pouca absorção dos gases atmosféricos, e conseqüentemente é apropriado para monitorar a temperatura do topo das nuvens.

A Figura 74, ilustra os resultados para o canal WV\_062 da mesma imagem anterior.

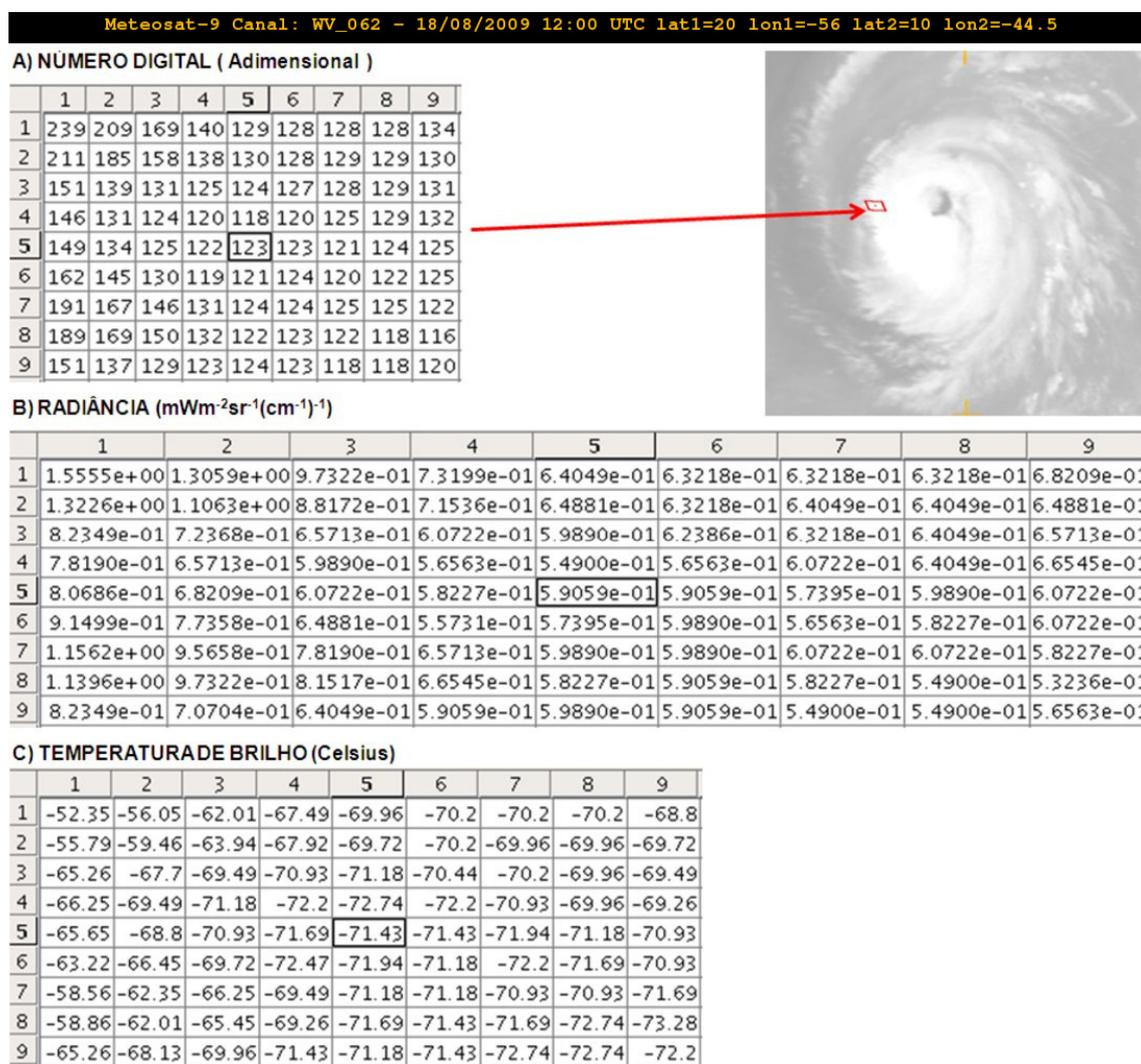


Figura 74. Parâmetros físicos para o canal WV\_062, em uma área de 9x9 pixels.

Nesse canal, semelhantemente ao canal anterior, os parâmetros físicos calculados a partir do número digital são apresentados na tabela (A), a radiância e a temperatura de brilho são apresentados na tabela (B) e (C), respectivamente. Santurette et al, (2005) afirma que o vapor d' água é fortemente absorvido pelo comprimento de onda desse canal e por conseqüência a temperatura de brilho observada pode ser diferente da temperatura do alvo, o que esta relacionado a atenuação do sinal devido a distribuição vertical da umidade. Isso justifica o fato de se observar uma relativa diminuição da temperatura de brilho calculada para os pixels da imagem no canal IR\_108 e WV\_062.

A seguir apresenta-se uma visão geral dos resultados obtidos através das aplicações que foram desenvolvidas para o processamento dos produtos para o monitoramento meteorológico.

#### 4.4 Análise dos produtos para o monitoramento meteorológico

Para exemplificar os canais no espectro visível e infravermelho, foram selecionados exemplos individuais envolvendo cada canal e foram feitas as análises dos resultados obtidos relacionando-os com os resultados encontrados na literatura.

Segundo Roesli, (2004), do ponto de vista meteorológico, os canais do espectro visível são usados principalmente para se definir a profundidade das nuvens e distinguir o seu conteúdo entre água em forma líquida ou gelo. Mas sua aplicação estende-se a detectar a fase de desenvolvimento e o tamanho das partículas que constituem a nuvem. A Figura 75 exemplifica a observação das imagens dos canais visível em uma imagem obtida em 10/01/2010 às 12:00 UTC, onde o corte setorial foi realizado sobre a região do nordeste do Brasil.

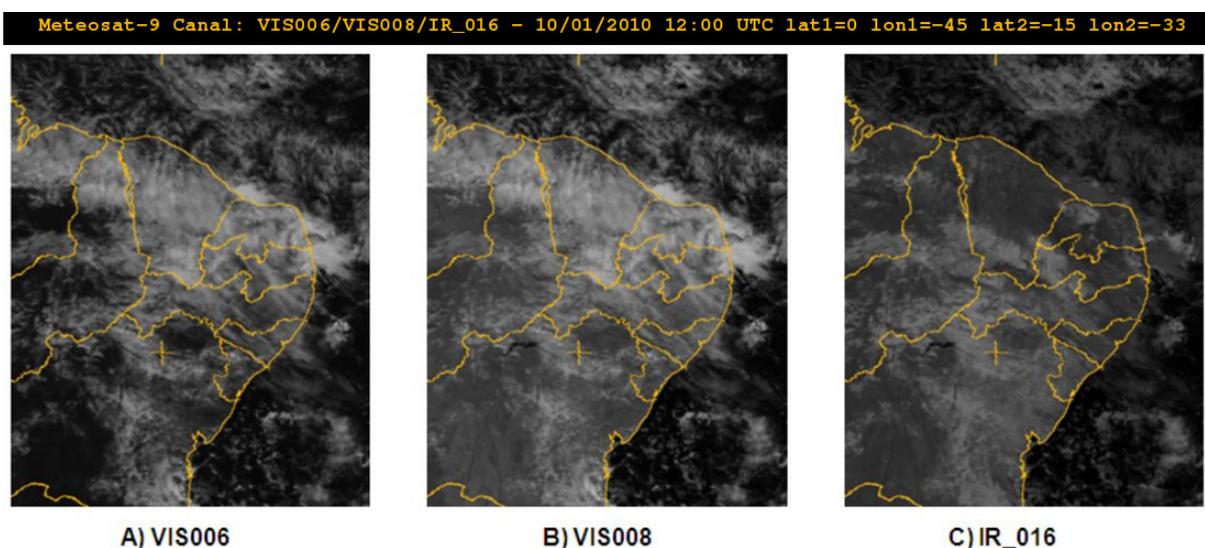


Figura 75. Canais VIS006, VIS008 e IR\_016 obtidos em 10/01/2010 às 12:00 UTC.

A imagem exhibe a cobertura de nuvens sobre o nordeste devido à ocorrência de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) com o núcleo localizado aproximadamente sob o estado da Bahia. A resposta espectral de uma nuvem é determinada pela sua espessura, a composição (água ou gelo) e o tamanho das partículas que a constituem. Para o canal VIS006 em (A), a resposta da reflectância da é superior aos demais canais, de forma que, os maiores valores de reflectância

são registrados na presença de nuvens opticamente espessas e neve, que aparecem mais brancas. Para o canal VIS008 em (B), percebeu-se uma redução na resposta da reflectância das nuvens, porém, no comprimento de onda desse canal, há uma considerável resposta da superfície terrestre, principalmente em áreas vegetadas. Sendo que, esse contraste da resposta obtida pelos canais VIS006 e VIS008 é comumente explorado para o desenvolvimento de índices de vegetação, como mostra o trabalho de Barbosa et al, (2009). O canal IR\_016 em (C), fornece uma boa distinção entre nuvens formadas por água ou por gelo, pois o comprimento de onda desse canal sofre uma leve absorção pelas nuvens líquidas, mas uma forte absorção por nuvens formadas por gelo, o que pode ser percebido pela aparência “mais escura” que elas assumem quando comparada aos outros canais. As diferenças da reflectância observada nos canais VIS006 e IR\_016 foram exploradas em trabalhos como o de Mahovic (2008), onde os autores propuseram que a diferença entre esses canais seria um indicativo da atividade convectiva durante o dia.

A Figura 76 ilustra a mesma imagem anterior em uma visão sinótica sobre o Brasil dos canais destinados ao monitoramento do vapor d' água.

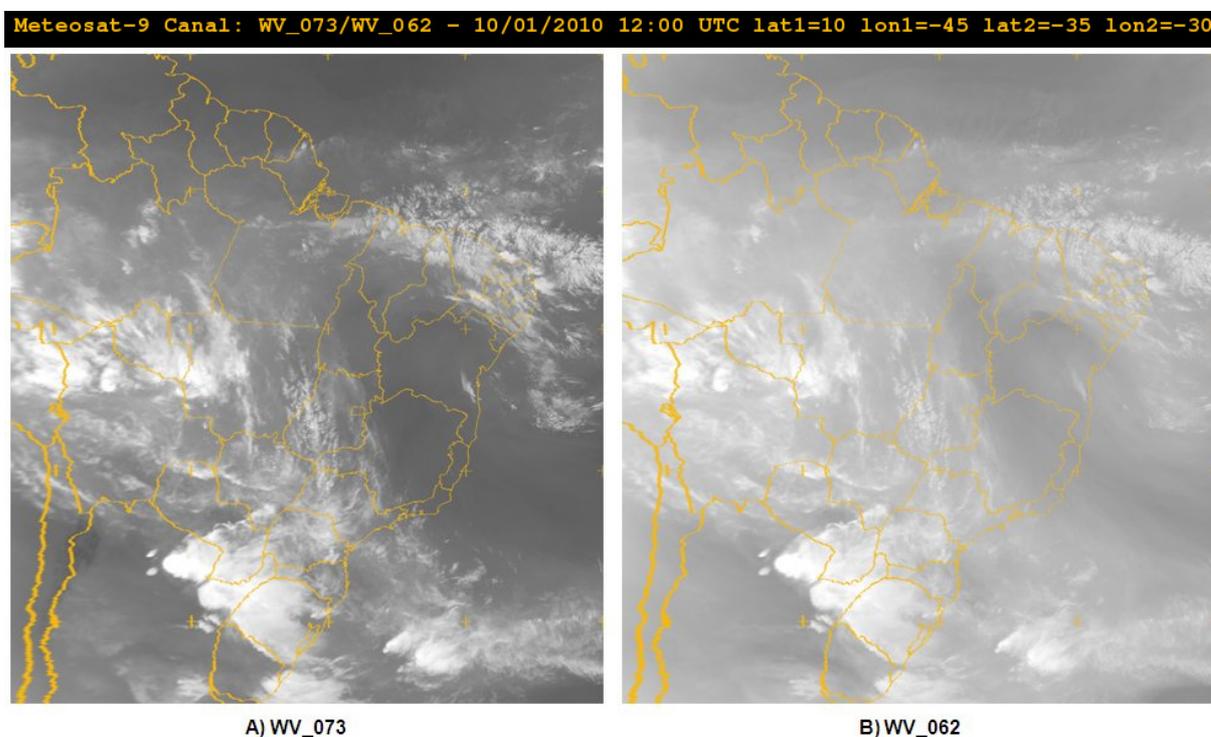


Figura 76. Canais do vapor d' água obtidos em 10/01/2010 às 12:00 UTC.

Observando-se a figura anterior, verifica-se que a resposta ao vapor d' água é menos intensa no canal WV\_073, destacado em (A) do que no canal

WV\_062, destacado em (B), o que visualmente pode ser percebido pelas feições da imagem no canal WV\_062 que aparecem mais brancas. De acordo com Santurette et al, (2005) estes canais são úteis para avaliar a umidade entre 950 e 200 hPA, sendo que o canal WV\_062 representa melhor a distribuição do vapor d' água entre 200-650 hPA, principalmente em áreas sem nuvens e o canal WV\_073 entre 450-750 hPA. Na imagem, pode ser facilmente identificado a presença do VCAN anteriormente mencionado, atuando sobre a região do nordeste, e por ser um sistema que se forma na alta troposfera ele é mais facilmente observado no canal WV\_062.

A Figura 77 ilustra os demais canais do espectro infravermelho, na imagem obtida em 10/01/2010 sob o corte na região nordeste do Brasil.

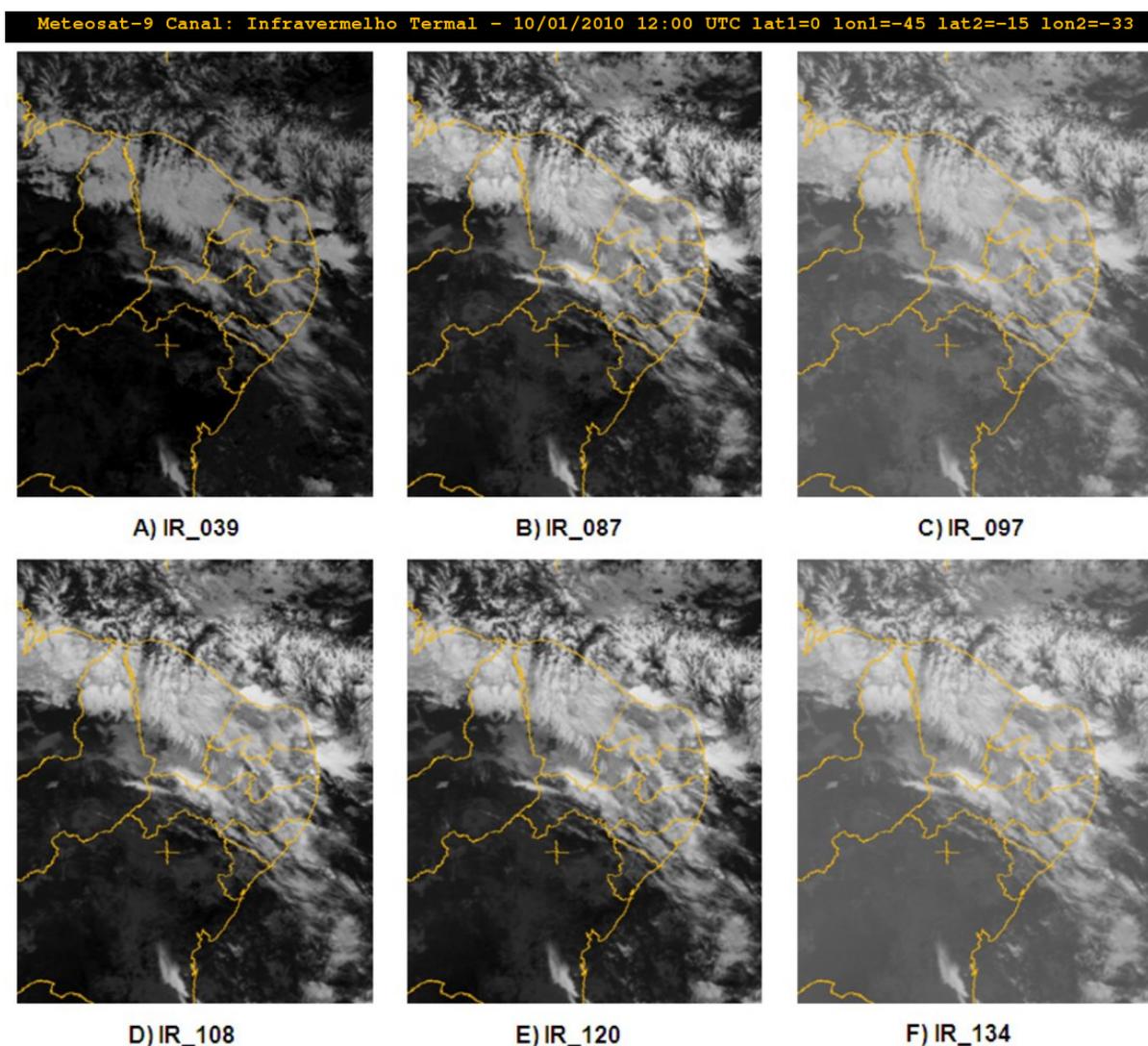


Figura 77. Canais infravermelho obtidos em 10/01/2010 às 12:00 UTC.

O canal IR\_039 fornece informações tanto da energia emitida pelo Sol e refletida pela Terra, como a energia emitida pela Terra. Sua aplicação é variada,

abrangendo desde ao estudo das nuvens até a detecção de queimadas, comumente ele é utilizado em conjunto com o canal IR\_108 através da diferença de canais e de acordo com Rosenfeld, (2005) a componente termal do canal IR\_039 pode ser obtida a partir do canal IR\_108 devido à absorção de CO<sub>2</sub> existente em ambos os canais, dessa forma, a subtração entre eles permite a separação dos sinais resultante da emissividade ou reflectância dos alvos. A reflectância pode ser obtida assumindo que a emissividade das nuvens no canal IR\_108 é igual a um e a transmissividade do canal IR\_039 é igual a zero.

Segundo Prieto, (2008) os canais IR\_087, IR\_108 e IR\_120 estão posicionados em comprimentos de onda onde há pouca absorção pelo vapor de água, sendo que a maior parte da absorção existente é ocasionada por grandes partículas em nuvens constituídas por gelo que se formam em alta troposfera. As texturas das nuvens exibidas possuem um detalhamento inferior ao dos canais do visível e a superfície terrestre assume tons de cinza principalmente à noite, quando a contribuição da emissividade da superfície é maior. Desses canais, Santurette et al, (2005) aponta que o canal IR\_087 é o que apresenta as propriedades de absorção de um canal de vapor d' água, porém, de forma atenuada, destacando também as propriedades da superfície terrestre. Os canais IR\_087 e IR\_108 apresentam uma forte absorção para partículas originadas das tempestades de areia formadas no deserto, sendo possível utilizá-los para o monitoramento desses fenômenos durante o dia e a noite, através das diferenças IR\_087-IR\_108 e IR\_039-IR\_108 durante o dia e IR\_087-IR\_108 durante a noite.

O canal IR\_097 é tipicamente utilizado através de sua associação com outros canais, geralmente utilizam-se diferenças dos canais, como por exemplo, a diferença entre IR\_097-IR\_108 que caracteriza a distribuição de ozônio entre médios e altos níveis, como uma variável importante no estudo das massas de ar e da dinâmica da tropopausa e da estratosfera.

O canal IR\_134 tem um comprimento de onda sensível à absorção pelo CO<sub>2</sub> e devido a esse fato ele também é usado para realizar a calibração radiométrica e correções no canal IR\_39.

#### 4.4.1 Composições coloridas

A composição colorida denominada “Natural Colours”, ilustrada na Figura 78, é formada pela combinação dos canais IR\_016, VIS008 e VIS006 para os planos de cores do vermelho, verde e azul, respectivamente e foi processada através do script *CriarRGB.m*.

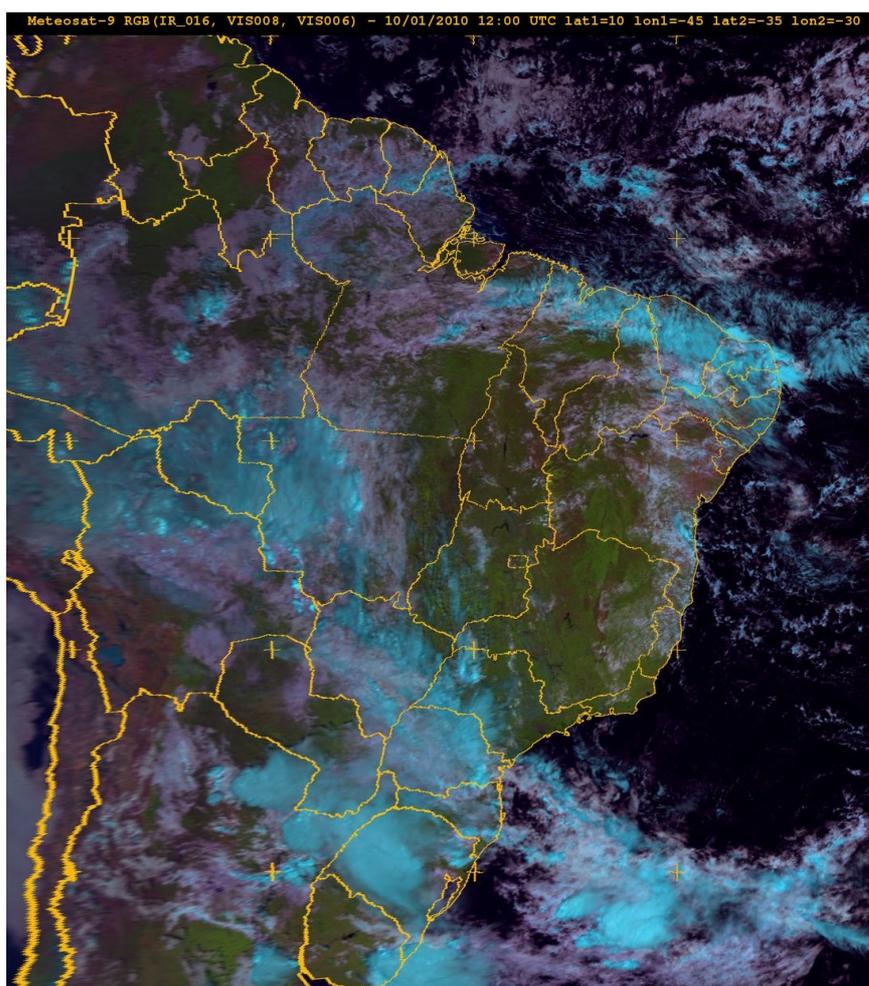
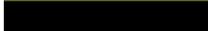


Figura 78. Composição RGB “Natural Colours”, imagem obtida em 10/01/2010 às 12:00 UTC.

Nesta composição, as nuvens formadas por água na forma líquida apresentam alta reflectância em todos os canais e aparecem em tons de ciano a branco, enquanto as nuvens formadas por cristais de gelo, conseqüentemente menos reflexivas no canal IR\_016 são apresentadas em tom de ciano. A superfície terrestre é exibida em marrom ou verde dependendo da cobertura vegetal, sendo que o canal VIS008 é o responsável pela discriminação entre superfície e vegetação. O oceano é exibido em preto devido à baixa reflectância em todos os canais. A Tabela

9 apresenta a relação entre as cores dos alvos, e o valor aproximado da reflectância para cada um dos canais da composição colorida “Natural Colours”.

Tabela 9. Relação entre cores, reflectância e alvos para a composição colorida “Natural Colours”.

Composição RGB: Natural Colours				
Plano de Cor: Alvos / Canal	R IR_016	G VIS008	B VIS006	Cor
Nuvens Líquidas	60%	75%	70%	
Nuvens de gelo e neve	25%	75%	70%	
Superfície Terrestre	60%	40%	30%	
Vegetação	25%	45%	8%	
Oceano	1%	3%	4%	

A composição colorida denominada “Airmass”, Figura 79, foi processada para uma imagem obtida em 11/03/2010 às 18:00 UTC. Nessa composição foram utilizadas as diferenças dos canais WV\_062-WV\_073 e IR\_097-IR\_108, processadas através do script *DiferencaCanais.m* e em seguida foram feita a composição RGB através do script *CriarRGB.m*.

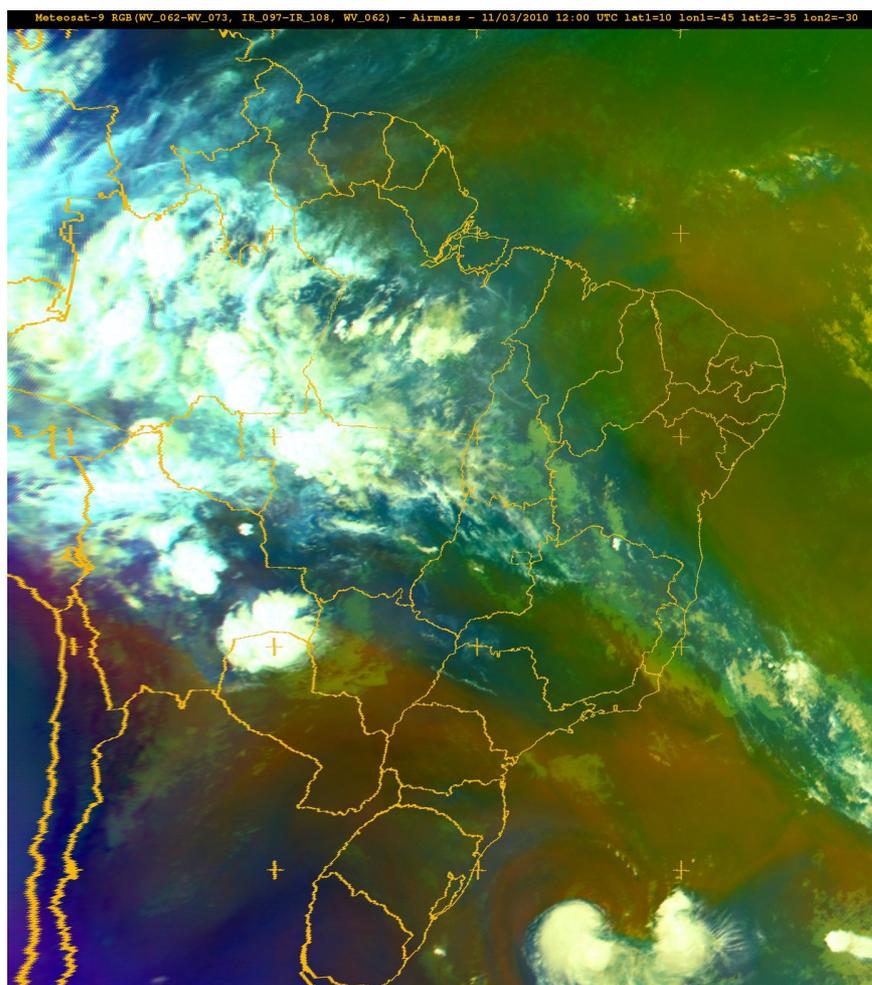


Figura 79. Composição RGB “Airmass”, imagem obtida em 11/03/2010 às 18:00 UTC.

A composição “Airmass” é adequada para se entender às características do perfil de umidade da média a alta troposfera, além do estudo das massas de ar. Para isso, ela utiliza a diferença dos canais infravermelhos WV\_062-WV\_073, no plano de cor vermelho, como um indicativo da umidade entre médios a altos níveis. Para uma região com pouca umidade a diferença entre esses canais apresenta valores próximos de zero, enquanto para regiões úmidas apresenta valores negativos. A diferença entre os canais IR\_097-IR\_108, no plano de cor verde, fornece uma indicação da concentração de ozônio de médio a altos níveis, por exemplo, considerando uma massa de ar polar, rica em ozônio, a diferença entre eles é maior do que para uma massa de ar tropical, pobre em ozônio. No plano de cor do azul, o canal WV\_062 atua negativamente resultando em tons de azul para indicar forte umidade entre médios e altos níveis. Roesli, (2004) afirma que essa composição colorida pode ser usada em estudo da corrente de jato, ciclogênese e da vortacidade potencial através do monitoramento do ar estratosférico que é injetado na troposfera indicado pela cor vermelho. A Tabela 10 apresenta a relação entre as cores dos alvos, e o valor aproximado da diferença da temperatura de brilho da composição colorida “Airmass”.

Tabela 10. Relação entre cores e diferença da temperatura de brilho, composição colorida “Airmass”.

Composição RGB: Airmass				
Plano de Cor: Alvos / Canal	R WV_062- WV_073	G IR_097- IR_108	B WV_062	Cor
Nuvem espessa (altos níveis)	-1	10	-60	
Nuvem espessa (médios níveis)	-5	-5	-50	
Massa polar (rica em O <sub>3</sub> )	-20	-35	-40	
Massa equatorial (pobre O <sub>3</sub> )	-2	-22	-32	
Ar descentente estratosférico	-16	-33	-30	

A composição colorida denominada “Day And Night Microphysical”, ilustrada na Figura 80, é adequada para o estudo das propriedades das nuvens e superfície durante o dia e a noite, pois na combinação de canais utilizada, não são usados os canais do visível que, por sua vez, possuem informação somente em parte do dia. Ela foi processada para uma imagem obtida no dia 24/02/2010 às 18:00 UTC. Nessa composição foram utilizadas as diferenças dos canais IR\_120-IR\_108 e IR\_108-IR\_087 que foram processadas através do script *DiferencaCanais.m* e em seguida foram combinadas em seus respectivos planos de cores através do script *CriarRGB.m*

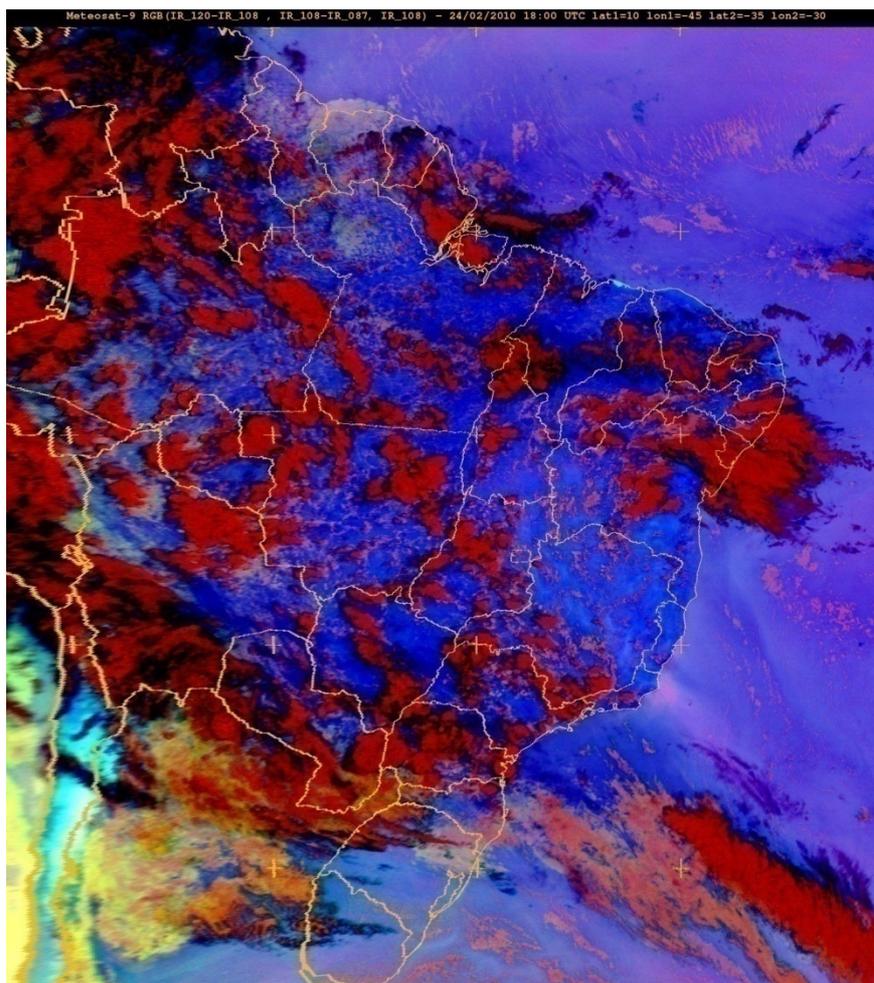
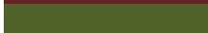
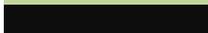
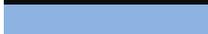


Figura 80. Composição RGB “Day And Night Microphysical”, obtida em 24/02/2010 às 18:00 UTC.

Para o plano de cor do vermelho, Lensky, (2008) relata que a diferença dos canais IR\_120-IR\_108 fornece informações sobre a opacidade das nuvens, sendo um indicativo da presença de nuvens do tipo cirrus ou cumulus nimbus. No plano de cor do verde, a diferença IR\_108-IR\_087 é um indicativo da presença de trilhas de condensação. No plano de cor do azul, o canal IR\_108 é usado por fornecer informação sobre a emissividade relacionada ao tamanho das partículas de água ou gelo. A Tabela 10 ilustra a relação das cores para a composição citada.

Tabela 11. Relação entre cores e diferença da temperatura de brilho, composição “Day And Night Microphysical”.

Composição RGB: Day And Night Microphysical				
Plano de Cor: Alvos / Canal	R IR_120- IR_108	G IR_108- IR_087	B IR_108	Cor
Cumulus Nimbus	-0.5	-1	-60	
Nuvens com pouco gelo	-6	3	0	
Nuvens líquidas	-0.5	1	-10	
Cirrus	-4	-4	-40	
Areia com mineral de quartzo	1	12	35	

Nuvens convectivas, principalmente do tipo cumulus nimbus são apresentadas em vermelho. Ainda segundo Lensky, (2008) a emissividade de partículas de quartzo (125-500  $\mu\text{m}$ ), em regiões com areia, é muito baixa no canal IR\_087, mas a diferença entre IR\_108-IR\_087 é positiva, o que aliado a alta emissividade da superfície terrestre durante a noite produziu a cor ciano.

A composição colorida “Convective Storms”, ilustrada na Figura 81, é aplicada no estudo de sistemas convectivos severos, ela foi processada a partir das diferenças dos canais WV\_062-WV\_073, IR\_039-IR\_108 e IR\_016-VIS006 que foram processadas através do script *DiferencaCanais.m* e em seguida foram combinadas em seus respectivos planos de cores através do script *CriarRGB.m*.

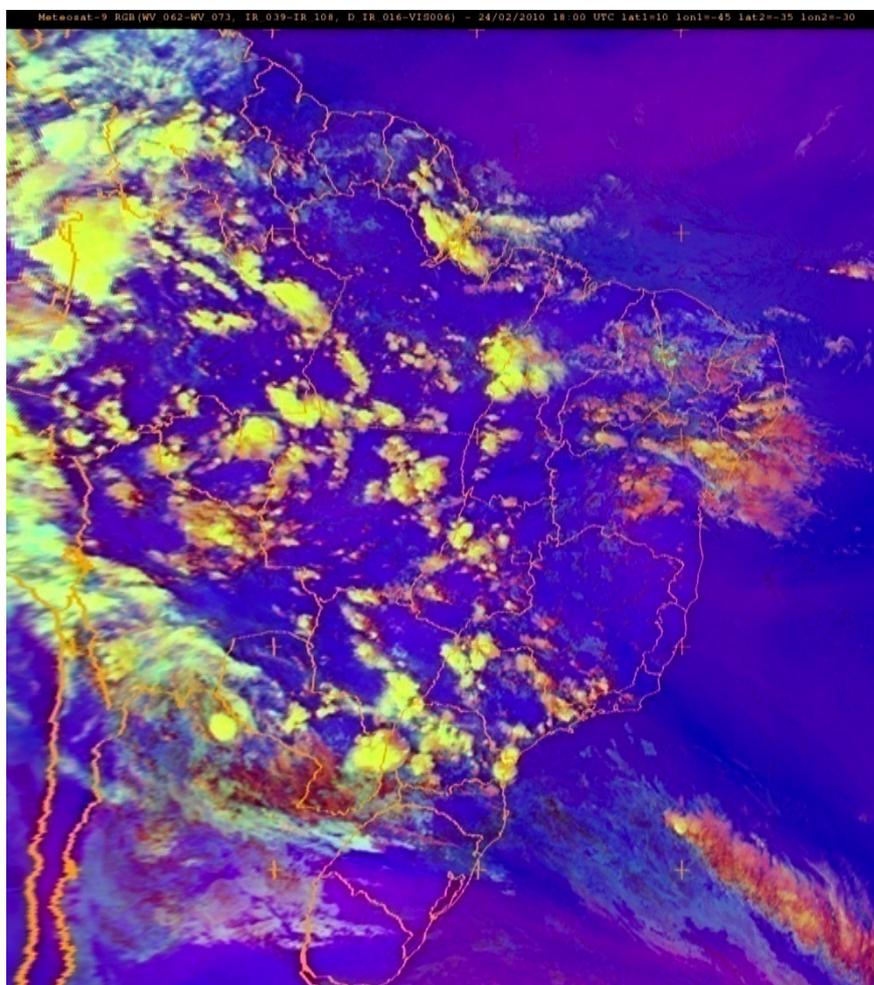


Figura 81. Composição RGB “Convective Storms”, obtida em 24/02/2010 às 18:00 UTC.

Neste dia ocorreu uma intensa atividade convectiva em grande parte do Brasil. A diferença entre os canais WV\_062-WV\_073 como um indicativo da umidade entre médios e altos níveis, foi colocada no plano de cor do vermelho e para nuvens convectivas em estágio de desenvolvimento, como alguns cumulus

nimbus em que parte de sua massa estende-se através da tropopausa, os valores da diferença entre esses canais tem valores próximos de zero, indicando convecção severa, enquanto para cumulus nimbus onde isso não acontece os valores resultantes da diferença entre os canais é negativa. A diferença entre os canais IR\_039-IR108, no plano de cor verde, está diretamente relacionada ao estágio de desenvolvimento da nuvem e ao tamanho das partículas que a constituem, sendo que durante o dia a alta reflectância das partículas de nuvens e a emissividade no canal IR\_039 contribuem para os altos valores da diferença IR\_039-IR108 que por sua vez, é diretamente proporcional a temperatura do topo da nuvem fornecida pelo canal IR\_108, pois quando a contribuição da reflectância do canal IR\_039 é maior a emissividade do canal IR\_108 é menor. No plano de cor do azul, a diferença da reflectância entre IR\_016-VIS006 é alta para nuvens formadas por gelo e para a superfície terrestre essa diferença apresentou valores próximos de zero. A Tabela 12 apresenta a relação entre as cores dos alvos, e o valor aproximado da diferença da temperatura de brilho para a composição colorida “Convective Storms”.

Tabela 12. Relação entre cores e diferença da temperatura de brilho para a composição colorida “Convective Storms”.

<b>Composição RGB: Convective Storms</b>				
<b>Plano de Cor: Alvos / Canal</b>	<b>R WV_062- WV_073</b>	<b>G IR_039- IR_108</b>	<b>B IR_016- VIS006</b>	<b>Cor</b>
Convecção severa	-2	60	-20	
Cumulus Nimbus	-8	20	-40	
Superfície Terrestre	-20	5	5	

Para os canais do vapor de água (WV\_062 e WV\_073) e para o canal infravermelho (IR\_108), foram processados realces através da associação dos seus *pixels* a tabelas LUT (Look-Up Tables) e a seguir são apresentados os resultados obtidos.

#### 4.4.2 Realce dos canais vapor d' água (WV062) e temperatura de brilho (IR\_108)

O principal objetivo da interpretação visual das imagens do MSG é a extração de informações destas. Visto que foi conhecido como obter os parâmetros físicos da imagem e a aplicabilidade de cada canal, foi realizado o realce nas imagens dos canais WV\_062 e IR\_108. Estes canais foram escolhidos, pois são

amplamente utilizados no monitoramento meteorológico operacional. O Canal de vapor d' água WV\_062 é geralmente utilizado na caracterização de fenômenos de escala sinótica enquanto o canal IR\_108 é utilizado para monitorar a temperatura de brilho das nuvens como um indicativo da atividade convectiva sobre uma região.

A Figura 82 exibe a imagem resultante da aplicação do script *CriaRGBWV.m*, uma versão modificada do script *CriaRGB.m* em que a escala de cores foi modificada para armazenar um gradiente de cores variando do azul ao marrom.

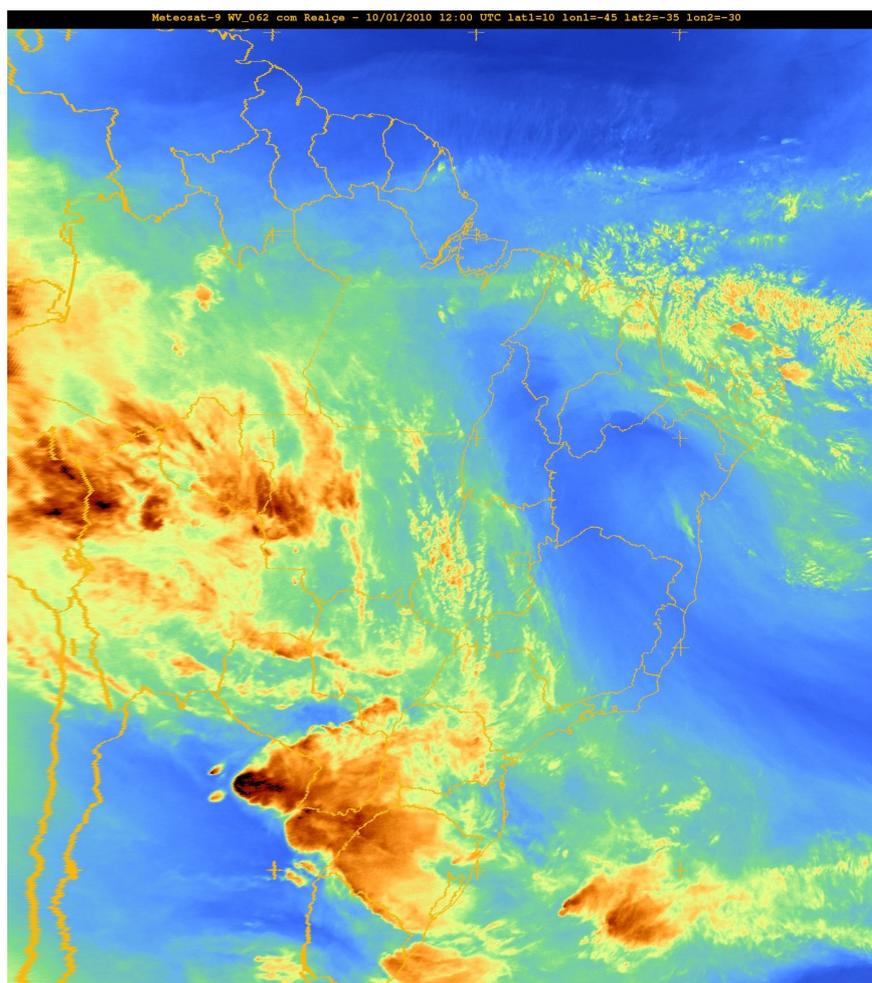


Figura 82. Realce do canal WV\_072 (Vapor d' Água) obtida em 01/10/2010 às 12:00 UTC.

Através da imagem realçada a variabilidade da concentração de vapor d' água pode ser facilmente detectada, quando comparada a imagem original do MSG em que os *pixels* são apresentados em tons de cinza. As regiões com pouca umidade aparecem em tons mais escuros de azul, enquanto as regiões mais úmidas aparecem em tons mais claros, e à medida que aumenta a concentração do vapor de água, a tonalidade da cor tende à marrom. Nessa imagem é possível identificar

com relativa facilidade a presença do VCAN anteriormente mencionado com o núcleo entre os estados de Minas Gerais e Bahia, caracterizado por ar seco em seu núcleo em altos níveis e a banda de nuvens associada à possível precipitação na periferia. A atividade convectiva severa foi destacada com a cor marrom escuro.

Para o canal IR\_108 o realce da temperatura de brilho foi realizado considerando-se os valores que estivessem entre o limiar de aproximadamente  $-40^{\circ}$  a  $-70^{\circ}\text{C}$  ( $233\text{K} - 203\text{K}$ ), seguindo-se a mesma linha de raciocínio apresentada por Maddox, (1980) para estudo da convecção. As cores utilizadas foram formadas pelo gradiente entre o azul, verde, amarelo, vermelho e preto, nesta seqüência.

A Figura 83 exibe a imagem resultante da aplicação do script *criarRGBCloudTOP.m*, versão modificada do script *CriaRGB.m* em que a escala de cores foi ajustada para destacar a temperatura de brilho no limiar considerado.

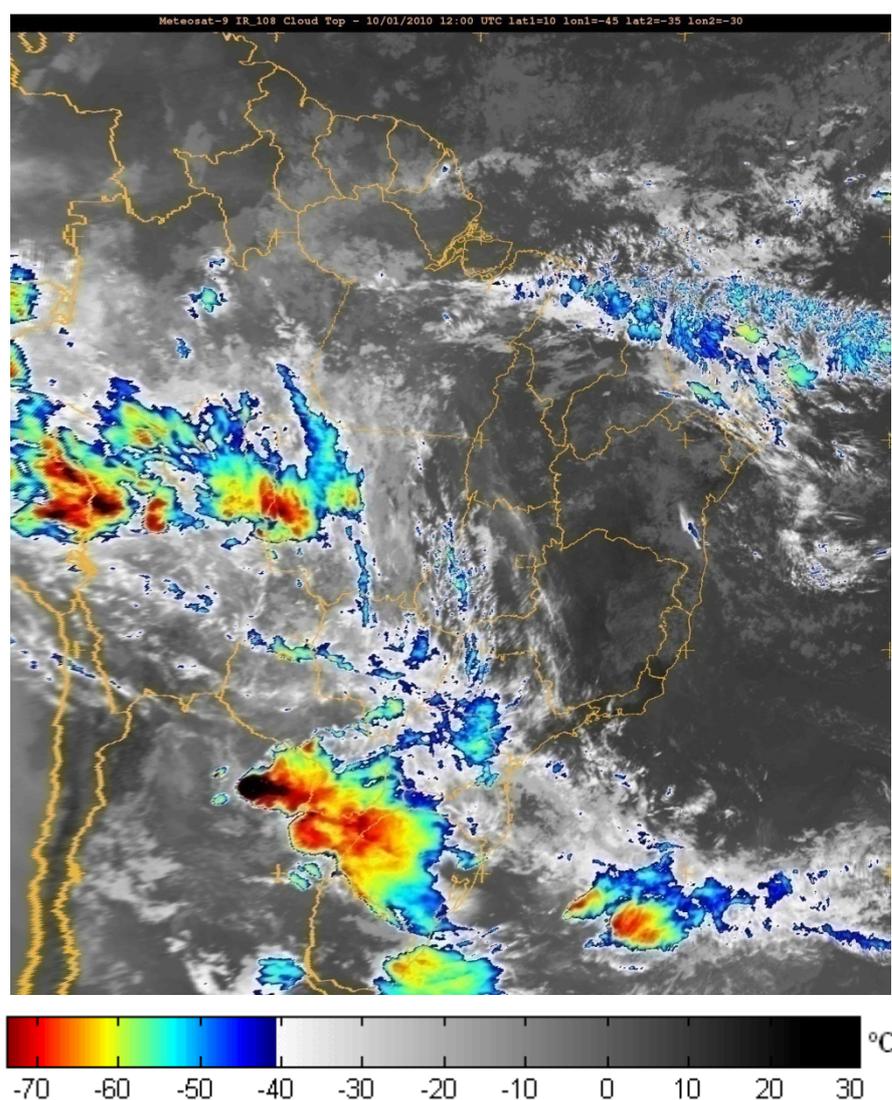


Figura 83. Realce do canal IR\_108 (Temperatura de Brilho) obtida em 01/10/2010 às 12:00 UTC.

As regiões com temperatura de brilho fora do limiar considerado permaneceram com os tons de cinza inalterados. Entre  $-40^{\circ}\text{C}$  e  $-50^{\circ}\text{C}$ , ( $233\text{K} - 223\text{K}$ ), as cores adotadas, variam de azul escuro a ciano, a partir de  $-50^{\circ}\text{C}$  até  $-60^{\circ}\text{C}$ , ( $223\text{K} - 213\text{K}$ ) as cores variam de ciano a verde, e entre  $-60^{\circ}\text{C}$  e  $-70^{\circ}\text{C}$ , ( $223\text{K} - 213\text{K}$ ) as cores variam de amarelo a vermelho. Para as temperaturas superiores a  $-70^{\circ}\text{C}$  a variação entre vermelho até preto foi utilizada. Percebe-se assim, que os núcleos mais frios observados na imagem, são apresentados em preto envolvidos por uma região com tons vermelho, o que indicou células de convecção severa.

A Figura 84 ilustra as imagens do canal IR\_108 com realce da temperatura de brilho, entre 12:00 UTC do dia 05 e 10:00 UTC do dia 06 de abril de 2010. Nesse intervalo ocorreu intensa atividade convectiva sobre o Rio de Janeiro. E através o ponto localizado em ( $22^{\circ}57,3'S$ ;  $43^{\circ}21,5'S$ ), indicado pelo círculo vermelho na imagem, foi monitorada a temperatura de brilho sobre parte da capital.

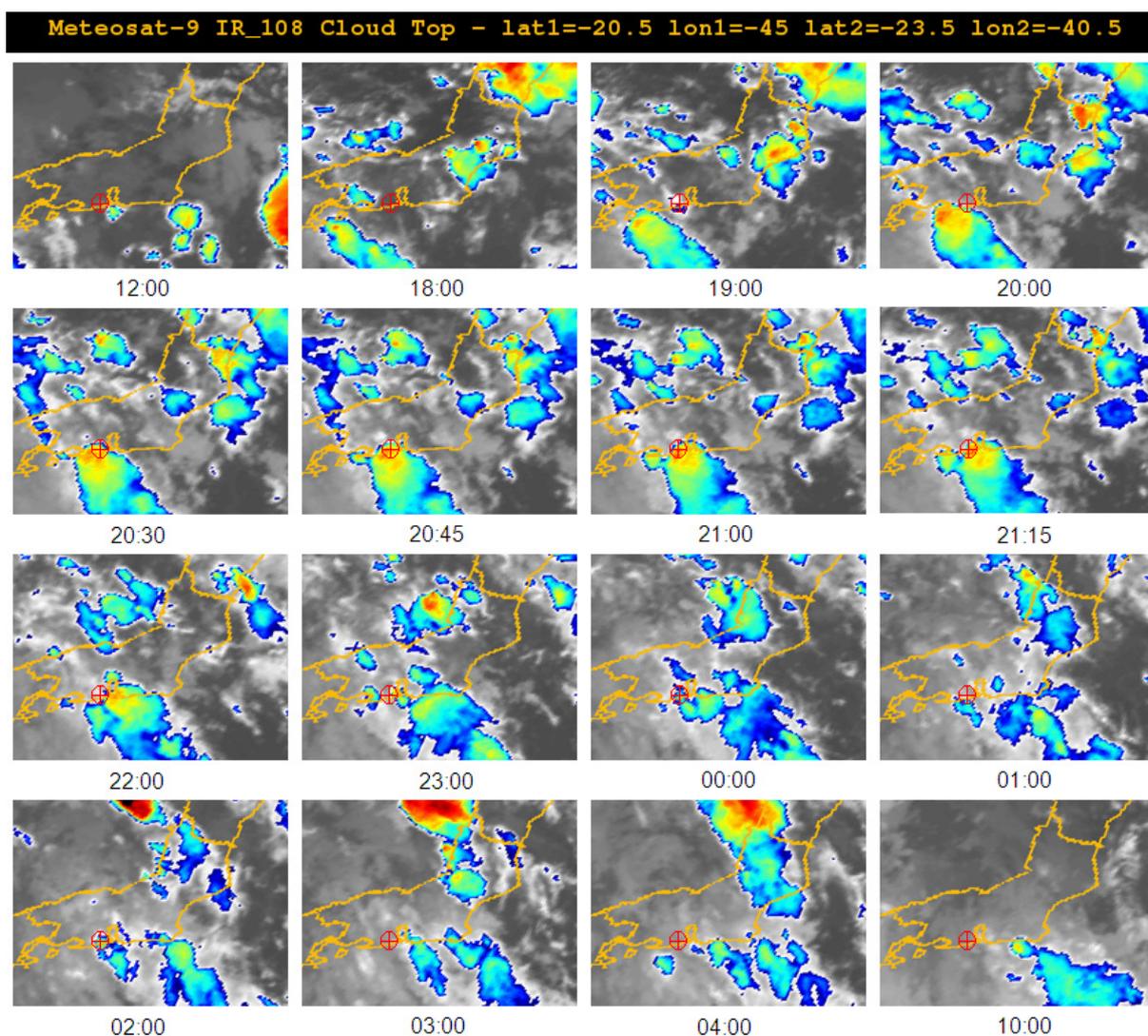


Figura 84. Realce do canal IR\_108 sobre o Rio de Janeiro, entre os dias 05 e 06 de abril de 2010.

As imagens estão em projeção MERCATOR e foi recortada a área em destaque, entre as coordenadas (20°30'S; 45°O) e (23°30'S; 40°30'O), destacando o estado do Rio de Janeiro. A primeira imagem, obtida as 12:00 UTC indica a presença de nuvens sobre o ponto monitorado, com temperaturas de aproximadamente -4.93°C. A partir das 18:00 UTC, foi feito o acompanhamento da aproximação de uma célula convectiva, em destaque nas imagens de 20:00 UTC a 22:00 UTC, o que revelou o período em que as temperaturas apresentaram os maiores valores observados, entre -58.63°C registrados as 20:30 UTC e -64.17°C às 21:00 UTC. Ainda durante a madrugada do dia 06 de abril foram registrados os valores de -53.98°C às 02:00 UTC o que indicou atividade convectiva severa durante a madrugada. Somente as 04:00 UC, percebeu-se a diminuição nos valores registrados. Através da utilização dos scripts *GraficoPixelHDF.m* foram extraídos os valores para o *pixel* em questão, que foram representados em um gráfico que apresentou a evolução temporal da temperatura de brilho no período considerado. A Figura 85 ilustra o gráfico que foi construído.

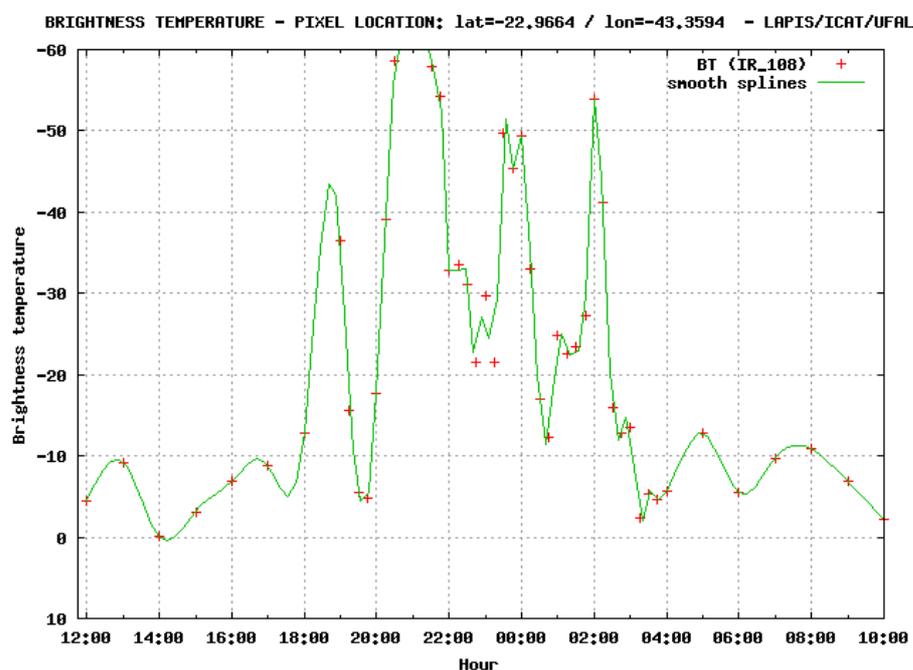


Figura 85. Evolução temporal da temperatura de brilho sobre um ponto localizado no Rio de Janeiro.

Os pontos em vermelho representam os valores obtidos pela leitura direta das imagens. Enquanto a curva em verde representa uma tendência suavizada da variação dos valores através de interpolação por *splines cúbicas*. No eixo Y foram representados os valores da temperatura de brilho, e no eixo X o intervalo entre 12:00 UTC do dia 05/04 e 10:00 UTC do dia 06.

#### 4.5 Análise dos produtos para o monitoramento ambiental

Para exemplificar os resultados obtidos durante o processamento dos dados do projeto LSA SAF, foram destacadas as imagens referentes ao primeiro dia dos meses de: A) Março; B) Junho; C) Setembro e D) Dezembro de 2009, para os produtos FVC e Albedo da superfície, processados através do script *CriarProduto.m*.

Adicionalmente, são apresentados os gráficos que ilustram a evolução temporal dos parâmetros biofísicos entre o período de 2008 a 2009, para dois sítios localizados na cidade de Puça-Piauí, região Nordeste e em uma área de agricultura cafeeira, na região Sul do país. A Figura 86 ilustra as imagens para o produto FVC.

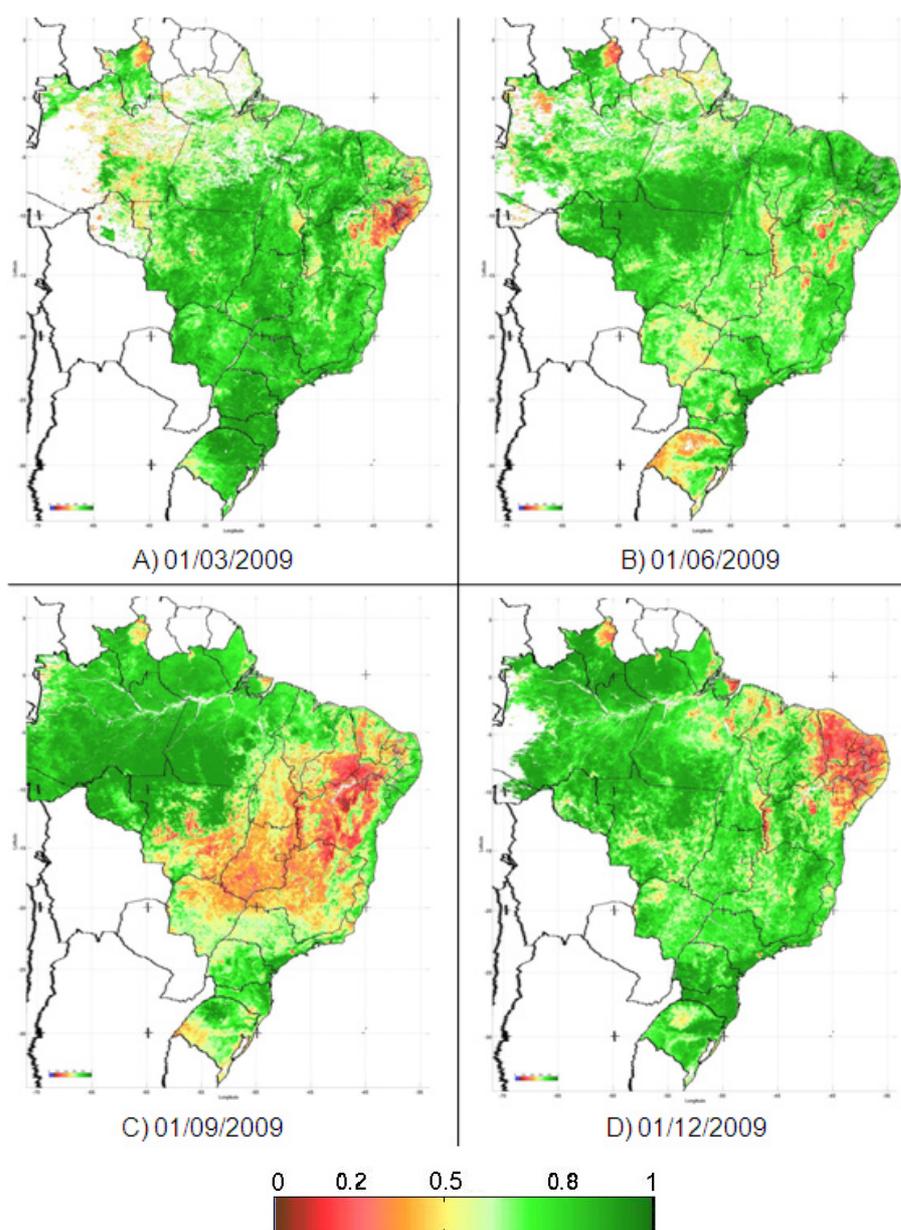


Figura 86. Produto FVC processado em: A) Março; B) Junho; C) Setembro e D) Dezembro de 2009.

As imagens apresentadas foram visualizadas em projeção MERCATOR em um corte setorial entre as coordenadas (7°N; 71°O) e (34°S; 34°O), a escala de cores definida representou os valores maiores valores, próximos de um, na cor verde, e os menores valores, próximos de zero, em vermelho. Os valores médios foram apresentados em amarelo. Percebe-se que a variabilidade do comportamento da vegetação foi destacada durante os meses observados, sendo que esta está diretamente ligada ao estado da cobertura vegetal.

Através da utilização do script *GraficoPixelHDF.m* foram extraídos os valores do parâmetro biofísico FVC para os anos de 2008 e 2009, sobre os *pixels* localizados em Puça-Piauí, (8°24,1'S;44°24,1'O), e em uma área de agricultura cafeeira, na região Sul do país, (28°25,12'S;53°33'O) conforme ilustra a Figura 87.

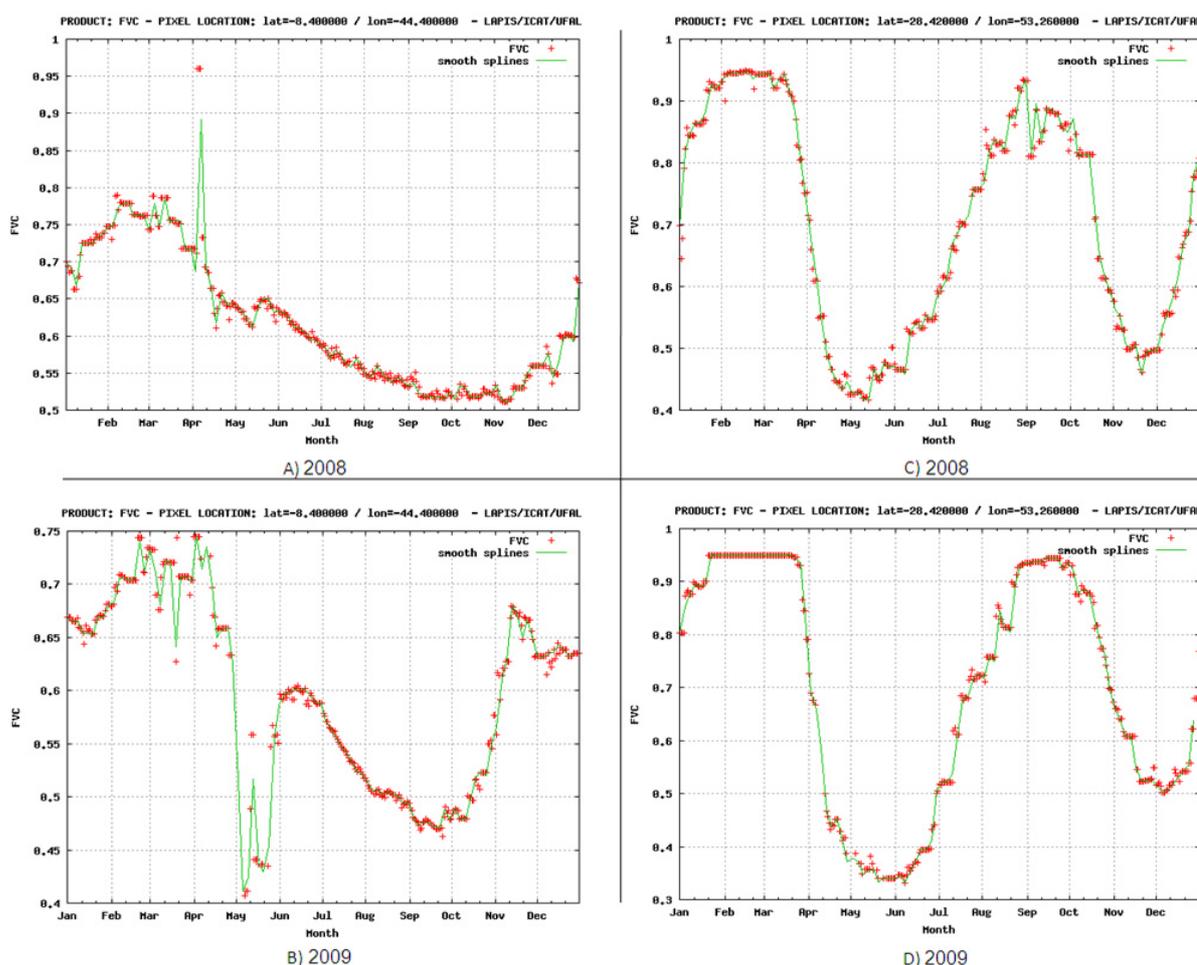


Figura 87. Evolução temporal do FVC para dois sítios no período entre 2008 e 2009.

Em (A) e (B) foram destacados os valores para a região de Puça-Piauí, e em (C) e (D) para área de agricultura cafeeira, durante os anos de 2008 e 2009. Em vermelho foram representados valores diários de FVC e a curva em verde

representa uma tendência suavizada da variação dos valores através de interpolação por *splines cúbicas*. No eixo Y foram representados os valores de FVC, e no eixo X a variação temporal, dada em meses.

A Figura 87 ilustra as imagens obtidas para o produto Albedo da superfície processado através do script *CriarProduto.m*.

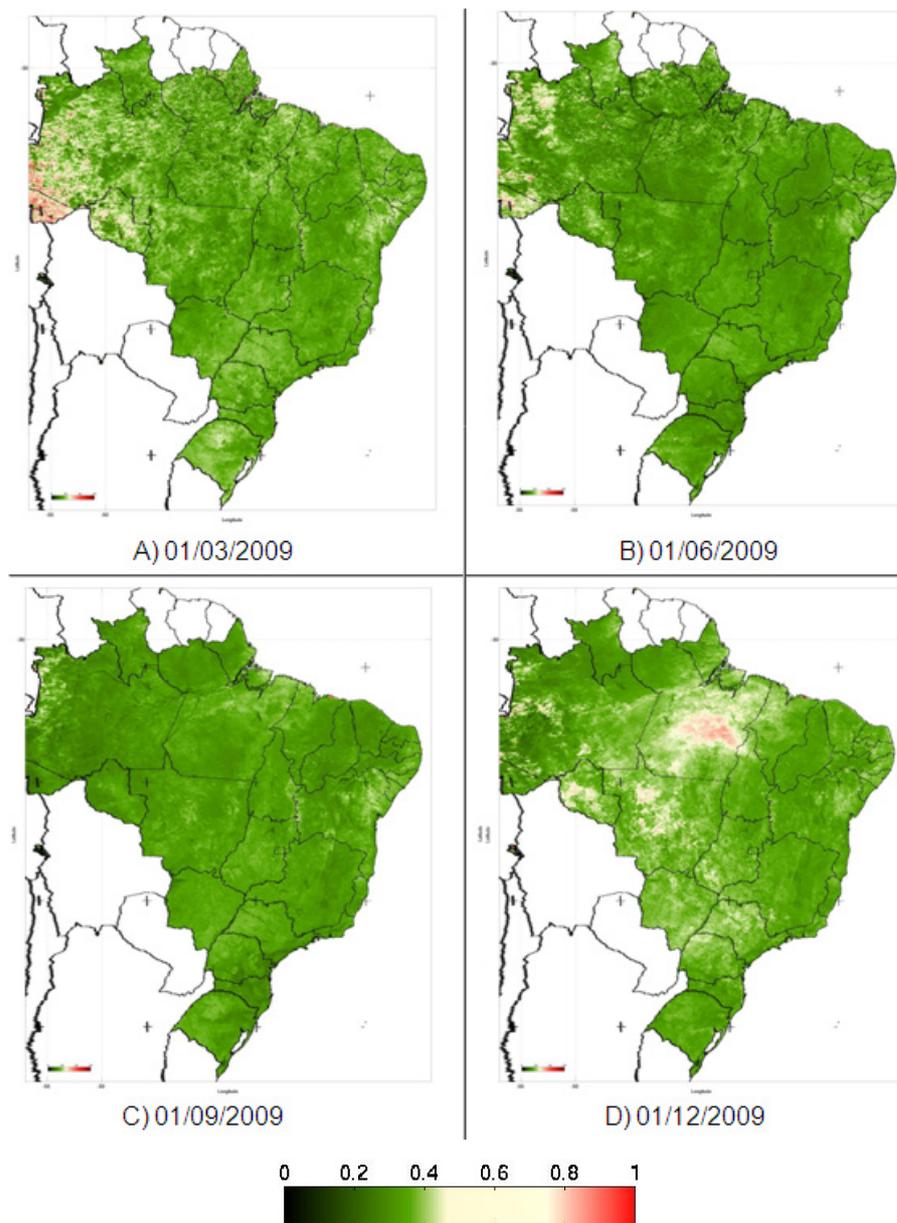


Figura 88. Albedo da sup. processado em: A) Março; B) Junho; C) Setembro e D) Dezembro de 2009.

As imagens apresentadas foram visualizadas em projeção MERCATOR em um corte setorial entre as coordenadas (7°N; 71°O) e (34°S; 34°O), a escala de cores definida representou os valores maiores valores, próximos de um, na cor vermelho, e os menores valores, próximos de zero, em verde.

Através da utilização do script *GraficoPixelHDF.m* foram extraídos os valores do Albedo da superfície para os anos de 2008 e 2009, sobre os *pixels* localizados em Puça-Piauí, ( $8^{\circ}24,1'S;44^{\circ}24,1'O$ ), e em uma área de agricultura cafeeira, na região Sul do país, ( $28^{\circ}25,12'S;53^{\circ}15,3'O$ ) conforme ilustra a Figura 89.

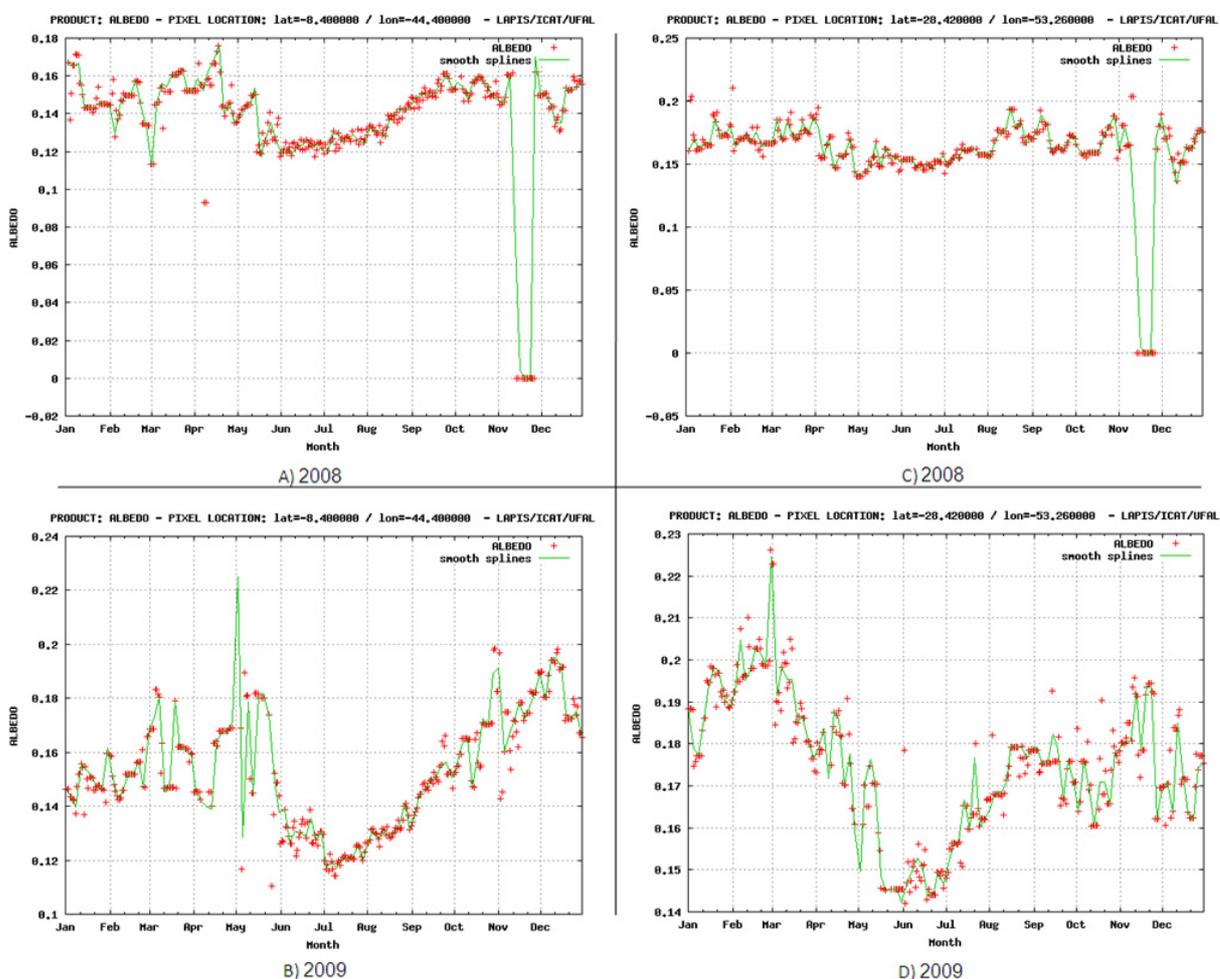


Figura 89. Evolução temporal do albedo da superfície para dois sítios no período entre 2008 e 2009.

Em (A) e (B) foram destacados os valores para a região de Puça-Piauí, e em (C) e (D) para área de agricultura cafeeira, durante os anos de 2008 e 2009. Em vermelho foram representados valores diários de Albedo da superfície e a curva em verde representa uma tendência suavizada da variação dos valores através de interpolação por *splines cúbicas*. No eixo Y foram representados os valores de Albedo da superfície, e no eixo X a variação temporal, dada em meses. Para os dados da temperatura da superfície terrestre (LST), foram processadas as imagens referentes ao dia 01/09/2009. Dada a resolução temporal do produto, obtido a cada 15 minutos, são apresentadas as imagens obtidas a cada seis horas, Figura 90. que ilustram a variabilidade da temperatura da superfície durante o dia considerado.

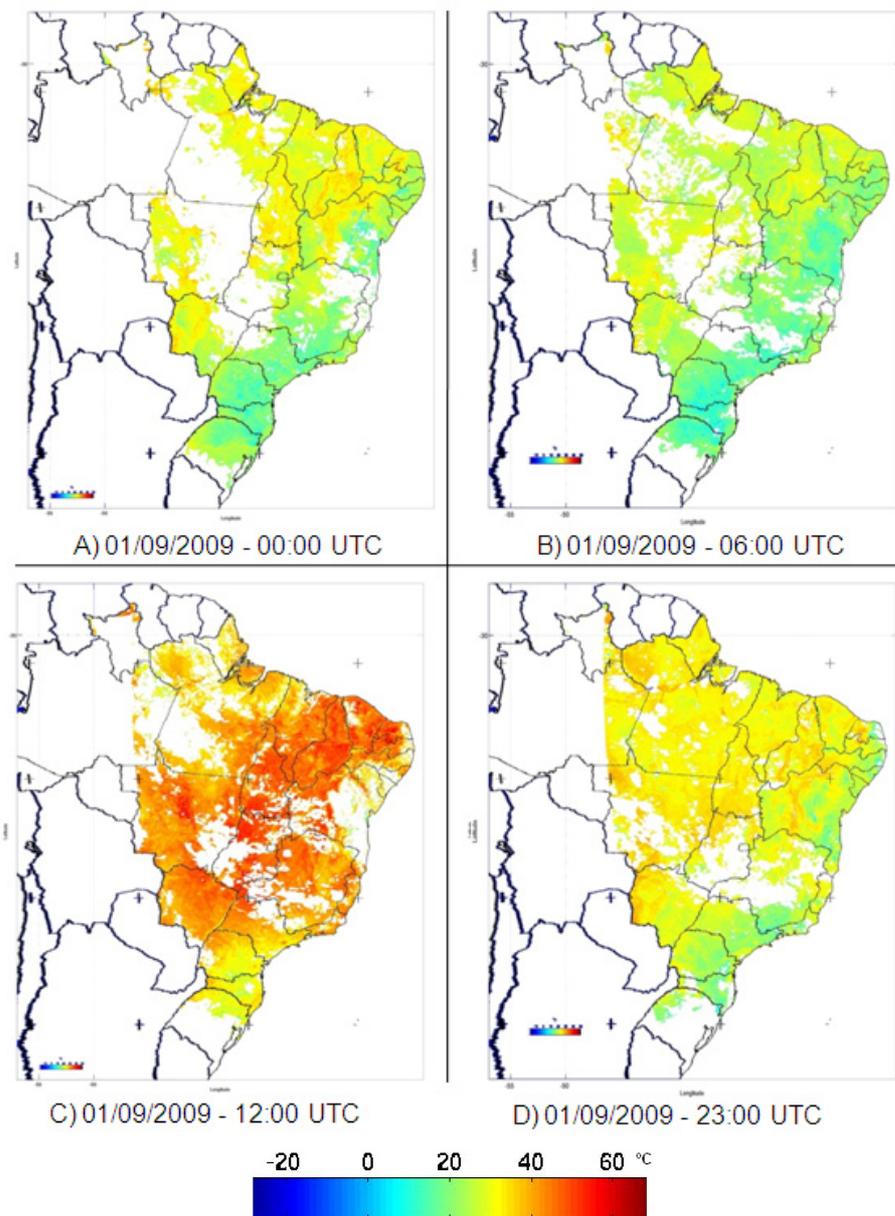


Figura 90. Temperatura da superfície terrestre registrada em 01/09/2009 a cada 6 horas.

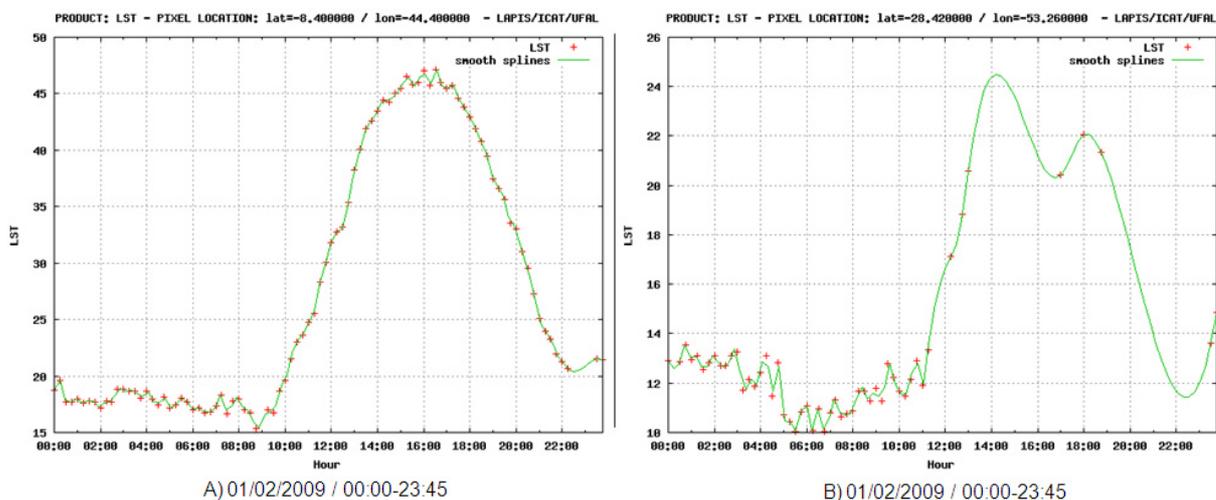


Figura 91. Evolução diária da temperatura da superfície em: A) Puça-Piauí e B) Área de agricultura.

A Figura 91 apresentou a evolução diária da temperatura da superfície para os *pixels*. Em vermelho foram representados valores horários de LST. A curva em verde representa uma tendência suavizada da variação dos valores. No eixo Y foram representados os valores de temperatura, e no eixo X a sua variação temporal, dada a cada 15 minutos, de acordo com a resolução temporal do produto.

#### 4.6 Análise dos produtos para o monitoramento oceanográfico

Em relação aos dados obtidos do projeto O&SI SAF destinados ao monitoramento da TSM, são apresentados exemplo de imagens processadas através do script *CriarProdutosOSI.m*, durante o dia 10 de abril de 2010. Inicialmente são destacados os produtos para o corte setorial MAP, obtidos a cada 12 horas, para a região do oceano Atlântico, mais especificamente sobre a costa do Brasil e da África, e sem seguida, é apresentada a evolução temporal da TSM a cada 3 horas, produto LML, no mesmo dia, sobre a costa do Nordeste brasileiro.

A Figura 92 ilustra a imagem de TSM obtida para o produto MAP.

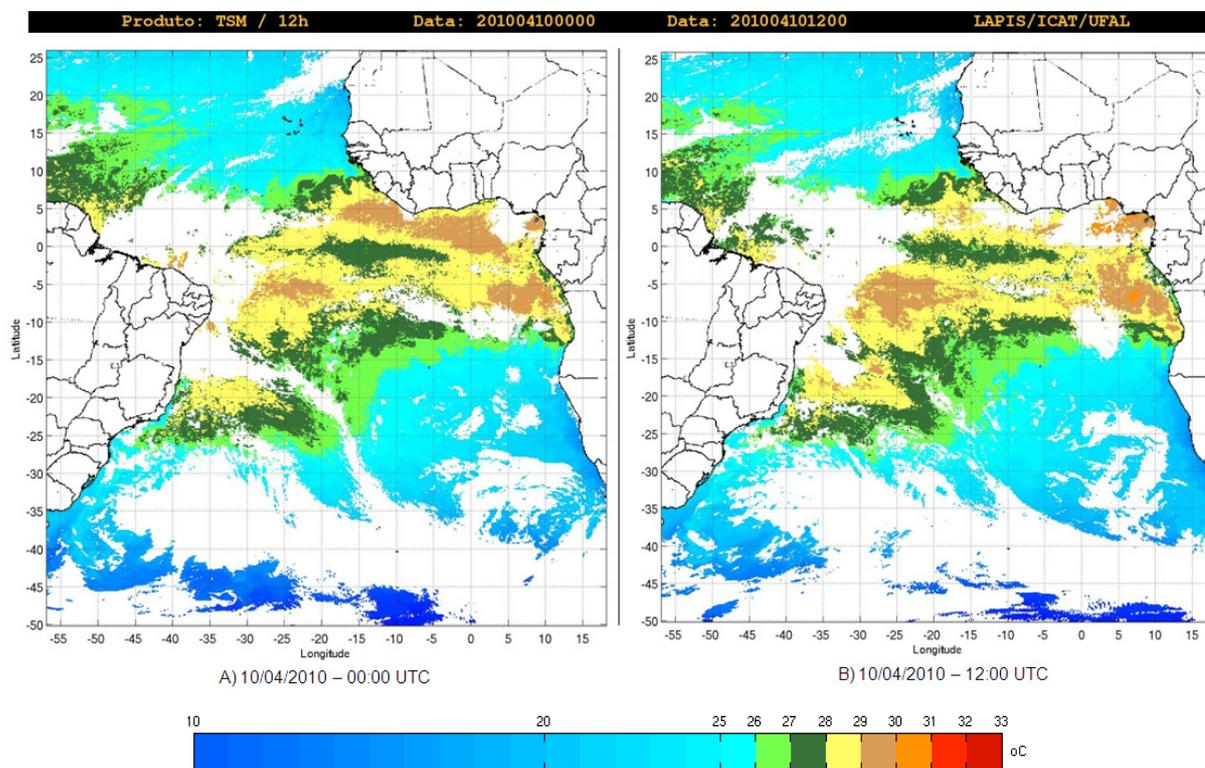


Figura 92. Produto de TSM corte setorial MAP, obtido em: A) 10/04/2010 às 00:00UTC e B) 10/04/2010 às 12:00 UTC.

A imagem foi apresentada na projeção do produto, cilíndrica equidistante, e observa-se a aplicação da escala de cores para realce dos valores de TSM.

Para exemplificar os resultados obtidos através do processamento do produto LML, foi ilustrado, na Figura 93, a variação de TSM ao longo do dia 10/04/2010. Um corte foi feito na imagem destacando a área de parte da costa do nordeste Brasileiro, entre as coordenadas (0°; 40°O) e (20°S; 20°O).

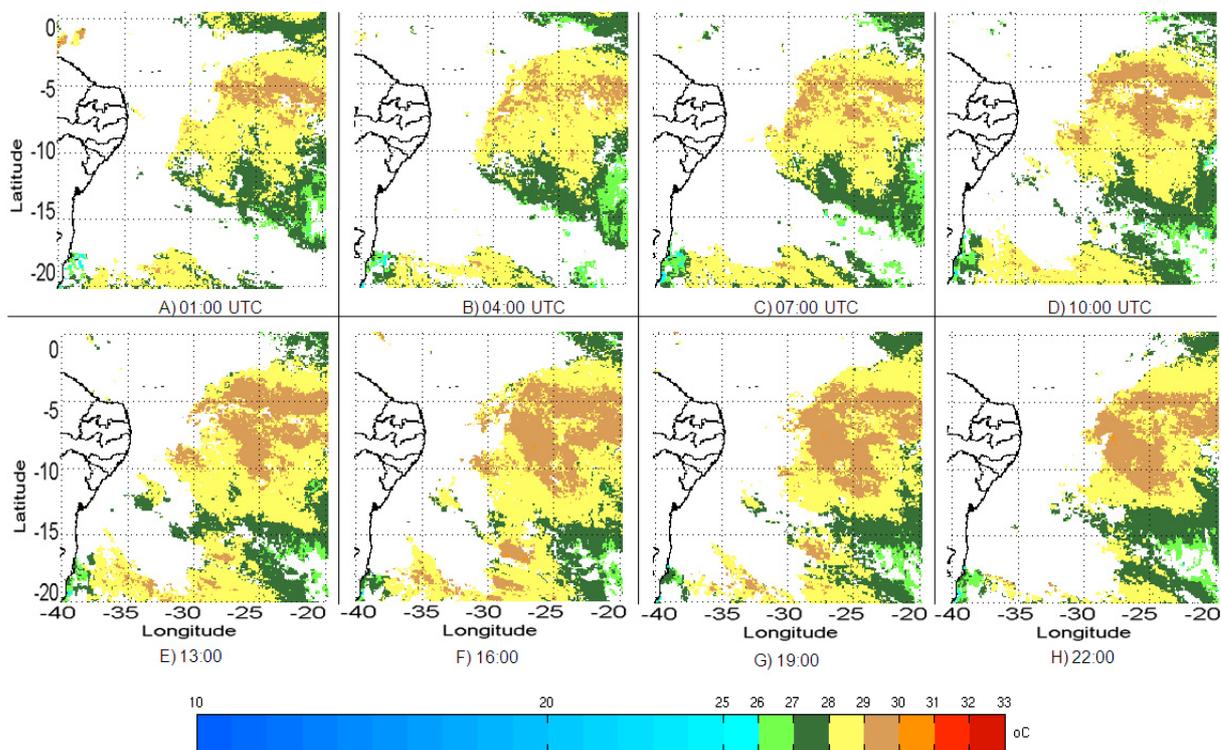


Figura 93. Produto de TSM corte setorial LML, obtido a cada 3 horas no dia 10/04/2010.

Nessa imagem, pode ser percebida a variabilidade da TSM durante o dia com uma alta resolução temporal. O corte realizado na região apresentada teve o interesse de exemplificar a capacidade do monitoramento em regiões específicas da área coberta pelos produtos LML e MAP.

A seguir, apresentam-se os resultados para a aplicação desenvolvida para o acesso dos produtos através da internet. Contando com recursos de visualização, animação e a disponibilização de um banco de imagens.

#### 4.7 Análise do sistema de visualização, animação e banco de imagens

O resultado desta etapa foi um sistema WEB que pode ser acessado pelo endereço eletrônico [www.lapismet.com](http://www.lapismet.com), através do link “Estação de Recepção” mediante o uso de uma conta de acesso que pode ser obtida utilizando-se o formulário “Contatos”, disponível no site. Ao acessar o sistema de animação o usuário tem a opção de visualização dos produtos processados e mencionados

neste trabalho, além de obter maiores informações sobre a funcionalidade do sistema EUMETCast. O conteúdo principal da página inclui um breve histórico da estação instalada no LAPIS, características técnicas das instalações físicas e um banco de dados para acesso as imagens, adicionalmente, disponibiliza-se um guia básico para interpretação dos produtos. As figuras abaixo, ilustram a janela de acesso inicial e menu principal do sistema de visualização e animação de imagens.



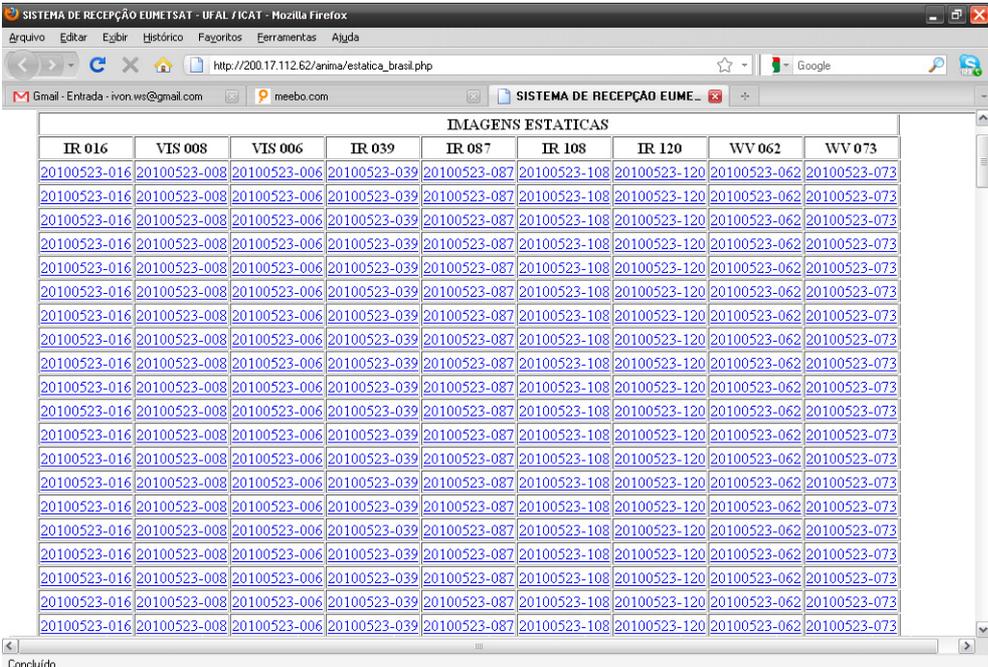
Figura 94. Janela de acesso principal do sistema de visualização e animação de imagens.



Figura 95. Menu principal para acesso aos produtos de monitoramento meteorológico, ambiental e oceanográfico.

Através dos links apresentados no menu principal, o usuário teve acesso a cada janela do sistema, apresentaram-se nelas, as opções de acesso relativas as imagens do monitoramento meteorológico, ambiental e oceanográfico e informações como o histórico do sistema, a estação EUMETCast instalada na UFAL e o guia de interpretação dos produtos.

Em decorrência do uso operacional das aplicações desenvolvidas para processar os produtos, tornou-se necessário a elaboração de um banco de dados, disponibilizando assim, as imagens processadas para recuperação futura, este recurso possibilitou ao usuário, localizar, de forma simplificada as informações coletados durante período de operação da estação. Ele pode ser acessado através do link para monitoramento meteorológico



IMAGENS ESTATICAS								
IR 016	VIS 008	VIS 006	IR 039	IR 087	IR 108	IR 120	WV 062	WV 073
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>
<a href="#">20100523-016</a>	<a href="#">20100523-008</a>	<a href="#">20100523-006</a>	<a href="#">20100523-039</a>	<a href="#">20100523-087</a>	<a href="#">20100523-108</a>	<a href="#">20100523-120</a>	<a href="#">20100523-062</a>	<a href="#">20100523-073</a>

Figura 96. Banco de acesso as imagens processadas.

A interface de acesso ao banco de imagens foi construída de forma atualizar-se dinamicamente, à medida que novas imagens, referentes aos produtos, estão sendo obtidas e processadas. Os produtos encontram-se dispostos em colunas, como o nome do arquivo indica qual a data e horário em que foi realizado o processamento, ele foi utilizado para representar os produtos que foram distribuídos em uma lista de arquivos organizada cronologicamente.

A seguir apresentam-se as conclusões e as possíveis recomendações resultantes do trabalho, além de sugestões para trabalhos futuros.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho procurou apresentar a comunidade de usuários do sistema EUMETCast, como os dados recebidos por este foram processados através das aplicações computacionais desenvolvidas no LAPIS/UFAL. Foram abordados os aspectos de funcionamento do EUMETCast e as etapas de decodificação, geolocalização, calibração radiométrica e visualização das imagens do satélite MSG, que foram destinadas ao monitoramento meteorológico, além, do processamento dos produtos para o monitoramento ambiental e oceanográfico através dos dados recebidos pelos projetos LSA SAF e O&SI SAF.

É importante destacar que os dados brutos foram indispensáveis para a realização deste trabalho, e que o valor da informação está nos produtos finais, obtidos após os dados brutos serem devidamente tratados e transformados. Visto que houve acesso irrestrito a eles, através das aplicações computacionais que foram desenvolvidas, os usuários do sistema EUMETCast podem agregar valor às informações de forma efetiva gerando produtos finais em benefício direto da sociedade.

O processamento realizado dos canais do MSG trouxe ganhos com respeito à interpretação visual dos produtos para monitoramento atmosférico, através da transformação projeção original do satélite, GEOS, para a projeção MERCATOR e a elaboração da divisão político-administrativa, o que aprimorou a observação dos alvos principalmente sobre os países da América do Sul que são cobertos pelo MSG. A decodificação dos parâmetros físicos de cada canal foi um passo importante para se quantificar a resposta espectral fornecida pelo SEVIRI, além de ser essencial para a realização dos processamentos posteriores, como a elaboração das composições coloridas através das diferenças de canais e o realce das imagens do canal (WV\_072) vapor d água e IR\_108 (temperatura de brilho).

Das composições coloridas elaboradas, quatro foram destacadas no trabalho, devido a sua aplicabilidade para o estudo dos fenômenos que se desenvolvem sobre a América do Sul, são elas: a) Natural Colours; b) Airmass; c) Day and Night Microphysical e d) Convective Storms. Elas foram destinadas ao monitoramento da microfísica das nuvens durante o dia e a noite, vegetação, superfície terrestre, massas de ar e sistemas convectivos severos, portanto, conclui-

se que elas são uma ferramenta importante para o monitoramento meteorológico através dos canais multi-espectrais do SEVIRI, e representam uma forma inovadora de observação da atmosfera quando comparado aos métodos tradicionais como a utilização de tabelas LUT. Ainda no contexto do monitoramento meteorológico, foi realizado o realce dos *pixels* nos canais WV\_072 e IR\_108. Destinados ao monitoramento da distribuição de vapor d'água em altos níveis e da temperatura do topo das nuvens e atividade convectiva segundo a metodologia semelhante à proposta por Maddox, (1980). Acompanhou-se, através da ferramenta para a construção dos gráficos, a evolução temporal da temperatura de brilho de um *pixel* localizado sobre o estado do Rio de Janeiro durante os dias 05 e 06 de abril de 2010, quando ocorreu considerável atividade convectiva sobre a região com valores encontrados de até -64.17°C.

Em relação ao monitoramento ambiental, especificamente, os dados dos produtos FVC e Albedo da superfície foram processados no período entre os anos de 2008 a 2009. Apresentaram-se no trabalho exemplos de imagens para os meses de março, junho, setembro e dezembro de 2009 que demonstraram claramente a variabilidade do comportamento da vegetação, no que diz respeito ao estado da cobertura vegetal. Para exemplificar a aplicação da ferramenta desenvolvida para construção de gráficos, foram feitos os gráficos destes produtos para dois *pixels* sobre sítios localizados na cidade de Puça-Piauí, região Nordeste e em uma área de agricultura cafeeira, na região Sul do país. Para exemplificar as informações do produto LST, ele foi processado durante o dia 01/09/2009, e apresentou-se além das imagens obtidas, o gráfico com a evolução temporal da temperatura da superfície ao longo do dia, para os mesmos sítios mencionados anteriormente. Pode-se concluir que as aplicações desenvolvidas atingiram o seu objetivo específico, que foi transformar os dados obtidos em parâmetros biofísicos.

Para os dados de monitoramento oceanográfico considerados, foram apresentados os produtos destinados ao monitoramento da TSM através dos cortes setoriais LML, a cada 3 horas e MAP, a cada 12 horas, para o oceano Atlântico, mais especificamente sobre a costa do Brasil e da África. Houve o destaque de valores de TSM entre aproximadamente 26°C e 33°C como um indicativo da possibilidade de ocorrência da formação de tempestades tropicais.

Apresentaram-se ainda a aplicação desenvolvida para o acesso as imagens através da internet. Ela contou com recursos de visualização e animação dos produtos para o monitoramento meteorológico, ambiental e oceanográfico, além da integração das imagens processada a outras informações. A sua operação se deu em tempo quase-real, onde cada cena apresentada foi constituída por nove imagens que representaram o estado da atmosfera nas ultimas duas horas de observação. O acesso ao banco de imagens, disponibilizado na mesma aplicação, permitiu que os usuários recuperassem os dados processados.

No que diz respeito às dificuldades encontradas, ao realizar o acompanhamento do volume de dados recebidos, apesar da considerável estabilidade do sistema, houve em casos em que ocorreu falta de energia por longos períodos, e conseqüente perda de dados. Após a alimentação ser restabelecida o sistema levou poucos segundos para voltar ao normal e os dados perdidos foram recuperados a partir do software UMARF. Mas, com isso conclui-se que por ser um sistema que funciona através de uma infra-estrutura ligada durante 24 horas, há necessidade do contínuo acompanhamento, para identificar eventuais problemas e realizar o planejamento dos recursos computacionais necessários, principalmente os relacionados ao armazenamento dos dados. Destaca-se ainda que as pesquisas com o sistema EUMETCast em língua portuguesa apenas começaram e por conseqüência houve falta de parâmetros externos que dimensionasse as necessidades específicas dos usuários deste sistema. Isso se deve ao fato do sistema está em fase de desenvolvimento e várias de suas tarefas e necessidades ainda estão em fase de consolidação.

Por fim, ressalta-se que as aplicações computacionais que foram apresentadas podem ser adotadas pelos órgãos operacionais de meteorologia e universidades para fins de pesquisa e ensino, como uma alternativa ao que vem sido oferecido no contexto internacional, onde geralmente há custos onerosos e licenças que restringem a forma que o software pode ser utilizado. Além disso, por possuírem código aberto as aplicações podem ser personalizadas, de forma a atender necessidades específicas de uma instituição.

## 5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Recomenda-se a continuidade desta linha de pesquisa, no que diz respeito ao processamento dos dados fornecidos pelo sistema EUMETCast, mais especificamente sugere-se:

- A) Explorar os canais do satélite e a diferença entre eles com o objetivo de desenvolver novos produtos para o monitoramento meteorológico, especialmente adaptado a estudos sobre a América do Sul.
- B) Aperfeiçoar o sistema de visualização e animação das imagens, incluindo novas funcionalidades, como a elaboração de gráficos on-line e rotinas para explorar os produtos em tempo real.
- C) Elaborar aplicações destinadas à extração dos parâmetros físicos e biofísicos dos produtos, através de uma interface gráfica amigável em ambiente desktop e multiplataforma.
- D) Avaliar os formatos de arquivos possíveis para armazenar os produtos e sua compatibilidade com os softwares comumente utilizados em sensoriamento remoto e geoprocessamento e sua possível integração com o software SPRING e a biblioteca TerraLib.

## 6 REFERÊNCIAS

- BANON, G. J. F. **Formal Introduction to digital image processing**. INPE, São José dos Campos JULHO 2000. Disponível em: <<http://hermes.dpi.inpe.br:1905/dpi.inpe.br/banon/1999/06.21.09.31>> Consulta em:
- BARBOSA, H. A., ETURK, A. G. Índice diário de vegetação estimado com imagens multiespectrais do satélite METEOSAT Segunda Geração. Universidade Federal-UFAL/ICAT. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, Anais. Natal. 2009. CD-ROM.
- BARTH, A. **Loadgrib, a GRIB decoder for Octave**. 2006. Disponível em: <http://ocgmod1.marine.usf.edu/loadgrib/>. Acesso em:
- BOOR, C. **A Practical Guide to Splines**, New York: Springer-Verlag Press. 2001.
- BUGALHO, L.; PESSANHA, F., Aplicação dos produtos distribuídos pela LSA SAF. **Artigo do Instituto de Meteorologia**, Portugal. 2008.
- CERMAK, J.; BENDIX, J.; DOBBERMANN, M. **FMet—an integrated framework for Meteosat data processing for operational scientific applications**. Elsevier: Computers e Geociences. 2008.
- ELBERT, B. R. **Introduction to Satellite Communication**, Artech House, 1999.
- EUMETSAT, **About EUMETSAT**. Darmstadt, Alemanha. 2010. Disponível em: [www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT](http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT). Acesso em 28 jan, 2010, 17:22.
- \_\_\_\_\_. **Aim of GEONETCast**. Darmstadt, Alemanha. 2010b. Disponível em: [http://www.eumetsat.int/HOME/Main/What\\_We\\_Do/Technical\\_Cooperations/GEONETCast/](http://www.eumetsat.int/HOME/Main/What_We_Do/Technical_Cooperations/GEONETCast/). Acesso em 28 jan, 2010, 17:30.
- \_\_\_\_\_. **Conversion from Radiances to Reflectances for SEVIRI Warm Channels**, Darmstadt, Alemanha. 2006.
- \_\_\_\_\_. **EUMETCast - EUMETSAT's Broadcast System for Environmental Data**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha. 2006.
- \_\_\_\_\_. **EUMETCast - System Description**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha 2008.
- \_\_\_\_\_. **LRIT/HRIT Global Specification**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha 1999.
- \_\_\_\_\_. **Meteosat Second Generation MSG - System Overview**. EUM TD 07. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha. 2001.
- \_\_\_\_\_. **MSG Channel Spectral Bands**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha. 2005.
- \_\_\_\_\_. **MSG Ground Segment LRIT/HRIT Mission Specific Implementation**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha. 2006.

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

GOVAERTS, Y. A. A.; SCHEMTZ J. **Operational vicarious calibration of the MSG/SEVIRI solar channels**. Advances Spaces Research. 2001.

GOVAERTS, Y., WAGNER, S., CLERICI, M. **SEVIRI native format pre-processing toolbox user's guide—SPT**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha. 2007.

IBGE, **Produto Malha Municipal Digital do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro, 2007. <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 30 de março de 2010, 18:02.

KAMPEL, M. **Aplicações Ambientais Brasileiras dos Satélites NOAA e TIROS-N. Oficina de Textos**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

KERK, MAXIMILIAN., **Design and integration of a EUMETCast receiving installation..** Monografia (Bacharelado em Computação Aplicada), Berufsakademie Stuttgart, 2008. Disponível em: [http://www.lehre.dhbw-stuttgart.de/~sto/public/stud\\_arb/2007/Eumetcast.pdf](http://www.lehre.dhbw-stuttgart.de/~sto/public/stud_arb/2007/Eumetcast.pdf).

LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica**. São Paulo. Atlas, 1995.

LEE, T. F.; TURK, F. J.; RICHARDSON, K. **Stratus and fog products using GOES-8–9 3.9- $\mu$ m data**. Wea. Forecasting. 1997.

LENSKY, I.M., ROSENFELD, D. **Clouds-Aerosols-Precipitation Satellite Analysis Tool (CAPSAT)**. Atmospheric Chemistry and Physics, 2008. Disponível em: <[www.atmos-chem-phys.org/8/6739/2008/acp-8-6739-2008.pdf](http://www.atmos-chem-phys.org/8/6739/2008/acp-8-6739-2008.pdf)>.

MADDOX, R.A. **Mesoscale convective complexes**. Bull. American Meteorology Society, v. 61, 1980.

MAHOVIC, S.N.; ZEINER, B. **Application of Meteosat SEVIRI channel difference 0.6  $\mu$ m–1.6  $\mu$ m in convective cells detection**. Atmospheric Research. 2008. Disponível em: <[www.eumetsat.int/idcplg?IdcService=GET\\_FILE...PDF...P..](http://www.eumetsat.int/idcplg?IdcService=GET_FILE...PDF...P..)>. Consulta em:

MASIKA, S. P. **Meteosat Second Generation (MSG) Cloud Mask, Cloud Property Determination and rainfall comparison with in-situ observations**. ITC. 2007.

MENZEL, W. P.; PURDOM, J.F.W. **Introducing GOES-I: The first of a new generation of geostacionary operational environmental satellites**. American Meteorology Society. 1994. Disponível em: <[www.iode.org/components/com\\_oe/oe.php?task=download...](http://www.iode.org/components/com_oe/oe.php?task=download...)>. Consulta em:

NOBREGA, T.; SILVA JUNIOR, I. W.; BARBOSA, H. A, **IEWSATT a Decoding and Processing Software Tool for MSG Data**, WORLDCOMP'09, Las Vegas-EUA, 2009.

O&SI SAF, **Product Manual – Atlantic Sea Surface Temperature**, Météo-France, Lenion, França. 2006. Disponível em: <[http://www.osi-saf.org/biblio/docs/ss1\\_pmatlsst\\_1\\_6.pdf](http://www.osi-saf.org/biblio/docs/ss1_pmatlsst_1_6.pdf)> Consulta em:

OLIVEIRA, S.L. **Tratado de metodologia científica: projetos de pesquisa, TGI, TCC, Monografias, Dissertações e Teses**. São Paulo: Pioneira, 1997.

Operation News, **OSI-SAF products move to SAF-Global channel and become available to users in Africa and America**. Darmstadt, Alemanha. 2010. Disponível em: <http://www.eumetsat.int/Home/Main/News/OperationalNews/716402?l=en>. Acesso em 30 mar, 2010, 10:21.

PILI, P. **Calibration of SEVIRI**. Meteorological Satellite Data Users Conference. Bologna, Italy. 2000. Disponível em: < [www.eumetsat.int/idcplg?IdcService=GET\\_FILE...pdf...](http://www.eumetsat.int/idcplg?IdcService=GET_FILE...pdf...)>. Consulta em:

PRESTRELO, F. **Descrição do sistema EUMETCast e sua contribuição para os centros operacionais de meteorologia**. Monografia (Bacharelado em Meteorologia), ICAT-UFAL. 2008.

PRIETO, J. **The use of remote sensing in characterising the atmospheric state**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha 2002.

PUM, **Product User Manual – Land Surface Albedo**, LSA-SAF, Portugal, 2006.

\_\_\_\_\_. **Product User Manual – Land Surface Temperature**, LSA-SAF, Portugal, 2006.

\_\_\_\_\_. **Product User Manual – Vegetation Parameters (FVC, LAI, FAPAR)**, LSA-SAF, Portugal, 2008.

RODDY, D. **Satellite Communications**. McGraw-Hill Professional, 2006. Disponível em: < [www.mhprofessional.com/product.php?isbn...](http://www.mhprofessional.com/product.php?isbn...) > Consulta em:

ROESLI, H. **Introduction to Differences and RGB Composites**. MSG, **Interpretation Guide**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha. 2004. Disponível em: < [www.eumetsat.org/WEBOPS/msg\\_interpretation/.../IntroRGB.ppt](http://www.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/.../IntroRGB.ppt) > Consulta em:

ROSENFELD, D. **Conversion From Counts To Radiances And From Radiances To Brightness Temperatures And Reflectances**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha. 2005. Disponível em: < [oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg.../conversion\\_20050225.ppt](http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg.../conversion_20050225.ppt)> Consulta em:

SANTURETTE, P., GEORGIEV C. G. **Weather Analysis and Forecasting: Applying Satellite Water Vapor Imagery and Potential Vorticity Analysis**. Academic Press, San Diego, 2005.

SCHEMTZ J.; PILI, P. **Seviri Calibration**. American Meteorology Society. 2002.

SCHILLER J. **Mobile Communication**. Pearson Studium, 2003.

SCHEMTZ J.; HOLMLUND, K.; ROESLI, P. H.; LEVIZZANI, P. **On the use of Rapid Scans**. 5th International Winds Workshop. Lorne, Australia. 2000. Disponível em: < [www.isac.cnr.it/~meteosat/papers/windworkshop.pdf](http://www.isac.cnr.it/~meteosat/papers/windworkshop.pdf)> Consulta em:

SCHEMTZ J.; GOVAERTS, Y.; KÖNIG, M.; LUTZ, H.; RATIER A.; TJEMKES, S. **A short introduction to Meteosat Second Generation (MSG)**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha. 2005. Disponível em: <oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg.../schmetz7july.doc -> Consulta em:

\_\_\_\_\_. RATIER, A.; ROTA, S.; TJEMKES, S. **Meteosat Second Generation (MSG): Capabilities and Applications**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha. Disponível em: <ams.confex.com/ams/pdfpapers/23827.pdf> Consulta em:

\_\_\_\_\_. TJEMKES, S.; JUST, D.; KERKMANN, J.; ROTA, S.; RATIER A. **An introduction to Meteosat Second Generation (MSG)**. American Meteorological Society. 2002. Disponível em: <www.met.wau.nl/education/atmospract/unit10/MSG.pdf> Consulta em:

SCHMID, J. **The SEVIRI Instrument**, ESA/ESTEC, Keplerlaan 1. 2002. Disponível em: <www.eumetsat.int/groups/ops/.../pdf\_ten\_msg\_seviri\_instrument.pdf -> Consulta em:

SILVA, I.W.; CRUZ, P.P.; BARBOSA H. A.; FERREIRA E. **Processamento e Calibração Radiométrica dos Dados Meteosat de Segunda Geração Na Universidade Federal de Alagoas**. 2009.

SOUZA, P.E.U **Calibração radiométrica de câmera CCD/CBERS-1**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), São José dos Campos, 2003. Disponível em: <www.obt.inpe.br/pgsere/Souza-P-E-U.../RADIOMETRICA.pdf> Consulta em:

TJEMKES, S.; SCHMETZ, J. **Radiative Transfer Simulations for the Thermal Channels of METEOSAT Second Generation**. EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha, 1998. Disponível em: <www.eumetsat.int/idcplg?IdcService=GET\_FILE&dDocName.> Consulta em:

USD. **Best practices for RGB compositing of multi-spectral imagery, User Service Division**, EUMETSAT, Darmstadt, Alemanha. 2005. Disponível em: <oiswww.eumetsat.org/~idds/html/doc/best\_practices.pdf> Consulta em:

VAREJÃO, S. M. A. **Meteorologia e Climatologia**, INMET, Brasília, 2000.

WILDT, R. M.; SEIZ, G.; GRUN, A. **Snow Mapping Using Multi-Temporal Meteosat-8 Data**. EARSel eProceedings 5. 2006. Disponível em: <las.physik.uni-oldenburg.de/eProceedings/.../05\_1\_de-ruyter1.pdf > Consulta em :

## **7 APÊNDICES**

## APÊNDICE I- CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE RECEPÇÃO

### O que é EUMETCast?

Tecnicamente, o EUMETCast é um sistema que utiliza o protocolo de comunicação DVB (Digital Video Broadcast). Este protocolo é um padrão que foi desenvolvido para a transmissão de vídeo na forma digital e trabalha com a estratégia de transmissão de dados denominada multicast. Por sua vez, esta estratégia busca enviar dados e produtos de forma eficiente para múltiplos pontos distintos ao mesmo tempo. Para isso, neste caso, são utilizados satélites de telecomunicações e o padrão semelhante ao usado para transmissão de vídeo e TV digital. Adicionalmente é necessário ter softwares específicos que trabalhem com este protocolo e estratégia de transmissão, como o caso do TELLICAST CLIENT, que é um software que trabalha com o protocolo IP (Internet Protocol) em modo multicast desenvolvido pela Tellitec.

O acesso a maioria dos dados e serviços é restrito a usuários cadastrados no sistema, sendo que a autorização para acesso e decodificação dos dados é feita utilizando-se uma chave denominada ECU (EUMETCast Key Unit). Ela é fornecida pela EUMETSAT juntamente com um CD contendo todos os softwares necessários para a instalação da estação de recepção.

O modelo da estação de recepção empregado na UFAL, Figura 97, permitiu a utilização dos dados recebidos em caráter operacional, portanto, assim que os produtos de monitoramento foram sendo recebidos, imediatamente realizaram-se os processamentos necessários para disponibilizá-los aos usuários, sendo que para isso, houve a inclusão adicional de um computador destinado ao processamento dos dados e de equipamentos como switch de rede (para interconexão dos computadores), no-breaks e módulos de bateria (para autonomia do fornecimento de energia elétrica), de forma a garantir de forma eficiente os recursos de rede e energia elétrica durante o funcionamento da estação.

No computador destinado a recepção dos dados é necessário a instalação de uma placa de recepção padrão DVB, neste trabalho foi utilizada a placa PCI DVB SkyStar 2, homologada pela EUMETSAT para operar com a recepção de dados através do sistema EUMETCast.



Figura 97. Modelo de estação de recepção EUMETCast empregado na UFAL, a configuração envolveu uso de computadores destinados a recepção e processamento e módulos de bateria

A seguir, são apresentados os componentes envolvidos na configuração da estação e o procedimento realizado para configuração dos softwares utilizados.

### **Configuração do sistema de recepção EUMETCast**

A configuração do sistema EUMETCast pode ser dividida em três seções, sendo: a) Configuração da placa de recepção DVB e software Setup4PC b) Instalação e configuração da ECU e c) Instalação e configuração do software TELLICAST CLIENT. As configurações apresentadas aqui, são relevantes para usuário que possuam a placa de recepção DVB SkyStar 2, que foi utilizada neste trabalho e é recomendada pela EUMETSAT através da documentação técnica EUMETSAT (2006).

#### **A) Configuração da placa de recepção DVB e software Setup4PC**

Inicializando-se o computador com a placa DVB devidamente instalada, o software de instalação foi inicializado quando inserido o CD-ROM de instalação que acompanhou a placa DVB Skystar2. Ao se concluir a instalação um ícone foi

apresentado na barra de tarefas (System Tray), posicionado no canto inferior direito da área de trabalho, ao lado do relógio do sistema, ele apontou para o software utilizado para realizar as configurações do transponder e do serviço de recepção de dados. Seguem-se os passos realizados para configuração do software Setup4PC.

### 1- Configuração do LNB para receber o sinal do NSS-806:

Ao clicar no ícone de acesso ao software Setup4PC a janela ilustrada na Figura 98 foi apresentada.

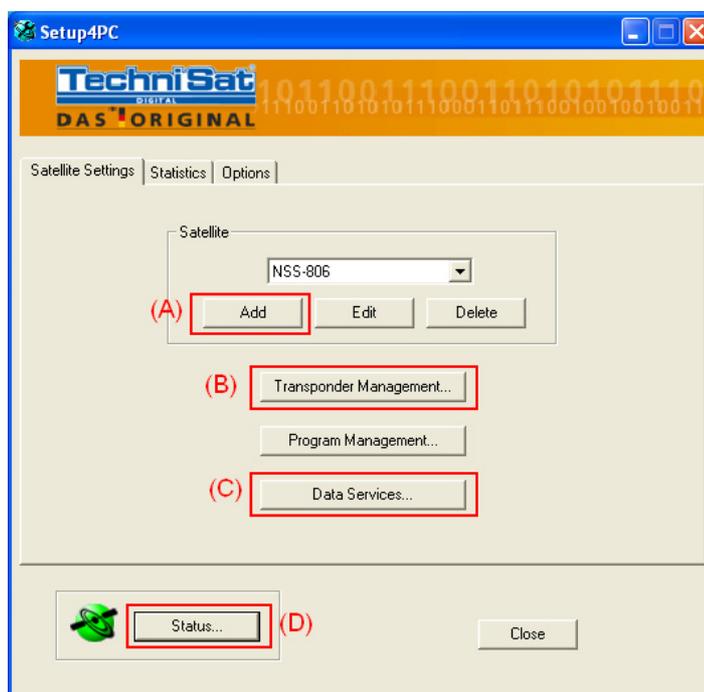


Figura 98. Janela principal do software Setup4PC.

Seleciono-se a opção ADD, em destaque na figura, para inserir o satélite NSS-806. As configurações das frequências do LNB que foram usadas para o ajuste da antena que foi apontada para o NSS-806 são apresentadas na Figura 99:

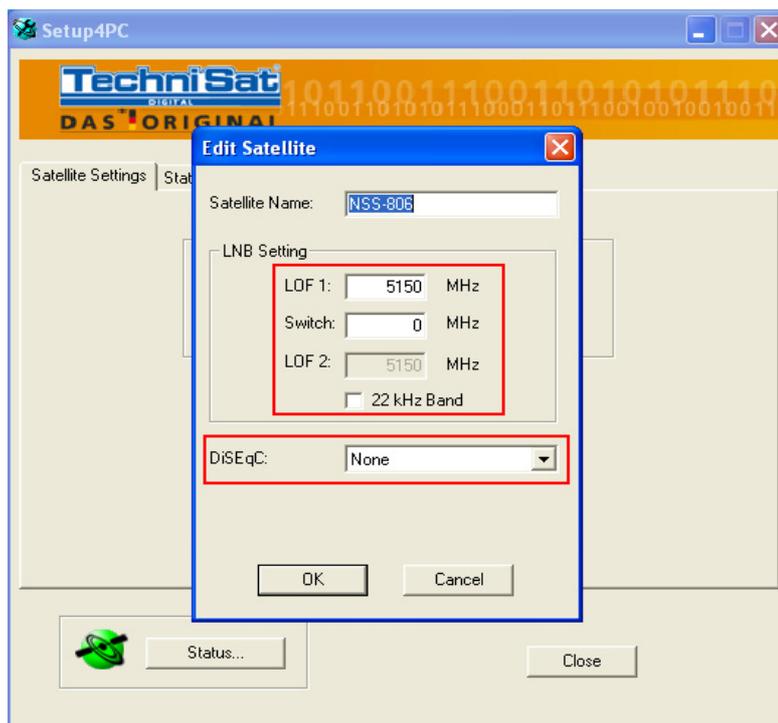


Figura 99. Janela para configuração do LNB.

As frequências apresentadas acima são válidas para o LNB do tipo LNB Universal monoponto, o parâmetro DiSEqC foi desabilitado, sua configuração é necessária somente no caso da utilização de um LNB multiponto. Em seguida, acessou-se o Item (B), da Figura 98, Transponder Management. Apresentado na Figura 100.

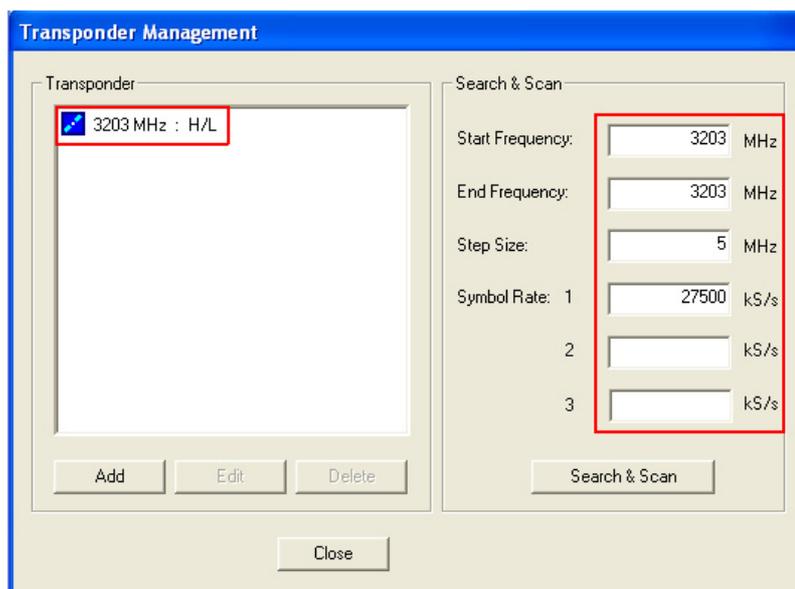


Figura 100. Janela para Configuração do Transponder.

A frequência inicial e final para a localização do NSS-806 foi configurada como 3203 MHz. Segundo EUMETSAT (2006) o valor padrão da frequência para o

“Down Link” em banda C seria de 3803 MHz, mas devido às características eletrônicas do LNB Universal utilizado esse valor foi ajustado para 3203 MHz. O valor do “Symbol Rate” permaneceu o padrão, 27500 kS/s. A polarização configurada foi a “Horizontal/Left(High)” e o parâmetro FEC configurado para 3/4.

## 2- Configuração dos serviços de dados:

Ao clicar no item (C) da Figura 98 apresentou-se a janela para a configuração dos serviços de dados fornecidos pelo sistema EUMETCast. Primeiramente foi configurado o nome do provedor de dados, ao clicar no botão Add na área “Provider Name” foi atribuído a palavra EUMETCast, em seguida foi adicionado o transponder, configurado no passo anterior, clicando-se no botão Add da área “Transponder”. As configurações realizadas são exibidas na Figura 101.

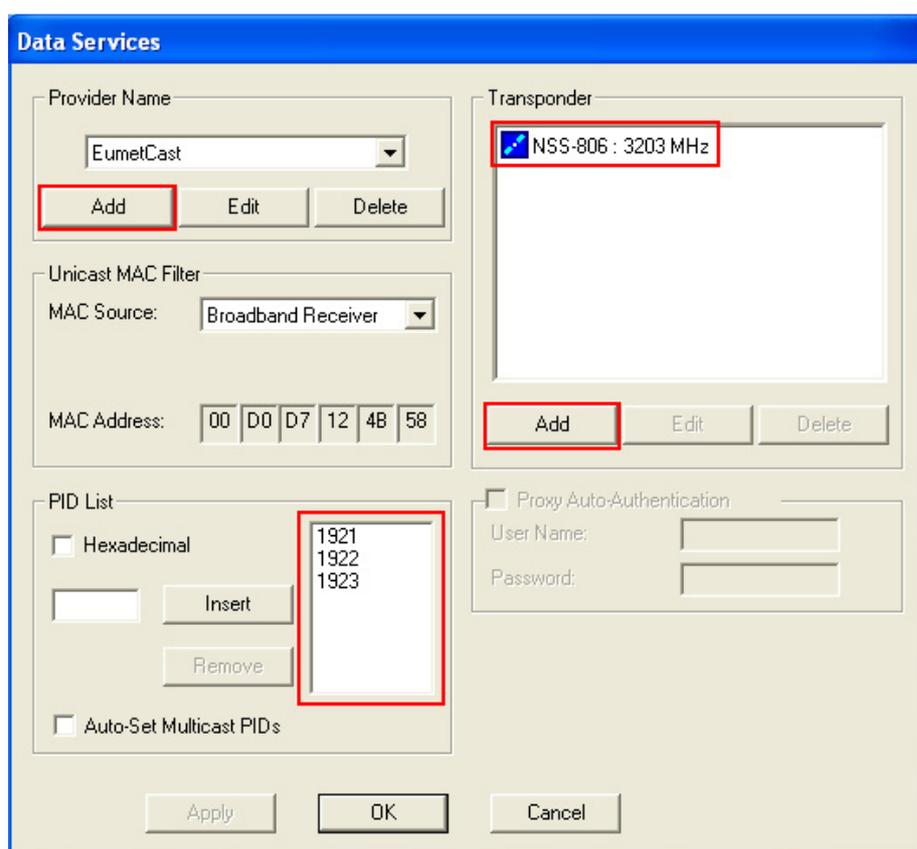


Figura 101. Configuração dos serviços de dados e PID's.

O próximo passo realizou a configuração dos PID's (Packet Identifiers), eles foram utilizados para indicar ao software TELLICAST CLIENT quais os dados que deverão ser recebidos, uma listagem completa dos PID's disponibilizada pela EUMETSAT para o sistema EUMETCast é acessível pelo endereço: [http://www.eumetsat.int/Home/Main/What\\_We\\_Do/EUMETCast/Reception\\_Station\\_S](http://www.eumetsat.int/Home/Main/What_We_Do/EUMETCast/Reception_Station_S)

et-up. Estes valores podem ser configurados através da notação decimal ou hexadecimal. Para manter padrão semelhante ao adotado pela EUMETSAT, foi escolhida a notação decimal desmarcando-se o checkbox “Hexadecimal” na área “PID List”.

### 3- Alinhamento da antena e verificação do sinal

Para realizar o alinhamento da antena foi utilizado o endereço eletrônico <http://www.dishpointer.com/> que a partir das coordenadas geográficas do local onde foi instalada a antena e a localização do satélite NSS-806, forneceu os valores de elevação e azimute no qual a antena deveria ser direcionada. Para a localização do NSS-806 a 40.5W, e o ponto (9°33,3'S; 35°46,6'O) como localização da estação da UFAL, foram fornecidos os valores de 77.5° para o ângulo de elevação e 333.5° para azimute considerando o Norte como referencial. Após alinhamento da antena a qualidade do sinal recebido foi verificada através do item (D) “Status”, ilustrado na Figura 102.

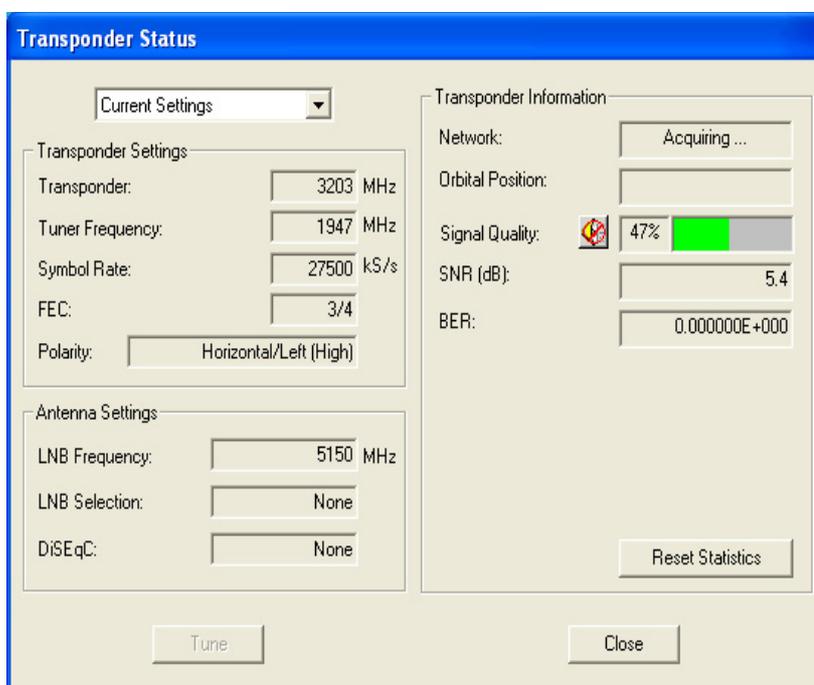


Figura 102. Sinal recebido pela estação EUMETCast instalada na UFAL.

O sinal não permanece constante, ele oscila cerca de 5% para mais ou para menos, porém, um sinal em torno de 47% é considerado de boa qualidade.

O software Setup4P monitora a qualidade do sinal constantemente, e classifica-o em cores. Sendo a cor verde usada para indicar um sinal de boa até alta qualidade, a cor amarela um sinal de média qualidade, aceitável em carácter operacional. O sinal de baixa qualidade que causa travamentos na recepção dos dados é indicado pela cor vermelha e considerado como inaceitável.

Ressalta-se ainda que o monitoramento da qualidade do sinal através do software pode ser utilizado para realizarem-se ajustes no posicionamento da antena, a fim de maximizar a potência do sinal, dispensando a utilização de equipamentos mais sofisticados como analisadores de espectro.

## B) Instalação e configuração da ECU

A chave de acesso ECU atua em conjunto com o software eToken, sua instalação foi feita através da localização do software PKIClient-x32-4.5\_signed.msi, contido no cd fornecido pela EUMETSAT. Após execução desse software a janela indicada na Figura 103 foi apresentada.

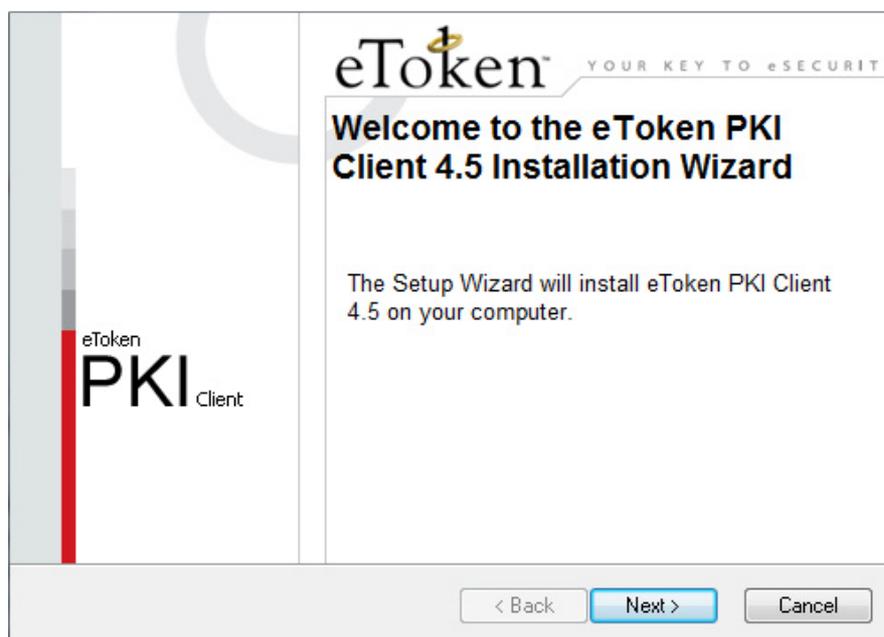


Figura 103. Instalação do software eToken.

Procedeu-se com a instalação padrão para software no ambiente Windows, e em seguida o computador foi reiniciado e fez-se a instalação da chave ECU em uma porta USB disponível. Um LED vermelho presente no ECU é acessado quando a chave está devidamente configurada.

### C) Instalação e configuração do software TELLICAST CLIENT

O software TELLICAST CLIENT tem a função de realizar a autenticação do usuário junto ao sistema EUMETCast e gerenciar o armazenamento dos dados em disco. A chave de acesso EKU atua em conjunto com o TELLICAST permitindo o acesso aos serviços restritos ao usuário. Além da instalação do software foi necessário realizar a configuração dos arquivos `recv.ini` e `recv-channels.ini`. O primeiro contém os parâmetros de inicialização e os dados para autenticação do usuário. O segundo foi utilizado para seleção dos diretórios de destino para os arquivos que foram recebidos.

A instalação do TELLICAST foi realizada no computador destinado a recepção dos dados, a partir da execução do software `t-system-setup.exe` contido no CD fornecido pela EUMETSAT. O local padrão da instalação é no diretório `C:\Arquivos de Programas\T-Systems\BusinessTV-IP`, e durante a instalação os arquivos de configuração foram copiados para este diretório.

O conteúdo do arquivo `recv.ini` é ilustrado na Figura 104, e em vermelho foi destacado as modificações que foram realizadas nas linhas do arquivo, o conteúdo que não foi destacado permaneceu com as configurações originais.

```

recv - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
# additional files: see license.ini, recv-channels.ini (optional)
# for more information on file format use help menu in Tellicast shell
# 2-4-3 10-10-2005

[recipient]
user_name=***** (A)
user_key=***** (A)

[shell]
login=none
port=2517
refresh=3

[watchdog]
#error_script=none./error.sh
#error_script_cause_announcement=30

[logging]
log_file_size=1000000
log_file_number=30
log_level=normal

[locations]
file_database_directory=z:\receiving (B)
log_file=>>recv.log
license_file=C:\Arquivos de programas\T-Systems\BusinessTV-IP\license.ini
channels_file=C:\Arquivos de programas\T-Systems\BusinessTV-IP\recv-channels.ini

[announcement_channel]
address=224.223.222.223:4711
name=TSL Announcement Channel

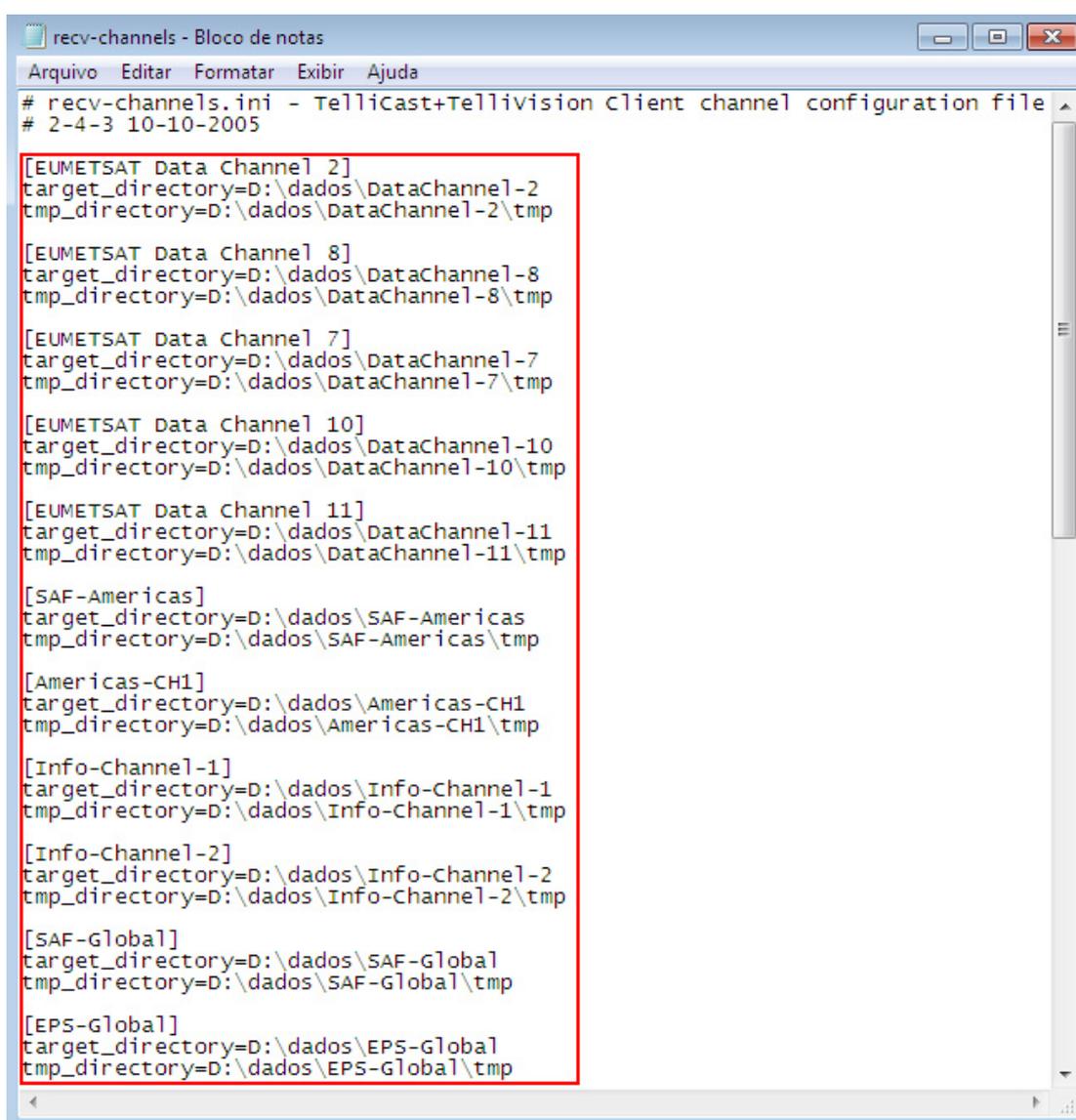
[parameters]
interface_address=192.168.238.238
file_database_size=83000000 (C)
#file_delivery_counter=50
file_delivery_speed=20000000

```

Figura 104. Arquivo de configuração `recv.ini`.

Em (A) inseriram-se o nome e a senha de acesso, fornecidos pela EUMETSAT, os asteriscos apresentados são ilustrativos com objetivo de omitir esses dados. Em (B) alterou-se o valor padrão de forma a apontar o diretório de recebimento temporário para o caminho z:\receiving. Esse diretório foi usado para o armazenamento temporário de fragmentos dos arquivos até que a recepção completa fosse concluída, esta é uma tarefa crítica que não pode ser interrompida e está diretamente ligada a limitações físicas do computador. Para otimizar essa tarefa, houve a configuração de um RAM DISK. Utilizou-se o software AR RAM DISK para criar o diretório z:\receiving para armazenamento temporário e em (C) fez-se a configuração do tamanho para o diretório criado.

A Figura 105. Ilustra as configurações feitas no arquivo recv-channels.ini.



```
recv-channels - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
# recv-channels.ini - TelliCast+TelliVision Client channel configuration file
# 2-4-3 10-10-2005

[EUMETSAT Data Channel 2]
target_directory=D:\dados\DataChannel-2
tmp_directory=D:\dados\DataChannel-2\tmp

[EUMETSAT Data Channel 8]
target_directory=D:\dados\DataChannel-8
tmp_directory=D:\dados\DataChannel-8\tmp

[EUMETSAT Data Channel 7]
target_directory=D:\dados\DataChannel-7
tmp_directory=D:\dados\DataChannel-7\tmp

[EUMETSAT Data Channel 10]
target_directory=D:\dados\DataChannel-10
tmp_directory=D:\dados\DataChannel-10\tmp

[EUMETSAT Data Channel 11]
target_directory=D:\dados\DataChannel-11
tmp_directory=D:\dados\DataChannel-11\tmp

[SAF-Americas]
target_directory=D:\dados\SAF-Americas
tmp_directory=D:\dados\SAF-Americas\tmp

[Americas-CH1]
target_directory=D:\dados\Americas-CH1
tmp_directory=D:\dados\Americas-CH1\tmp

[Info-Channel-1]
target_directory=D:\dados\Info-Channel-1
tmp_directory=D:\dados\Info-Channel-1\tmp

[Info-Channel-2]
target_directory=D:\dados\Info-Channel-2
tmp_directory=D:\dados\Info-Channel-2\tmp

[SAF-Global]
target_directory=D:\dados\SAF-Global
tmp_directory=D:\dados\SAF-Global\tmp

[EPS-Global]
target_directory=D:\dados\EPS-Global
tmp_directory=D:\dados\EPS-Global\tmp
```

Figura 105. Arquivo de configuração recv-channels.ini.

As configurações padrões desse arquivo foram completamente substituídas pelas observadas acima e envolvidas pelo retângulo vermelho. Para cada um dos serviços oferecidos pelo EUMETCAST foram criados diretórios distintos, indicados pelos parâmetros *target\_directory* e *tmp\_directory*. A configuração padrão do TELLICAST agrupava todos os arquivos em uma única pasta, o que dificultou o processo de recuperação dos dados e a separação dos arquivos de acordo com o serviço contornou esse problema, facilitando-se assim a recuperação dos dados em caráter operacional.

Ao término das etapas de instalação, acessou-se o endereço <http://localhost:2715>, e considerando que todas as etapas foram concluídas com sucesso a janela apresentada na Figura 106 é exibida no navegador, ao se acessar o item Active Channels no menu esquerdo.

TELLICAST Multicast Distribution System Client 2.4.4 B

Status: OK Host: LAPIS06 Date: 2010-04-22 13:02:25 UTC

Active Channels

Announcement Channel:

Name	State	Priority	Bandwidth	Received Bytes	Info
TSL Announcement Channel	Active	0	400000	16602975859	Info

Data Channels:

Name	State	Priority	Bandwidth	Received Bytes	Info
EPS-Global	Active	500	60000	163447	Info
EUMETSAT Data Channel 2	Active	500	1688000	4466982	Info
EUMETSAT Data Channel 7	Active	500	273000	868649	Info
SAF-Americas	Active	500	91000	755681	Info

Figura 106. Software TELLICAST CLIENT configurado para o sistema EUMETCast.

Em (A) destacou-se a conexão com canal de anúncio devidamente estabelecido e em (B) para os canais para os serviços de dados que foram configurados no arquivo *recv-channels.ini*.

## APÊNDICE II-FUNÇÕES DE GEOLOCALIZAÇÃO DISPONIBILIZADAS PELA EUMETSAT

As funções *geoord2pixcoord* e *pixcoord2geoord* foram utilizadas para realizar o processo de transformação de coordenadas geográficas em coordenadas da imagem em projeção GEOS, e vice-versa. Elas foram convertidas da linguagem C para o Octave em scripts com o mesmo nome da função, adicionalmente comentários fazem referência às equações apresentadas nas seções 2.3.1; 2.3.2 e 2.3.3. A Figura 107 ilustra o script *geoord2pixcoord.m*.



```

1 %Funcao de Navegacao MSG, Versao para Octave
2 %IVON WILSON JUNIOR - ivon.ws@gmail.com - 20090817
3 %UFAL/ICAT/LAPIS
4 function [col, lin] = geoord2pixcoord(lat, lon, COFF, LOFF, CFAC, LFAC)
5 PI=3.14159265359; % PI %
6 SAT_HEIGHT=42164.0; % Distancia da Terra ao Centro do Satelite %
7 R_EQ=6378.169; % Raio, Centro da Terra ao Equador %
8 R_POL=6356.5838; % Raio, Centro da Terra aos Polos %
9 SUB_LON=0.0; % Longitude do ponto Sub-Satelite %
10
11 lati=lat; longi=lon;
12 if (lati < -90.0 || lati > 90.0 || longi < -180.0 || longi > 180.0 )
13     lin=-999 col=-999;
14     return; %valores invalidos de entrada
15 end
16 lat = double(lati*PI) / 180.0;
17 lon = double(longi *PI) / 180.0;
18 %Equacao (7)
19 c_lat = atan ( (0.993243*(double(sin(lat))/cos(lat)) ));
20 %Equacao (8)
21 re = double(R_POL) / sqrt( (1 - 0.00675701 * cos(c_lat) * cos(c_lat)) );
22 %Equacao (9)
23 rl = re;
24 r1 = SAT_HEIGHT - rl * cos(c_lat) * cos(lon - SUB_LON);
25 r2 = -rl * cos(c_lat) * sin(lon - SUB_LON);
26 r3 = rl * sin(c_lat);
27 %Equacao (10)
28 rn = sqrt( r1*r1 + r2*r2 + r3*r3 );
29 dotprod = r1*(rl * cos(c_lat) * cos(lon - SUB_LON)) - r2*r2
30 - r3*r3*((double(R_EQ)/R_POL)^2);
31 if (dotprod <= 0 )
32     lin = -999; col = -999;
33     return; %valores invalidos de saida
34 end
35 %Equacao (11)
36 xx = atan( (double(-r2)/r1) );
37 yy = asin( (double(-r3)/rn) );
38 %Equacao (6)
39 cc = COFF + xx * 2^-16 * CFAC ;
40 ll = LOFF + yy * 2^-16 * LFAC ;
41 ccc=round(cc); lll=round(ll);
42 col=ccc; lin=lll;
43 end

```

Figura 107. Algoritmo de transformação de coordenada geográfica para coordenada de imagem.

A Figura 108 ilustra o script *pixcoord2geoord.m*,

```

1 %Funcao de Navegacao MSG, Versao para Octave
2 %IVON WILSON JUNIOR - ivon.ws@gmail.com - 20090817
3 %UFAL/ICAT/LAPIS
4 function [lat, lon] = pixcoord2geoord(col, lin, COFF, LOFF, CFAC, LFAC)
5 PI=3.14159265359; % PI %
6 SAT_HEIGHT=42164.0; % Distancia da Terra ao Centro do Satelite %
7 R_EQ=6378.169; % Raio, Centro da Terra ao Equador %
8 R_POL=6356.5838; % Raio, Centro da Terra aos Polos %
9 SUB_LON=0.0; % Longitude do ponto Sub-Satelite %
10
11 c=col; l=lin;
12 %Equacao 6
13 x = 2^16 * ( c - COFF ) / CFAC ;
14 y = 2^16 * ( l - LOFF ) / LFAC ;
15 %Equacao 14
16 sa = ( SAT_HEIGHT * cos(x) * cos(y) )^2 - ( cos(y)*cos(y) + 1.006803 * sin(y)*sin(y) ) * 1737121856;
17 sd = sqrt( ( SAT_HEIGHT * cos(x) * cos(y) )^2 - ( cos(y)*cos(y) + 1.006803 * sin(y)*sin(y) ) * 1737121856 );
18 sn = ( SAT_HEIGHT * cos(x) * cos(y) - sd ) / ( cos(y)*cos(y) + 1.006803 * sin(y)*sin(y) );
19 s1 = SAT_HEIGHT - sn * cos(x) * cos(y);
20 s2 = sn * sin(x) * cos(y);
21 s3 = -sn * sin(y);
22 sxy = sqrt( s1*s1 + s2*s2 );
23
24 if ( sa <= 0.0 )
25     lati = -999.999*PI/180.; longi = -999.999*PI/180.;
26 else
27     longi = atan(s2/s1) + SUB_LON; lati = atan((1.006803*s3)/sxy);
28 end
29 %Conversao Radianos em Graus
30 lat = lati*180.0/PI;
31 lon = longi*180.0/PI;
32 end

```

Figura 108. Algoritmo de transformação de coordenada de imagem para coordenada geográfica.

## APÊNDICE III - COMPOSIÇÕES COLORIDAS RECOMENDADAS PARA AS IMAGENS DO MSG

As composições apresentadas nas tabelas a seguir são recomendadas pela EUMETSAT e documentadas em USD (2005). A nomenclatura dos canais foi adaptada de acordo com a apresentada neste trabalho.

Tabela 13. Composição RGB para monitoramento de massas de ar.

AIRMASS					
Plano de Cores	Canal	Min.	Max	$\gamma$	Aplicações
R	IR_062 – IR_073	-25 K	0 K	1.0	Ciclogênese; Corrente de Jato; Vorticidade Potencial
G	IR_097 – IR_108	-40 K	+5 K	1.0	
B	WV_062(invertido)	243 K	208 K	1.0	

Tabela 14. Composição RGB para monitoramento de sistemas convectivos.

CONVECTIVE STORMS					
Plano de Cores	Canal	Min.	Max	$\gamma$	Aplicações
R	IR_062 – IR_073	-35 K	+5 K	1.0	Convecção severa; Fluxos ascendentes/ descendentes
G	IR_039 – IR_108	-5 K	+60 K	0.5	
B	IR_106 – VIS006	-75%	25%	1.0	

Tabela 15. Composição RGB para monitoramento diurno.

NATURAL COLOURS					
Plano de Cores	Canal	Min.	Max	$\gamma$	Aplicações
R	IR_016	0%	100%	1.0	Nuvens líquidas/ gelo; queimadas, e vegetação
G	VIS008	0%	100%	0.5	
B	VIS006	0%	100%	1.0	

Tabela 16. Composição RGB para monitoramento da microfísica de nuvens, diurno.

DAY MICROPHYSICAL					
Plano de Cores	Canal	Min	Max	$\gamma$	Aplicações
R	VIS008	0%	100%	1.0	Análise de nuvens; convecção e queimadas
G	IR_039(reflectância)	0%	25%	1.5	
B	IR_108	213 K	303 K	1.0	

Tabela 17. Composição RGB para monitoramento da microfísica de nuvens, noturno.

DAY AND NIGHT MICROPHYSICAL					
Plano de Cores	Canal	Min	Max	$\gamma$	Aplicações
R	IR_120 – IR_108	-4 K	+2 K	1.0	Análise de nuvens; cirrus, trilho de condensação e queimadas
G	IR_108 – IR_087	0 K	+10 K	1.0	
B	IR_108	243 K	293 K	1.0	