

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO**

**PRÉ-SELEÇÃO DE SÍTIOS ASTRONÔMICOS  
POR IMAGENS DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS**

**DÉCIO DE MOURA MALLMITH**

**Orientador:** Prof. Dr. Jorge Ricardo Ducati

Porto Alegre (RS), dezembro de 2004

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto, área de concentração Desenvolvimento de Novas Metodologias.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO**

**PRÉ-SELEÇÃO DE SÍTIOS ASTRONÔMICOS POR  
IMAGENS DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS**

**DÉCIO DE MOURA MALLMITH**

**Físico**

**Orientador: Prof. Dr. Jorge Ricardo Ducati**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto, área de concentração Desenvolvimento de Novas Metodologias.

Porto Alegre (RS)

Dezembro de 2004

**Mallmith, Décio de Moura**

**PRÉ-SELEÇÃO DE SÍTIOS ASTRONÔMICOS POR  
IMAGENS DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS**

Décio de Moura Mallmith – Porto Alegre: UFRGS, 2004. 186 páginas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, área de Desenvolvimento de Novas Metodologias. Porto Alegre, 2004.

1. Sensoriamento Remoto

2. Astronomia

3. Sítios Astronômicos

4. Meteorologia

## **DEDICATÓRIA**

A minha esposa, Elisabete, e meus filhos Rafael e Camilla, pela compreensão dos momentos em que me fiz ausente, durante a realização deste trabalho. Vocês constituem a força motriz que me impulsiona às estrelas.

Aos meus irmãos, Marco Antônio e Maria Cristina, com os quais partilho a felicidade de conviver com a mais forte, dedicada e maravilhosa mulher que conheço, minha mãe, Dona Almerinda, a quem tudo devo.

Aos demais familiares, cuja relação seria muito extensa para aqui figurar, pelo apoio incondicional.

Em memória de meu pai, João Otto, minha avó, Maria da Glória, minha irmã, Silvia Regina, meu padrasto, Edilio e minha sogra, mas principalmente amiga, Shirley. O vazio que restou em minha vida só é preenchido pela certeza de um dia estaremos novamente juntos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Jorge Ricardo Ducati, orientador desta Dissertação, pelo apoio e paciência ao longo de toda a elaboração deste trabalho e pela compreensão dos momentos difíceis que necessitei transpor no transcorrer desta jornada.

Ao Prof. Dr. Victor Haertel e demais integrantes do corpo docente do CEPSRM/UFRGS, pelas sugestões constantes e pertinentes colaborações.

Aos colegas da turma de 1994 do CEPSRM/UFRGS pela amizade, pelo companheirismo e, principalmente, pelo convívio fraterno e desprovido de disputas fúteis.

Aos funcionários e amigos do CEPSRM/UFRGS: Magdalena, Luciane, Mônica e Laurindo, sem o apoio dos quais esta dissertação não seria viável.

Aos amigos e colegas Juarez Mazzuca e Paulo Fitz, que me incentivaram a, finalmente, concluir este trabalho.

Ao Brasil que, por intermédio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, financiou parcialmente o meu Curso de Mestrado, concedendo-me uma bolsa de estudo, conforme o processo de nº 133961/94-0.

E, por derradeiro, à Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS e ao Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPSRM que possibilitaram a realização desta dissertação.

*Creio em Deus...  
Para tudo mais preciso de dados.*

***(Galileu Galilei)***

# PRÉ-SELEÇÃO DE SÍTIOS ASTRONÔMICOS POR IMAGENS DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS<sup>1</sup>

**AUTOR: DÉCIO DE MOURA MALLMITH**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. JORGE RICARDO DUCATI**

## SINOPSE

A Astronomia, como origem e, talvez, como fim de todas as Ciências, sempre esteve voltada à observação dos astros e à busca de novas técnicas e instrumentos que permitissem ampliar os limites e a qualidade destas observações. Dessa busca resultou o desenvolvimento do telescópio óptico, em 1608, por Galileu Galilei. Com o passar dos anos, esse instrumento foi sofrendo incontáveis aperfeiçoamentos, chegando aos nossos dias como um aparelho preciso e de sofisticada tecnologia. Apesar das fronteiras observacionais terem avançado para além do espectro visível, o telescópio óptico ainda é indispensável à Astronomia. O Brasil, embora não apresente condições meteorológicas ideais para observações astronômicas, possui observatórios ópticos de razoável qualidade, como o Laboratório Nacional de Astrofísica, LNA, em Minas Gerais, entre outros. Em seu extremo sul, no entanto, o País carece de bons instrumentos ópticos, destacando-se unicamente o telescópio da UFRGS instalado no Observatório do Morro Santana, em Porto Alegre. O aumento da iluminação artificial na Região Metropolitana de Porto Alegre e, conseqüentemente, da claridade do céu noturno tem praticamente inviabilizado a operação do Observatório. Assim, a escolha de novos locais para a futura instalação de telescópios ópticos no Estado é imprescindível. Acrescenta-se a isto o fato do ciclo climático desta região diferenciar-se daquele das demais regiões do País, fato relevante, dado que um dos fatores determinantes na escolha de novos sítios para telescópios ópticos é a taxa de nebulosidade. Levantamentos *in situ* de nebulosidade são longos e custosos. Como alternativa, neste trabalho foi realizado um estudo estatístico do Estado, a partir da montagem de um banco de 472 imagens noturnas dos satélites GOES e MeteoSat. A combinação das imagens, por processo de superposição e cálculo de valores médios de contagens (brilho), à escala de *pixel*, forneceu informações em nível de pré-seleção, ou indicativo, de locais com altas taxas de noites claras. Foram cobertos os períodos de 1994-1995 e 1998-1999, com focalização nas áreas em torno de Bom Jesus, Vacaria e Caçapava do Sul. Como controle, foi também monitorada a área em torno do LNA em Minas Gerais. Ademais da demonstração metodológica, os dados orbitais indicaram que, na média destes anos, estas áreas são adequadas à instalação de observatórios astronômicos, pela conjugação dos fatores de nebulosidade e altitude.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, (186 p.) dezembro 2004. Trabalho parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Brasil.

**PRE-SELECTION OF ASTRONOMICAL SITES FROM  
METEOROLOGICAL SATELLITES IMAGES<sup>1</sup>**

**AUTHOR: DÉCIO DE MOURA MALLMITH**

**ADVISER: Prof. Dr. JORGE RICARDO DUCATI**

**ABSTRACT**

Astronomy, as origin and perhaps, end of all sciences, always has been dedicated to the observation of the heavens, and to the search of new techniques and instruments leading to wider limits and improved quality of observations. From this search came the development of the optical telescope, in 1608, by Galileu Galilei. With passing years, this equipment was improved, being presently a precise instrument, with sophisticated technology. Even if the observational limits are now well beyond the visible spectrum, the optical telescope still is fundamental to Astronomy. Brazil, even if not having ideal meteorological conditions to astronomical observations, has optical observatories of fair quality, as the Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), in Minas Gerais State, among others. Nevertheless, in its extreme south the country lacks good optical instruments, being noted only the Morro Santana Observatory, owned by the Universidade Federal do Rio Grande do Sul, in Porto Alegre. The increase of light pollution in Greater Porto Alegre has increased impaired the Observatory operation, urging the search of new places for the installation of optical observatories in the State. It must also be stressed that climate cycles in the region differs from the rest of Brazil, an important fact since sites are qualified mostly by nebulosity rates. In situ surveys are costly and take years. As an alternative, in this work a statistical study was made, after assembling a database of 472 night images from the GOES and MeteoSat satellites, covering the Rio Grande do Sul State. The combination of images, by a process of superposition and evaluation of mean values of digital counts, as an expression of brightness, at a pixel level, provided information which can be used as indicator, at pre-selection basis, of locations with high rates of clear nights. The period covered was from 1994-1995 and 1998-1999, focused in areas around the counties of Bom Jesus, Vacaria and Caçapava do Sul. As a control, this monitoring was extended to the area containing the LNA in Minas Gerais State. Besides this methodological demonstration, the orbital data has indicated that, in the average of the years surveyed, these areas are suitable to the installation of astronomical observatories, by the conjugation of nebulosity and altitude factors.

---

<sup>1</sup> Thesis, Master in Sciences in Remote Sensing, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, (186 p.) december 2004. This work was partially supported by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Brazil.



## SUMÁRIO

<b>RELAÇÃO DE TABELAS</b> .....	xii
<b>RELAÇÃO DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO</b> .....	1
I.1 – Introdução .....	1
I.1.1 - Por que buscar novos sítios astronômicos? .....	1
I.2 - Fatores degenerativos da qualidade astronômica .....	3
I.2.1 - A poluição luminosa .....	3
I.2.2 - O fluxo luminoso .....	4
I.2.3 - Características do fluxo luminoso – lâmpadas .....	5
I.2.4 - Limite de contaminação .....	6
I.2.5 - Impacto no meio ambiente .....	6
I.3 – Sobre os sítios astronômicos .....	7
I.3.1 – Aspectos quantitativos .....	8
I.3.2 – Aspectos qualitativos .....	8
I.3.3 – Outros aspectos .....	10
I.4 – Observatórios e sítios astronômicos no mundo .....	10
I.5 – O <i>seeing</i> da imagem .....	13
I.5.1 – O limite de difração de um telescópio .....	14
I.5.2 – O <i>seeing</i> atmosférico .....	16
I.6 – Estudos de sítios tradicionais .....	21
I.6.1 – Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO) .....	21

I.6.2 – La Silla .....	28
I.6.2.1 – O céu e as condições meteorológicas .....	28
I.6.2.2 – Número de noites fotométricas esperadas em La Silla .....	29
I.6.2.3 – <i>Seeing</i> .....	29
I.6.2.4 – Temperatura .....	32
I.6.2.5 – Brilho do céu em La Silla .....	33
I.6.3 – Paranal Observatory .....	33
I.6.3.1 – Noites fotométricas .....	37
I.6.3.2 – <i>Seeing</i> .....	37
I.6.3.3 - Distribuição da velocidade e direção do vento .....	38
I.6.3.4 - Vapor d'água e radiação solar .....	38
I.7 – Observatórios no Brasil .....	42
I.7.1 - Observatório do Pico dos Dias (OPD) .....	43
I.7.1.1 - Brilho do céu em UBVRI .....	44
I.7.1.2 – Estatísticas do número de horas observáveis (1981-1994) .....	44
I.7.1.3 - Telescópios do LNA .....	45
I.7.2 - O futuro dos observatórios nacionais .....	46
I.7.2.1 – O projeto Gemini .....	46
I.7.2.1.1 – Qualidade de Imagem .....	48
I.7.2.1.2 – Otimização no infravermelho .....	48
I.7.2.1.3 – Instrumentação versátil .....	48
I.7.2.1.4 – Superfície de alta qualidade do espelho .....	49
I.7.2.1.5 – Óptica ativa .....	49
I.7.2.1.6 – Guiagem rápida .....	49
I.7.2.1.7 – Sistema avançado de suporte do espelho .....	49
I.7.2.1.8 – Controle térmico do sistema .....	50
I.7.2.1.9 – Controle do fluxo de ar .....	50
I.7.2.2 – O projeto SOAR .....	50
I.7.2.2.1 – O sítio do telescópio SOAR .....	51
I.7.2.2.2 – Instrumentação .....	51
I.8 – Aspectos climatológicos .....	52
I.8.1 – A circulação geral na atmosfera .....	52

I.8.2 – Sobre o clima e o tempo atmosférico .....	56
I.8.3 – O regime climático do Estado do Rio Grande do Sul .....	57
I.9 – Objetivos desta dissertação .....	59
<b>CAPÍTULO II – IMAGENS DE SATÉLITES .....</b>	<b>61</b>
II.1 – Breve histórico das técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à busca de sítios astronômicos .....	61
II.2 – Os satélites da série Meteosat .....	64
II.2.1 – Descrição dos satélites Meteosat .....	67
II.2.2 – Meteosat-3 .....	68
II.2.3 – Meteosat-4 .....	69
II.3 – Os satélites da série GOES .....	72
II.3.1 – GOES-8 e GOES-10 .....	73
II.3.2 – O imageador GOES .....	75
II.3.3 – A sonda GOES .....	77
II.4 – Formatação e digitalização de imagens meteorológicas .....	79
II.4.1 – Classes de imagens .....	80
II.4.2 – Formatação de imagens .....	81
II.4.3 – Compressão de arquivos de imagens .....	82
II.4.4 – Formato de arquivos .....	84
II.4.4.1 – <i>Graphics Interchange Format (GIF)</i> .....	85
II.4.4.2 – <i>Bitmap do windows (BMP)</i> .....	86
II.4.4.3 – <i>Tagged Image File Format (TIFF)</i> .....	88
II.4.4.4 – <i>Joint Photographic Experts Group (JPG)</i> .....	90
<b>CAPÍTULO III – DADOS E MÉTODOS .....</b>	<b>93</b>
III.1 – Aquisição de dados .....	93
III.2 – Amostra utilizada .....	94
III.2.1 – Exemplo de Imagem do satélite Meteosat-3 .....	105
III.2.2 – Exemplo de Imagem do satélite Meteosat-5 .....	107
III.2.3 – Exemplo de Imagem do satélite GOES-8 .....	108
III.3 – Navegação nas imagens .....	109

III.4 – Considerações sobre a resolução espacial .....	114
III.5 – Sobre a cobertura de nuvens .....	115
III.5.1 – Definição .....	115
III.5.2 – Classificação das nuvens .....	115
III.5.3 – Características das nuvens .....	116
III.5.4 – Relação entre cobertura de nuvens e contagem digital .....	117
III.6 – Condições observacionais em um sítio astronômico .....	118
III.6.1 – O crepúsculo e o regime climático .....	118
III.6.2 – A claridade do céu .....	118
III.6.3 – Noites Fotométricas .....	119
III.7 – O processamento das imagens .....	120
III.7.1 – Quanto às coordenadas geográficas .....	120
III.7.2 – Critérios para análise da cobertura de nuvens .....	121
III.7.3 – Critérios temporais das imagens-resultado .....	122
<b>CAPÍTULO IV – RESULTADOS</b> .....	123
IV.1 – Imagens resultantes obtidas .....	123
IV.2 – Imagens-resultado obtidas – escala continental .....	124
IV.3 – Imagens resultantes – escala regional .....	144
IV.4 – Análise da média da cobertura de nuvens em alguns sítios astronômicos do Rio Grande do Sul .....	163
IV.5 – Estudos comparativos da contagem radiométrica nos sítios astronômicos pesquisados .....	175
<b>CAPÍTULO V – DISCUSSÃO E CONCLUSÕES</b> .....	178
V.1 – Análise do método utilizado .....	178
V.2 – Análise dos resultados obtidos .....	180
V.3 – Desenvolvimentos futuros .....	181
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	183

## RELAÇÃO DE TABELAS

I.1 – Índice de refração na atmosfera, conforme Sarazin .....	18
I.2 - Condições observacionais em CTIO .....	24
I.3 – Noites fotométricas em La Silla .....	29
I.4 – Brilho do céu em La Silla .....	33
I.5 – Instrumentos do Paranal Observatory .....	36
I.6 – Cronograma de construção .....	36
I.7 – Coordenadas geográficas dos telescópios de Paranal .....	39
I.8 – Informações climáticas .....	39
I.9 – Distribuição dos observatórios no Brasil .....	42
I.10 – Brilho UBVRi em OPD (mag/sq arc seg) .....	44
I.11 – Resumo das características dos telescópios do LNA .....	46
II.1 – Características dos satélites GOES .....	76
II.2 – Canais e produtos do imageador .....	77
II.3 – Produtos, resolução e precisão .....	78
III.1 – Imagens utilizadas .....	94
III.2 – Características das nuvens .....	116
IV.1 – Imagens médias resultantes .....	123
IV.2 – Leitura de <i>Pixels</i> para Bom Jesus (28 <sup>o</sup> 45'S, 50 <sup>o</sup> 25'W) .....	163
IV.3 – Leitura de <i>Pixels</i> para Vacaria (28 <sup>o</sup> 32'S, 50 <sup>o</sup> 57'W) .....	166
IV.4 – Leitura de <i>Pixels</i> para Caçapava do Sul (30 <sup>o</sup> 29'S, 53 <sup>o</sup> 28'W) .....	169
IV.5 – Leitura de <i>Pixels</i> para Brasópolis (22 <sup>o</sup> 32'S, 45 <sup>o</sup> 35'W) .....	172
IV.6 – Tabela comparativa da contagem radiométrica média.....	176

## RELAÇÃO DE FIGURAS

I.1 – A degradação do <i>seeing</i> de uma imagem .....	15
I.2 – Limite de difração .....	16
I.3 – CTIO .....	21
I.4 – Cerro Tololo Telescopes .....	23
I.5 – Massa de ar sobre Cerro Tololo .....	25
I.6 – Horas de observação em CTIO .....	26
I.7 – Horas fotométricas em CTIO .....	26
I.8 – Média de temperaturas em CTIO .....	27
I.9 - Precipitação em CTIO .....	27
I.10 – Número de noites fotométricas em La Silla .....	30
I.11 – <i>Seeing</i> em La Silla .....	31
I.12 – Variação de temperatura em La Silla .....	32
I.13 – Paranal Observatory .....	34
I.14 – Instrumental do VLT .....	35
I.15 – Noites Fotométricas em Paranal e La Silla .....	37
I.16 – <i>Seeing</i> em Paranal e La Silla .....	38
I.17 – Distribuição do vento em Paranal .....	40
I.18 – Direção do vento .....	40
I.19 – Precipitação do vapor d’água .....	41
I.20 - Radiação solar em Paranal .....	41
I.21 – Vista aérea do OPD .....	43
I.22 – Estatística mensal do número de horas de observação .....	44
I.23 – Telescópio 1,6m – Perkin-Elmer .....	45

I.24 – Telescópio 0,6m – Boller & Chivens (IAGUSP) .....	45
I.25 – Telescópio 0,6m – Zeiss .....	45
I.26 – Gemini Sul (Chile) .....	47
I.27 – Qualidade da imagem dos telescópios dos Gemini .....	48
I.28 – Sistema de suporte .....	50
I.29 – Sítio do SOAR .....	51
I.30 – Circulação geral da atmosfera .....	54
I.31 – Frente polar; Conflito ar quente /ar frio .....	56
II.1 – Satélites meteorológicos em órbita .....	66
II.2 – Satélites da série Meteosat .....	67
II.3 – Sistema de varredura do Meteosat .....	68
II.4 – Transferência de órbita do Meteosat .....	71
II.5 – Cobertura dos satélites GOES .....	73
II.6 – Satélite GOES .....	74
II.7 – Imageador GOES .....	77
II.8 – Sonda do GOES .....	78
III.1 – Exemplo de imagem Meteosat-3 .....	106
III.2 – Exemplo de imagem Meteosat-5 .....	107
III.3 – Exemplo de imagem GOES-8 .....	108
IV.1 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de setembro/1994 .....	125
IV.2 – Histograma da imagem resultante de setembro/1994 .....	125
IV.3 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de outubro/1994 .....	126
IV.4 – Histograma da imagem resultante de outubro/1994 .....	126
IV.5 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de novembro/1994 .....	127
IV.6 – Histograma da imagem resultante de novembro/1994 .....	127
IV.7 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de dezembro/1994 .....	128
IV.8 – Histograma da imagem resultante de dezembro/1994 .....	128
IV.9 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de março/1995 .....	129
IV.10 – Histograma da imagem resultante de março/1995 .....	129
IV.11 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de abril/1995 .....	130
IV.12 – Histograma da imagem resultante de abril/1995 .....	130
IV.13 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de maio/1995 .....	131

IV.14 – Histograma da imagem resultante de maio/1995 .....	131
IV.15 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de julho/1995 .....	132
IV.16 – Histograma da imagem resultante de julho/1995 .....	132
IV.17 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de agosto/1995 .....	133
IV.18 – Histograma da imagem resultante de agosto/1995 .....	133
IV.19 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - setembro/1995 .....	134
IV.20 – Histograma da imagem resultante de setembro/1995 .....	134
IV.21 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - outubro/1998 .....	135
IV.22 – Histograma da imagem resultante de outubro/1998 .....	135
IV.23 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - novembro/1998 .....	136
IV.24 – Histograma da imagem resultante de novembro/1998 .....	136
IV.25 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - dezembro/1998 .....	137
IV.26 – Histograma da imagem resultante de dezembro/1998 .....	137
IV.27 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - janeiro/1999 .....	138
IV.28 – Histograma da imagem resultante de janeiro/1999 .....	138
IV.29 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - fevereiro/1999 .....	139
IV.30 – Histograma da imagem resultante de fevereiro/1999 .....	139
IV.31 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de março/1999 .....	140
IV.32 – Histograma da imagem resultante de março/1999 .....	140
IV.33 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de abril/1999 .....	141
IV.34 – Histograma da imagem resultante de abril/1999 .....	141
IV.35 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de maio/1999 .....	142
IV.36 – Histograma da imagem resultante de maio/1999 .....	142
IV.37 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de junho/1999 .....	143
IV.38 – Histograma da imagem resultante de junho/1999 .....	143
IV.39 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - setembro/1994 .....	144
IV.40 – Histograma da área ampliada – setembro/1994 .....	144
IV.41 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - outubro/1994 .....	145
IV.42 – Histograma da área ampliada – outubro/1994 .....	145
IV.43 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - novembro/1994 .....	146
IV.44 – Histograma da área ampliada – novembro/1994 .....	146
IV.45 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - dezembro/1994 .....	147



IV.46 – Histograma da área ampliada – dezembro/1994 .....	147
IV.47 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - março/1995 .....	148
IV.48 – Histograma da área ampliada – março/1995 .....	148
IV.49 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - abril/1995 .....	149
IV.50 – Histograma da área ampliada – abril/1995 .....	149
IV.51 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - maio/1995 .....	150
IV.52 – Histograma da área ampliada – maio/1995 .....	150
IV.53 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - julho/1995 .....	151
IV.54 – Histograma da área ampliada – julho/1995 .....	151
IV.55 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - agosto/1995 .....	152
IV.56 – Histograma da área ampliada – agosto/1995 .....	152
IV.57 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - setembro/1995 .....	153
IV.58 – Histograma da área ampliada – setembro/1995 .....	153
IV.59 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - outubro/1998 .....	154
IV.60 – Histograma da área ampliada – outubro/1998 .....	154
IV.61 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - novembro/1998 .....	155
IV.62 – Histograma da área ampliada – novembro/1998 .....	155
IV.63 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - dezembro/1998 .....	156
IV.64 – Histograma da área ampliada – dezembro/1998 .....	156
IV.65 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - janeiro/1999 .....	157
IV.66 – Histograma da área ampliada – janeiro/1999 .....	157
IV.67 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - fevereiro/1999 .....	158
IV.68 – Histograma da área ampliada – fevereiro/1999 .....	158
IV.69 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - março/1999 .....	159
IV.70 – Histograma da área ampliada – março/1999 .....	159
IV.71 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - abril/1999 .....	160
IV.72 – Histograma da área ampliada – abril/1999 .....	160
IV.73 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - maio/1999 .....	161
IV.74 – Histograma da área ampliada – maio/1999 .....	161
IV.75 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - junho/1999 .....	162
IV.76 – Histograma da área ampliada – junho/1999 .....	162
IV.77 – Gráfico da contagem radiométrica média nas regiões estudadas .....	175

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUÇÃO**

---

### **I.1 – INTRODUÇÃO**

Denomina-se *sítio astronômico* o local que reúne as melhores condições para observações astronômicas, em termos qualitativos e quantitativos, considerando-se a faixa do espectro eletromagnético para o qual convergem as observações.

Nesta dissertação, voltamo-nos para sítios limitados ao espectro visível, ou seja, aptos a abrigar a instalação de telescópios ópticos.

#### **I.1.1 -POR QUE BUSCAR NOVOS SÍTIOS ASTRONÔMICOS?**

A Astronomia moderna, apesar de usar técnicas refinadas de busca e que há muito ultrapassaram o limite do visível, ainda é extremamente dependente dos telescópios ópticos. A escolha de locais para a instalação e operação destes instrumentos sempre foi uma

preocupação subjacente aos Astrônomos. Óbvio que a determinação de locais candidatos a possuir um telescópio óptico de porte requer critérios técnicos precisos, os quais, não sendo seguidos, podem tornar as futuras observações astronômicas ali realizadas muito prejudicadas ou até inviabiliza-las completamente. O prejuízo decorrido deste erro é enorme, tanto no que se refere aos aspectos financeiros, quanto no que tange às pesquisas científicas que por ventura ali poderiam ter sido realizadas. Deste modo, um estudo preliminar que identifique locais candidatos a sítios astronômicos é de suma importância.

A história da Astronomia tem mostrado que sítios astronômicos consagrados podem tornar-se inviáveis para observações ópticas. No meio científico este já é um fato corriqueiro. Veja-se, por exemplo, o telescópio Isaac Newton, mudado da Inglaterra para as ilhas Canárias, bem como vários outros instrumentos da Europa, transferidos para a Cordilheira dos Andes, no Chile, ocorridos em virtude do incremento da iluminação difusa proveniente dos conglomerados urbanos próximos a estes sítios. No Rio Grande do Sul, temos o exemplo do Observatório Central da UFRGS, localizado no *Campus* Central da universidade, em Porto Alegre, cujas atividades científicas foram encerradas no início da década de 70, inviabilizadas pela luminosidade circunvizinha e, também, entre outros fatores, devido à poluição do ar e a construção de prédios muito altos nas proximidades do observatório, o que limitou em muito o campo visual do telescópio. O telescópio foi conservado no local, posteriormente transformado em prédio histórico, e hoje é utilizado para o ensino e a divulgação da Astronomia.

Desde 1973, a coleta de dados astronômicos na UFRGS é desenvolvida no telescópio refletor existente no Observatório do Morro Santana. Tal instrumento, cujo espelho possui 50cm diâmetro, apresenta a qualidade de suas observações cada vez mais deterioradas, principalmente devido à claridade do céu noturno, proveniente da difusão da iluminação

artificial de Porto Alegre e de sua região metropolitana. Este problema acentua-se gradualmente, dado a explosão demográfica da região, e a tendência é que se agrave; é mister, assim, selecionar locais candidatos a abrigar o telescópio do Morro Santana, ou um novo telescópio, de maior porte. De qualquer modo, por suas condições técnicas, aquele instrumento oferece, ainda, possibilidade de realizar pesquisas observacionais por longos anos, em projetos especiais.

A motivação para a busca de novos sítios astronômicos surgiu, portanto, dos fatores antes expostos, os quais podem ser resumidos por:

- a) A necessidade de evitar prejuízos científicos e/ou financeiros;
- b) A deterioração de sítios astronômicos consagrados.

## **I.2 - FATORES DEGENERATIVOS DA QUALIDADE ASTRONÔMICA <sup>(1)</sup>**

Há quatro fatores principais que podem impactar negativamente na qualidade astronômica de um sítio: a poluição luminosa, a contaminação atmosférica, a contaminação por rádio frequência e a contaminação por rotas aéreas. Neste trabalho, analisaremos somente o primeiro destes fatores.

### **I.2.1 - A POLUIÇÃO LUMINOSA**

A poluição ou contaminação luminosa é o brilho ou resplendor da luz no céu produzido pela difusão e reflexão da luz artificial nos gases e partículas presentes na atmosfera.

---

<sup>(1)</sup> O conteúdo desta seção foi compilado a partir de informações do site <http://www.iac.es>, sendo *copyright* (©) do IAC (Instituto de Astrofísica de Canárias).

O resplendor produzido pela luz que escapa das instalações de iluminação de exterior produz um incremento no brilho de fundo natural do céu. Ao se fazer as observações de objetos astronômicos por contraste com o fundo do céu, um incremento do brilho de fundo diminui este contraste e impede a visualização de objetos com um brilho similar ou inferior ao fundo.

Convém salientar que este fator só afeta as observações noturnas no espectro visível e próximo a ele.

### **I.2.2 - O FLUXO LUMINOSO**

A luz artificial é enviada até o céu de forma direta, pela própria fonte de luz, por reflexão das superfícies iluminadas ou por refração nas partículas presentes no ar.

A refração tem um impacto desprezível, relativamente às outras duas formas de envio da luz para o céu; sua influência depende do tamanho e da quantidade de partículas no ar entre a fonte de luz e a zona iluminada, diminuindo com o aumento da distância entre estes elementos.

A reflexão tem um impacto 10 vezes inferior ao impacto direto. A causa principal desta diferença está no seu baixo brilho, milhares de vezes inferior ao brilho da forma direta. Seu impacto é importante se proveniente de grandes instalações ou até de pequenas instalações, quando estas estão a distâncias inferiores a 10 km do observatório.

O impacto direto é o mais prejudicial. Principalmente os produzidos por canhões de luz e projetores simétricos (iluminação de grandes áreas, zonas desportivas, portos, aeroportos, fachadas de edifícios, etc.), cuja elevada inclinação, superior a 20°, envia o fluxo

de luz diretamente sobre o horizonte, desperdiçando energia luminosa. Estes casos são especialmente graves, pois em geral utilizam lâmpadas de grande potência (400W – 2000W), com um elevado feixe luminoso, de forma que um só projetor pode impactar mais que um povoado de 1000 habitantes completamente iluminado. Outras instalações elétricas muito prejudiciais por seu tamanho e proliferação são as iluminações decorativas ou ornamentais nas quais o fluxo de luz da luminária sai em todas as direções, especialmente sobre o horizonte.

### **I.2.3 - CARACTERÍSTICAS DO FLUXO LUMINOSO – LÂMPADAS**

As lâmpadas não impactam igualmente à qualidade astronômica. Quanto maior é a zona do espectro em que a lâmpada emite, maior é o seu impacto, pois invade uma zona maior do espectro de observações astronômicas. Também, depende da zona do espectro em que emite. Uma lâmpada emitindo na zona do ultravioleta (não útil para o olho humano) impacta mais do que qualquer outra com o mesmo fluxo. Por outro lado, esta zona do espectro é muito importante astronomicamente pela informação que os astrônomos obtêm de astros distantes.

Dos tipos de lâmpadas que atualmente existem no mercado, atendendo aos seus espectros, podemos classificá-las da seguinte forma:

- a) Pouco contaminantes: Lâmpada de vapor de sódio a baixa pressão e lâmpada de vapor de sódio a alta pressão.
- b) Medianamente contaminantes: Lâmpadas incandescentes, lâmpadas incandescentes halógenas e lâmpadas fluorescentes em tubos e compactas (vapor de mercúrio a baixa pressão).

- c) Muito contaminantes: Lâmpadas de vapor de mercúrio a alta pressão e lâmpada de halogênios metálicos.

#### **I.2.4 - LIMITE DE CONTAMINAÇÃO**

Conforme resolução da Comissão 50 da IAU - União Astronômica Internacional (1985), um observatório de alta qualidade não pode suportar um incremento de 10% em seu brilho natural de fundo do céu, medidos a 45° sobre o horizonte, ao longo do espectro de 300nm a 1000nm (visível entre 400 – 700nm).

#### **I.2.5 - IMPACTO NO MEIO AMBIENTE**

É pouco conhecido o valor do impacto no meio ambiente produzido pela poluição luminosa. Entretanto, é sabida a influência determinante da luz tanto na flora como na fauna. Além disto, sabe-se que o excesso de iluminação produz insegurança nas vias de trânsito, desperdício energético, *stress*, desconforto visual e deslumbramento das aves noturnas.

A questão da insegurança nas vias de trânsito deve-se ao fato do olho humano adaptar-se rapidamente à superfície ou ao ponto de maior brilho existente em seu campo visual e, por outro lado, a sua lenta adaptação de uma zona muito iluminada para outra escura (vários minutos). Deste modo, uma rua ou rodovia que apresente uma iluminação não uniforme fará com que o motorista trafegue literalmente “no escuro”, quando efetuar a transição de uma parte iluminada para uma não iluminada ou escura, visto que seu aparato ocular ainda não se adaptou à nova situação visual. Para solucionar este problema, erroneamente aumenta-se o brilho das zonas iluminadas, utilizando-se lâmpadas mais potentes e, assim, produz-se um

contraste maior entre as faixas iluminadas e as não iluminadas, o que por fim termina por agravar o problema que se tentava solucionar. Ademais, a adaptabilidade do olho humano decresce com a idade.

O desperdício energético é um outro fator que deve ser combatido com afinco, visto que grande parte da luz que deveria ser direcionada para a cena que queremos iluminar é desviada para fora destes limites, perdendo-se inutilmente. Também, deve-se atentar para o tipo de lâmpada usada, procurando-se utilizar a lâmpada mais indicada para obter a iluminação que desejamos, assim como não exceder o nível de iluminação necessário e pelo tempo que for preciso.

Certamente, a questão da poluição luminosa não pode ser tratada aqui com a profundidade necessária. Todavia, o enfrentamento deste problema trará inúmeros benefícios para todos e especialmente para a Astronomia. Por este motivo, a questão deveria ser tratada com o cuidado devido pelos nossos governantes, a exemplo do que já faz a Espanha, com a lei 31/1988 e o Real Decreto 243/1992, conhecidos como “Lei do Céu”, e que protegem a qualidade astronômica dos observatórios de IAC (Instituto Astrofísico de Canárias). Igualmente, no Chile, já tramita um projeto de lei visando conservar a qualidade astronômica do céu das cordilheiras dos Andes, combatendo abertamente a poluição luminosa.

### **I.3 – SOBRE OS SÍTIOS ASTRONÔMICOS**

Já vimos anteriormente que um *sítio astronômico* é, segundo a definição mais elementar, o local que apresenta, para uma dada região, as melhores condições para observações astronômicas, tanto em quantidade de observações quanto na qualidade das mesmas, para a faixa do espectro eletromagnético objeto das observações.



No nosso caso, buscamos sítios astronômicos adequados à instalação de telescópios ópticos e, por isto, nosso trabalho está direcionado para a faixa visível do espectro.

### **I.3.1 – ASPECTOS QUANTITATIVOS**

As observações ópticas são fortemente limitadas, na quantidade de dados coletados, entre outros fatores menos importantes, pelo número de noites perdidas devido a:

- a) Ocorrência de chuvas;
- b) Nebulosidade.

O regime de chuvas da região em estudo, portanto, é determinante na eleição de locais candidatos a abrigar observatórios ópticos. Tão importante quanto o regime de chuvas é a questão da nebulosidade. Um bom sítio astronômico deve possuir uma alta percentagem de noites úteis. Ambos os fatores estão vinculados ao clima e a geografia da região e determinam a *Astrometeorologia* do local, termo que, segundo Leitão (1993, p.1), foi cunhado pelo Prof. L. M. Barreto, e significa “*o estudo do conjunto das condições geográficas e climáticas de uma região, com a finalidade de determinar a existência, ou não, de locais adequados à instalação de observatórios astronômicos*”.

### **I.3.2 – ASPECTOS QUALITATIVOS**

Dois aspectos são importantes na operação de um telescópio óptico, com respeito à qualidade dos dados obtidos:

- a) A claridade do céu;
- b) O *seeing* da imagem obtida.

A claridade do céu noturno de um local depende basicamente da duração do crepúsculo astronômico, da fase da Lua e a sua presença, ou não, na abóbada celeste e da radiação difusa oriunda da iluminação artificial das cidades – a poluição luminosa.

A duração do crepúsculo astronômico pode ser calculada com exatidão e, assim como a presença da Lua no céu, é uma condição inerente às observações astronômicas. Quanto às fases da Lua, obviamente, o período de Lua Nova é o mais adequado às atividades observacionais. Contrapõem-se a este período o de Lua Cheia, enquanto as fases Crescente e Minguante ocupam posições intermediárias. Contudo, dado à previsibilidade de ocorrências das fases lunares, tal problema é facilmente evitado com a escolha correta das datas e horários em que serão efetuadas as observações, em função do programa observacional específico e da disponibilidade de tempo do telescópio.

A questão da radiação difusa oriunda da iluminação artificial das grandes cidades, também referenciada como poluição ou contaminação luminosa, é um problema recente da Astronomia e que começou a agravar-se após os primeiros decênios deste século. O crescimento vertiginoso dos grandes conglomerados urbanos e a falta de critérios técnicos adequados à instalação e operação de sistemas de iluminação pública que servem estas populações são os grandes responsáveis por este problema. O crescimento populacional e a sua distribuição racional são problemas político-sociais de intrincada solução e que escapam a nossos objetivos; no entanto, a normatização de sistemas públicos de iluminação é uma questão que diz respeito diretamente à Astronomia, constituindo-se, atualmente, no principal fator que leva um sítio astronômico consagrado à deterioração.

Diversos fenômenos ocorrem com os raios de luz, oriundos das estrelas, até chegarem aos nossos telescópios. O mais importante deles, talvez, seja o *seeing*. Tal fenômeno caracteriza-se por produzir uma “tremulação” na imagem da estrela e se origina na atmosfera,

ocorrendo devido à incessante mudança no índice de refração da massa não homogênea de gás em constante movimento que a constitui. É claro que a qualidade do *seeing* está, assim, relacionada à turbulência óptica da atmosfera no sítio considerado, a qual, por sua vez, depende, entre outros, de fatores meteorológicos.

### **I.3.3 – OUTROS ASPECTOS**

A localização e operação de um observatório astronômico óptico, além dos aspectos técnicos, dependem, também, de questões não técnicas, tais como: infra-estrutura, facilidade de acesso, aporte financeiro e recursos humanos disponíveis. Não são desprezíveis, também, as razões e pressões de ordem política.

Embora o desejável seja que princípios técnicos balizem a escolha de locais para a instalação de observatórios astronômicos ópticos, às vezes, influências não técnicas são de tal ordem que se obtém o observatório astronômico possível e não o ideal.

## **I.4 – OBSERVATÓRIOS E SÍTIOS ASTRONÔMICOS NO MUNDO**

O conceito de observatório astronômico evoluiu com o passar dos anos, paralelamente à construção do conhecimento humano. O instrumental de que eram dotados, seu manejo e finalidades, assim como o sítio em que eram erigidos, obedeceram ao contexto histórico em que estavam inseridos.

Inicialmente, os observatórios astronômicos estavam vinculados às crenças religiosas, coincidindo com os templos destinados a estas práticas.

Supõe-se que os primeiros templos-observatórios tenham surgido acerca de três milênios A.C., no Egito e na Mesopotâmia. Os sacerdotes, que também acumulavam a função de astrônomos, dirigiam estes templos, e suas principais atividades, além daquelas

relacionadas aos cultos religiosos, estavam voltadas para o estabelecimento de calendários e a previsão de acontecimentos celestes espetaculares, tais como a ocorrência de eclipses e o aparecimento de cometas.

Num segundo momento, o conceito de observatório astronômico passou a ser entendido como o local de reunião de astrônomos e de instrumentos. Todavia, as observações continuaram sendo efetuadas a olho nu.

Um dos primeiros observatórios nesta fase foi construído por Hiparco, na ilha de Rodas, em 140 A.C.; as observações ali levadas a cabo geraram um catálogo de estrelas o qual, posteriormente, foi revisto e ampliando por Ptolomeu. Entretanto, o observatório mais importante da era pré-telescópica foi o erigido por Tycho Brahe, em 1576, na ilha de Hveen, Dinamarca. Chamava-se Uraniborg e possuía vários instrumentos mandados construir pelo próprio astrônomo, como a esfera armilar, o quadrante mural, etc. Dispunha, ainda, de uma oficina para a manutenção dos instrumentos e de uma gráfica para a impressão dos trabalhos ali realizados. A precisão das observações realizadas por Brahe e seus discípulos possibilitaram a Kepler elaborar as suas famosas leis do movimento planetário, usando como base de dados as observações feitas em Uraniborg.

O uso do telescópio óptico para fins astronômicos, por Galileu Galilei, iniciou uma verdadeira revolução no desenvolvimento dos observatórios astronômicos. O próprio Galileu fez as primeiras observações astronômicas, com seu telescópio, em Pádua, de onde descobriu os satélites de Júpiter em 1610. Inúmeros observatórios surgiram na Europa após este acontecimento, notadamente em universidades e instituições de estudos. Como exemplos, citamos o observatório de Copenhague e o observatório da cidade de Danzig, de Hevelius.

A época dos modernos telescópios ópticos é delimitada pela fundação, em 1888, do Lick Observatory, na Califórnia. Marca, também, um novo conceito quanto à localização dos observatórios astronômicos, os quais passam a situar-se, desde então, fora das cidades e em locais de grande altitude. Rapidamente, o instrumento óptico do Lick Observatory foi superado, já em 1897, pelo do Yerkes Observatory, localizado em Wisconsin. Yerkes possui um refrator de 102 cm de diâmetro, permanecendo até o momento como o maior telescópio óptico deste tipo, em atividade.

Os telescópios refratores, entretanto, paulatinamente foram perdendo lugar para os telescópios refletores, dadas as dificuldades técnicas na construção de lentes refratoras de grandes dimensões. Assim, já no alvorecer do século XX, os modernos observatórios astronômicos sinalizavam para a utilização, como instrumentos ópticos, de telescópios super-refletores. E foi o que ocorreu de fato, com a inauguração, em 1917, do observatório de Mount Wilson, próximo a Los Angeles, equipado com um gigantesco telescópio refletor de 2,54 m de diâmetro. O espelho de tal telescópio compunha-se de vidro coberto por um filme metálico e sua realização só foi possível graças ao abnegado esforço e genialidade de George Hale. Três décadas após, começava a funcionar o famoso observatório de Mount Palomar, também na Califórnia. Seu sistema óptico incluía um espelho refletor de 5m de diâmetro, com a base fabricada em um material denominado “*Pyrex*”, permanecendo como o maior telescópio do mundo até meados da década de setenta. Somente em 1975 perdeu este título, sendo superado pelo telescópio do observatório de Zelencjukskaja, na extinta União Soviética, no qual o sistema óptico, igualmente em “*Pyrex*”, é composto de um espelho refletor com 6m de diâmetro.

Atualmente, além de abarcar outras faixas do espectro eletromagnético, como os radio-observatórios, o conceito de observatório astronômico sofreu novo viés, com a

utilização de telescópios montados em estações espaciais, como o Hubble Space Telescope, dotado de um espelho refletor de 2,4m de diâmetro, o FUSE – Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer, destinado a observações no ultravioleta, e o Observatório de Raios-X Chandra. Os observatórios terrestres, por sua vez, passaram a adotar a idéia de telescópios descentralizados, compostos por muitos espelhos e lentes. É o caso do telescópio do observatório de Mount Hopkins, no Arizona, denominado *Multiple Mirror Telescope*, constituído por seis espelhos de 1,8m de diâmetro cada, alinhados eletronicamente, bem como do telescópio VLT (*Very Large Telescope*) do observatório de La Silla.

A Astronomia contemporânea caracteriza-se por atuar de forma cooperativada, a partir de consórcios para a construção, manutenção e operação dos modernos observatórios astronômicos. Assim, basicamente, podemos dividir os observatórios mais potentes e sofisticados em atividade em dois grandes grupos: o primeiro grupo, no qual o Brasil se insere, é liderado pelos norte-americanos, e tem como sítios principais o deserto do Arizona, o Haváí (Mauna Kea) e a cordilheira dos Andes, no Chile; o segundo grupo reúne os países europeus e utiliza como sítios astronômicos a Espanha e as ilhas Canárias (La Palma) e, também o Chile.

## **I.5 – O *SEEING* DA IMAGEM<sup>(2)</sup>**

Em Astronomia, a menor separação entre duas fontes pontuais de luz é chamada de resolução angular da imagem e o tamanho da menor fonte pontual distinguível é dito *seeing* da imagem. O *seeing* de uma imagem é, portanto, uma medida de sua qualidade ou nitidez.

---

<sup>(2)</sup> ) Os textos constantes nos itens I.5 e I.5.1 foram traduzidos e adaptados da *homepage* do Cornell Atacama Telescope (<http://astrosun.tn.cornell.edu/>), enquanto as fotografias e figuras são emprestadas do mesmo *site*.

A resolução angular da imagem está intrinsecamente relacionada às propriedades do instrumento que a produziu, denominadas de limite de difração do telescópio, enquanto o *seeing*, além disto, também depende do que se conhece como “*seeing* atmosférico”, ou seja, o caminho percorrido pela luz até chegar ao local em que se localiza o telescópio.

O *seeing* de uma imagem sempre será maior que o maior valor entre o limite de difração do telescópio e o *seeing* atmosférico do sítio em que está o telescópio.

Deste modo, dois aspectos afetam o *seeing* de uma imagem:

- O limite de difração do telescópio;
- O *seeing* atmosférico do sítio em que se situa o telescópio.

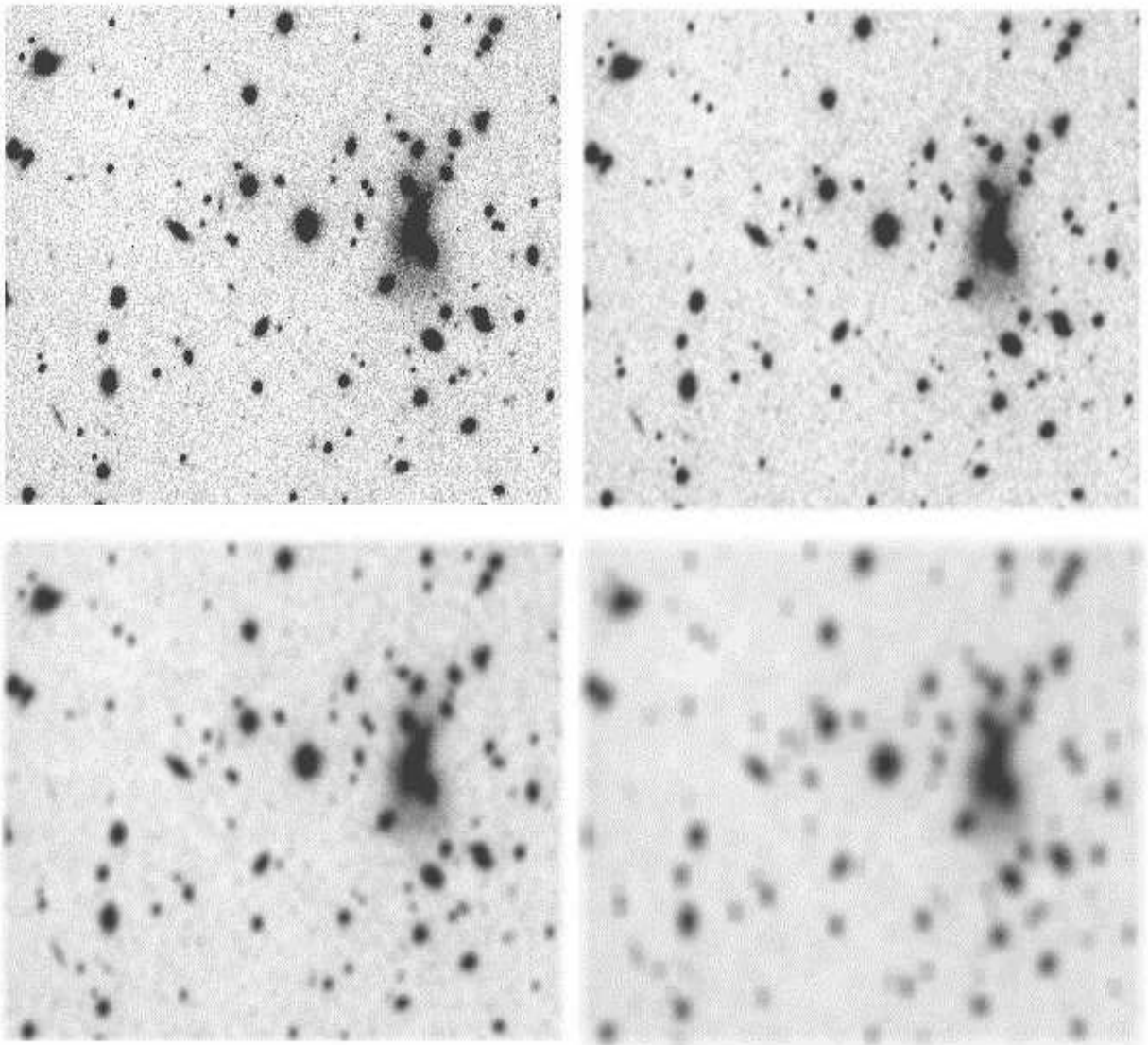
Convém salientar que, para telescópios situados fora da atmosfera terrestre, como é o caso do Hubble Space Telescope, o *seeing* da imagem reduz-se ao limite de difração do telescópio.

A Figura I.1 mostra a imagem de um grupo de galáxias obtidas por Martha Haynes e Katie Jore no Palomar Observatory e exemplifica a degradação do *seeing* de uma imagem. Destacamos que a degradação na qualidade da imagem foi obtida artificialmente. Nota-se na seqüência fotográfica que à medida que o *seeing* decai alguns detalhes da imagem desaparecem.

### **I.5.1 – O LIMITE DE DIFRAÇÃO DE UM TELESCÓPIO**

Um telescópio óptico pode ser entendido como um “balde para luz”, cuja função é coletar e concentrar fótons. Assim, quanto maior o diâmetro do telescópio, mais fótons irá coletar e, por conseguinte, mais detalhes da fonte poderão ser registrados. O poder do telescópio de separar fontes distantes, também, aumentará com o seu diâmetro.

O ângulo mínimo de separação entre duas fontes que pode ser distinguido por um



**Figura I.1 – A degradação do *seeing* de uma imagem (Extraído do *site* do Cornell Atacama Telescope - <http://astrosun.tn.cornell.edu/>)**

telescópio é denominado limite de difração. Este ângulo depende do comprimento de onda da luz recebida e do diâmetro do telescópio, conforme a fórmula mostrada na Figura I.2. Nesta equação o ângulo é expresso em radianos, sendo que um radiano equivale a 206,265 segundo de arco.



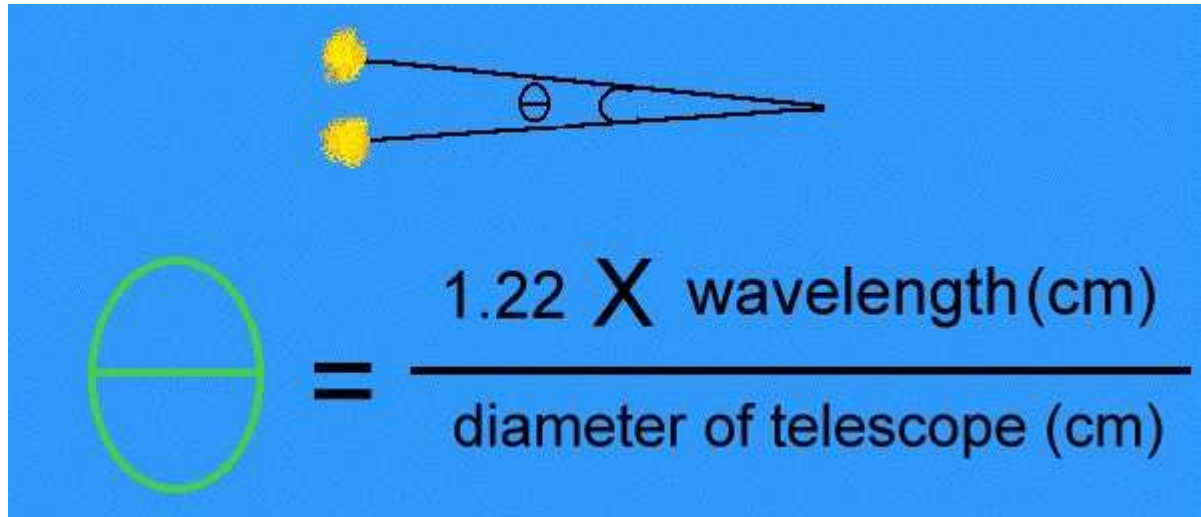


Figura I.2 – Limite de difração (Extraído do *site* do Cornell Atacama Telescope - <http://astrosun.tn.cornell.edu/>)

### I.5.2 – O *SEEING* ATMOSFÉRICO

Define-se o *seeing* atmosférico como a tremulação apresentada pelos raios de luz provenientes de fontes distantes quando atravessam a atmosfera. Tal fenômeno ocorre em razão da atmosfera terrestre constituir-se de uma massa gasosa, não homogênea, em movimento turbulento. Deste modo, os raios de luz ao penetrar a atmosfera, conforme Mazzuca Júnior (1999), ao citar Harwit (1983), “encontram um meio no qual as condições físicas (densidade, temperatura, pressão, iluminação) e de composição química (percentagem relativa de gases) variam espacial e temporalmente”.

Em épocas pretéritas, o *seeing* atmosférico era avaliado empiricamente por uma escala introduzida pelo astrônomo franco-grego Antoniadi (1870-1944), a qual compreende cinco graus:

- Grau I – *seeing* perfeito, imagens sem nenhum tremor;
- Grau II – ligeiras ondulações das imagens, com momentos de calma;
- Grau III – *seeing* moderado, caracterizado por perceptíveis tremores das imagens;

- Grau IV – *seeing* pobre, com constantes e incômodas ondulações das imagens;
- Grau V – *seeing* péssimo, com sérias dificuldades para diferenciar as imagens.

Atualmente, embora não se possa prever com exatidão o *seeing* atmosférico para determinado local e para uma situação meteorológica específica, há modelos que têm boa receptividade na comunidade científica. O mais aceito considera a atmosfera como um conjunto de elementos de pequeno volume e que apresentam condições físico-químicas constantes em seu interior. Os raios de luz, provenientes de fontes exteriores à atmosfera, ao atravessarem elementos contíguos, serão refratados diferentemente, conforme o índice de refração destes elementos. A turbulência atmosférica se encarregará de movimentar estes pequenos elementos, de tal forma que fótons recebidos num detetor no solo em momentos diversos, embora tenham partido da mesma fonte e tenham o mesmo comprimento de onda, certamente descreverão trajetórias distintas na atmosfera, pois experimentarão índices de refração diferentes.

Conforme Zago (1995), uma rigorosa quantificação do efeito do *seeing* atmosférico, ou simplesmente “tremulação”, depende do tempo de exposição. Para a maioria das observações astronômicas realizadas com grandes telescópios, que são de longa exposição, o tempo de exposição varia de 10 a 30 segundos. Isto produz uma imagem borrada, resultante da dispersão de fótons em torno de um ponto para o qual todos os fótons convergiriam na ausência da atmosfera. De acordo com Mazzuca Júnior (1999), “*A forma desta distribuição obedece a leis bem conhecidas e é descrita pela função de difusão pontual (point spread function)*”, também conhecida pela sigla PSF.

A estabilidade temporal da amplitude e fase de uma frente de onda óptica é fortemente

dependente da altitude onde ocorre a turbulência na atmosfera (Roddiier, 1981). Por este motivo, conforme Sarazin (1986), a totalidade da atmosfera é seccionada em três partes, sendo cada uma delas analisada por um instrumento diferente.

- **Turbulência na camada junto à superfície**

$$\text{Sensores microtermais} \Rightarrow C_T^2(h) \Rightarrow \int_0^{30m} C_N^2 dh$$

- **Turbulência na camada limite**

$$\text{Sonda acústica} \Rightarrow C_T^2(h) \Rightarrow \int_{30m}^{1000m} C_N^2 dh$$

- **Turbulência nas altas altitudes**

$$\text{Cintilômetro} \Rightarrow \sigma^2(I)/I^2 \Rightarrow \int_{1000m}^{\infty} C_N^2 dh$$

- **Seeing**

$$\text{Differential image motion} \Rightarrow \sigma_{//}, \sigma_{\perp} \Rightarrow \text{FWHM} = k \left[ \int_0^{\infty} C_N^2 dh \right]^{3/5}$$

**Tabela I. 1 – Índice de refração na atmosfera, conforme Sarazin**

Segundo Sarazin, sensores microtermais e sondas acústicas ou SODAR (*Sound Detection And Ranging*) são sensíveis à distribuição de altitude do parâmetro estrutural de temperatura  $C_T^2$ , o qual é uma característica termal da não homogeneidade do ar. Como o índice de refração varia com a temperatura, é possível deduzir um parâmetro estrutural  $C_N^2$ , relacionado a  $C_T^2$  através de parâmetros meteorológicos estáticos (P, T), também função da altitude.

$$C_N^2 = C_T^2 [ 77,6 \times 10^{-6} (1 + 7,52 \times 10^{-3} \lambda^{-2}) P/T^2 ]^2 \quad (\text{I.1})$$

O comprimento de onda  $\lambda$ , tomado como referência, é  $\lambda = 500$  nm, de forma que a Fórmula (I.1) fica:

$$C_N^2 = C_T^2 (80 \times 10^{-6} P/T^2)^2 \quad (I.2)$$

Os sensores microtermais são usados para a turbulência na camada superficial, que se estende até cerca de 30m sobre o sítio, enquanto as sondas acústicas são utilizadas para a turbulência na camada limite. O cintilômetro, por seu turno, é usado para a turbulência nas altas altitudes, acima de 1 km sobre o sítio. O cintilômetro não apresenta como resultado uma distribuição da turbulência conforme a altitude, mas mostra a direção preferencial da integral de caminho do índice de refração da turbulência nas altas camadas da atmosfera. Este índice, porém, é somente um dos parâmetros de um dos trechos do percurso realizado pela luz em direção ao solo, podendo ser linearmente adicionado aos demais para computar o tamanho total do “*seeing disk*”, usualmente definido como *full width at half maximum* (FWHM). Nota-se aqui que o FWHM é uma função não linear da turbulência.

O ângulo  $\theta$  (FWHM) de um telescópio de grande diâmetro, expresso em segundo de arco, conforme Zago (1995), é dado pela relação:

$$\theta = 2,013 \times 10^5 \lambda / r_o \quad (I.3)$$

Onde  $\lambda$  é o comprimento de onda e  $r_o$  é o parâmetro Fried ou comprimento atmosférico coerente, definido como o diâmetro da pupila circular para o qual o limite de difração e o limite do *seeing* da imagem têm a mesma resolução angular.

O parâmetro Fried  $r_o$  é dado por:

$$r_o = [0,12 (2\pi/\lambda)^2 \sec \gamma \int_H C_N^2(z) dz]^{-3/5} \quad (I.4)$$

Onde  $\gamma$  é o ângulo zenital na direção de observação.

Recalculando a expressão (I.3), para  $\lambda = 500\text{nm}$ , e com o correspondente valor de  $r_0$ , obtemos:

$$\theta = 2,0 \times 10^7 \left[ \int_H C_N^2(z) dz \right]^{3/5} \quad (\text{I.5})$$

Nota-se que esta expressão é idêntica à equação constante na Tabela I.1, apresentada por Sarazin.

Podemos combinar a equação (I.5) com a equação (I.1), expressando-a em relação ao parâmetro  $C_T^2$  para condições típicas de sítios astronômicos em locais montanhosos (pressão 770mb e temperatura 10 °C), obtendo assim:

$$\theta = 0,91 \left[ \int_H C_T^2(z) dz \right]^{3/5} \quad (\text{I.6})$$

O estudo da turbulência na camada superficial, referenciada na literatura como *seeing* local, sofreu sucessivas modificações nas últimas décadas, principalmente devido ao avanço tecnológico na fabricação de grandes telescópios. Estudos mais detalhados, notadamente os desenvolvidos por Zago (1995), mostraram a necessidade de separar os efeitos do *seeing* local em diferentes tipos:

- *Seeing* da camada superficial – produzido sobre o prédio que encerra o telescópio e até cerca de 30m sobre a construção;
- *Dome seeing* – produzido no interior da abóbada que enclausura o telescópio; escala de distância em torno de 10m;
- *Seeing* especular – causado pelo movimento de convecção na superfície do espelho; distâncias na ordem de 1-40mm.

## I.6 – ESTUDOS DE SÍTIOS TRADICIONAIS

Neste tópico, elencaremos os principais observatórios ópticos situados na América do Sul e descreveremos sucintamente as características dos sítios em que se localizam, com a finalidade de compará-las posteriormente com os dados obtidos nesta dissertação.

### I.6.1 – CERRO TOLOLO INTER-AMERICAN OBSERVATORY (CTIO)

O observatório astronômico de Cerro Tololo (Figura I.3) está situado a cerca de 500 km ao norte de Santiago do Chile, a aproximadamente 80 km a leste de La Serena, numa altitude de 2200 m. Suas coordenadas geográficas são:  $70^{\circ} 48' 52.7''$  W e  $30^{\circ} 09' 55.5''$  S.



**Figura I.3 - CTIO** <sup>(3)</sup>

---

<sup>(3)</sup> Roger Smith. © 1995 CTIO. Todos os direitos reservados.

O CTIO é operado pela Association of Universities for Research in Astronomy Inc (AURA), sob um acordo cooperativado entre o National Science Foundation e National Optical Astronomy Observatories.

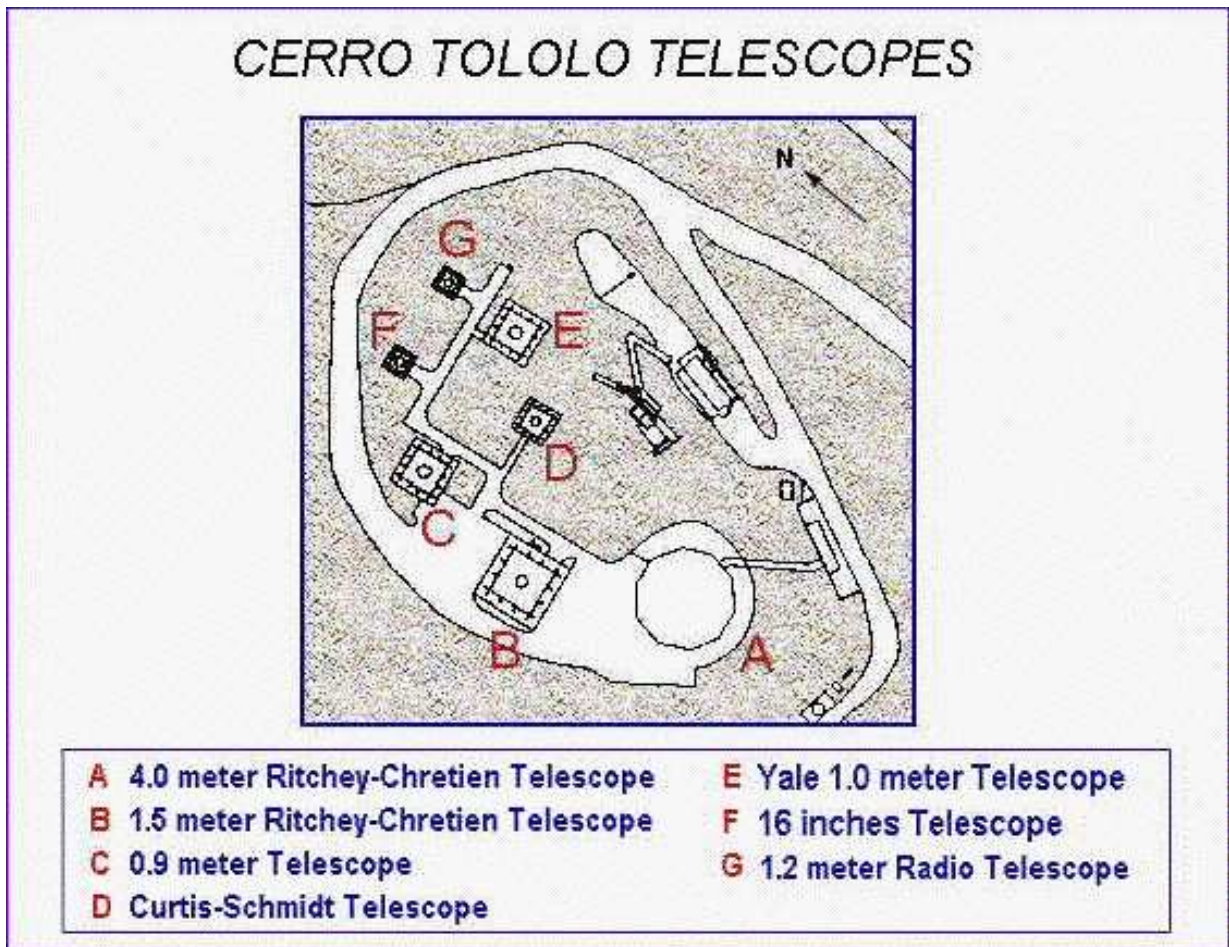
O observatório possui um complexo instrumental composto por telescópios ópticos e um rádio telescópio, distribuídos de acordo com a planta baixa da Figura I.4 e listados a seguir, conforme consta na *home page* do CTIO (<http://www.ctio.noao.edu/site/ctsite.html>):

- 4.0m Blanco Telescope
- 1.5m Ritchey-Chretien Telescope
- Yale 1.0m Ritchey-Chretien Telescope f/10 (19.5 arcsec/mm)
- 0.9m Telescope f/13.5 (16.5 arcsec/mm)
- Curtis/Schmidt Telescope (0.6/0.9m) f/3.5 (96.6 arcsec/mm)
- Lowell (0.6m) Telescope f/13.5, f/75 (25.0, 4.5 arcsec/mm)
- 1.2m Radio Telescope (SCMT, Universidad de Chile)
- “El Enano” (The Dwarf) – O menor telescopio de Tololo.

As condições atmosféricas no observatório de Cerro Tololo, conforme o *Facilities Manual* do CTIO, são excelentes. A Tabela I.2 apresenta um sumário destas condições, considerando valores mensais médios de tempo meteorológico no sítio do observatório, enquanto as Figuras I.5 a I.9 ilustram, sob forma de gráficos, tais condições.

Os meses com melhor *seeing* e o mínimo de nebulosidade estendem-se de setembro até abril. Durante estes meses mais de 70 % das noites são normalmente de boa qualidade fotométrica e mais de 80 % são noites úteis. Pode ser esperado, de maio até agosto, mais de

40 % de noites de boa qualidade fotométrica e mais de 60 % de noites úteis. A Figura I.6 mostra um gráfico da média mensal da quantidade de horas de observação, enquanto a Figura I.7 ilustra, também sob a forma de gráfico, a quantidade de horas de boa qualidade fotométricas, referenciadas mês a mês.



**Figura I.4 – Telescópios de Cerro Tololo <sup>(4)</sup>**

A temperatura diurna varia normalmente de 10 a 20 graus centígrados e, durante a noite, a variação é de 3 a 6 graus centígrados durante todo o ano. A Figura I.8 apresenta, graficamente, o que foi dito, explicitando a temperatura em Cerro Tololo mês a mês.

<sup>(4)</sup> Figura emprestada do site <http://www.ctio.noao.edu/site/ctsite.html>



Legendas	Notas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Nebulosidade	A, E	24	24	25	21	14	12	14	16	15	19	23	27	234
Noites observáveis	B, E	29	26	28	26	20	19	19	22	21	24	27	30	291
Horas noturnas de observação	B,C,E	204	209	253	259	212	207	205	226	199	208	200	202	2584
Noites observáveis com seeing # 2".0 (%)	D	72	91	75	73	70	58	63	59	43	63	78	87	-
Média da velocidade do vento (km/h)	-	10	9	10	16	21	26	24	25	26	17	16	15	-
Média da temperatura mínima (°C)	E, F	8,3	8,5	6,5	3,5	1,0	-3,0	-5,0	-4,5	-3,5	-1,2	2,5	5,5	-
Variação noturna de temperatura (°C)	G	-4,0	-4,0	-3,5	-2,5	-2,0	-1,7	-1,8	-2,1	-2,7	-3,2	-3,5	-3,9	-
Média da umidade relativa - céu claro (%)	D	45	44	37	27	36	29	23	24	31	31	32	40	-
Precipitação (em cm de H <sub>2</sub> O)	-	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	3,8	1,5	2,1	1,6	0,3	0,0	0,0	10,0
Precipitação de vapor d'água - diurno (mm)	H	4,9	4,6	3,4	2,6	2,1	2,0	1,9	2,0	2,1	2,3	3,0	3,7	-

**Tabela I.2 - Condições observacionais em CTIO <sup>(5)</sup>**

**Notas:**

A – Nebulosidade menor que 1/8 do céu durante toda a noite.

B – Nebulosidade menor que 1/8 no mínimo até a metade da noite.

C – Horas de observação considerando a nebulosidade e o comprimento da noite.

D – Walker, M.F. 1971, P.A.S.P., 83, 401 (*dados de dois anos, na direção de Sigma Oct*).

E – Média de 7 anos: 1969-1975.

F – A temperatura média máxima em CTIO variou de 20<sup>o</sup>.1 em junho para 23<sup>o</sup>.9 em janeiro.

G – Média da troca de temperatura do anoitecer até o crepúsculo matutino.

<sup>(5)</sup> Tabela emprestada e adaptada do *Facilities Manual* do Cerro Tololo Inter-American Observatory.

H – Hansen, O. KPNO-CTIO, Quarterly Bulletin, April-June 1975, and Hansen, O.L. and Caimanque, L. 1975, P.A.S.P. 87, 935. A correlação entre a umidade relativa (R.H.) e a precipitação do vapor d'água sugere que as condições de atmosfera seca são similares às existentes numa noite clara de inverno.

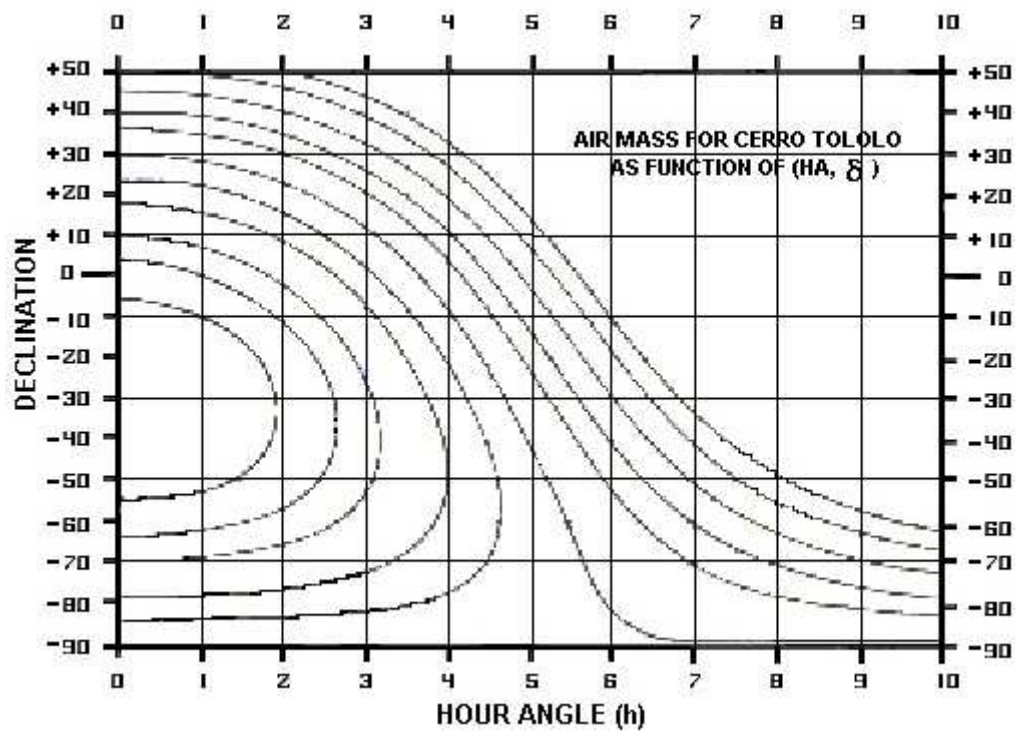


Figura I.5 – Massa de ar sobre Cerro Tololo <sup>(6)</sup>

<sup>(6)</sup> Figura constante no *Facilities Manual* do Cerro Tololo Inter-American Observatory.

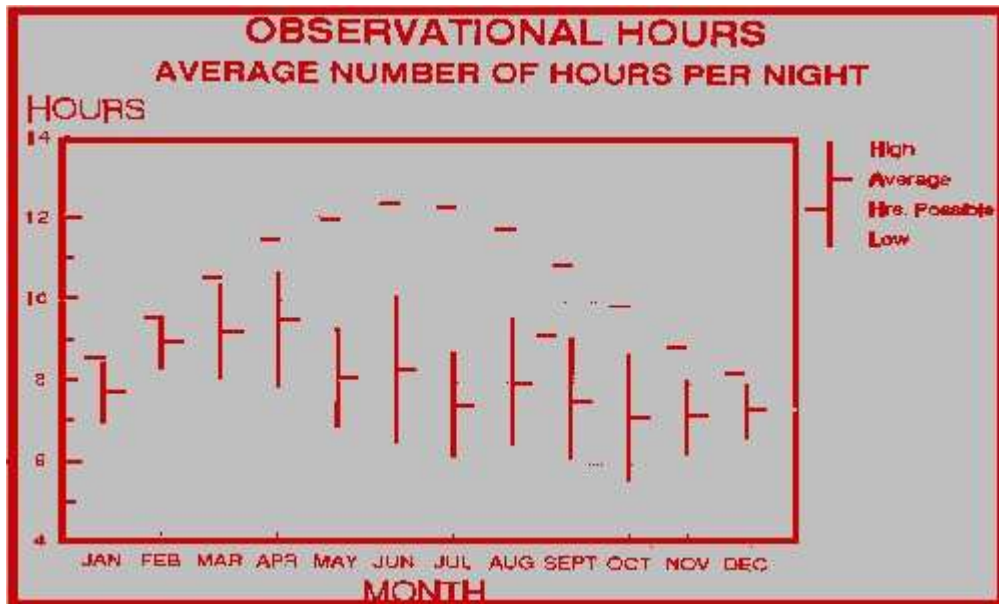


Figura I.6 – Horas de observação em CTIO <sup>(7)</sup>

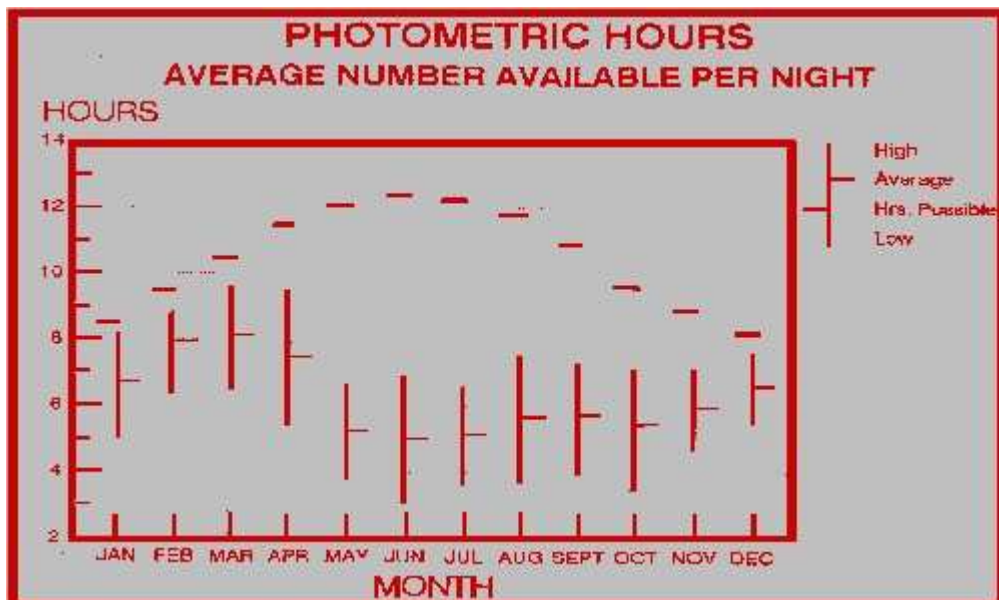


Figura I.7 – Horas fotométricas em CTIO <sup>(7)</sup>

<sup>(7)</sup> Figuras emprestadas do site <http://www.ctio.noao.edu/site/ctsite.html>.

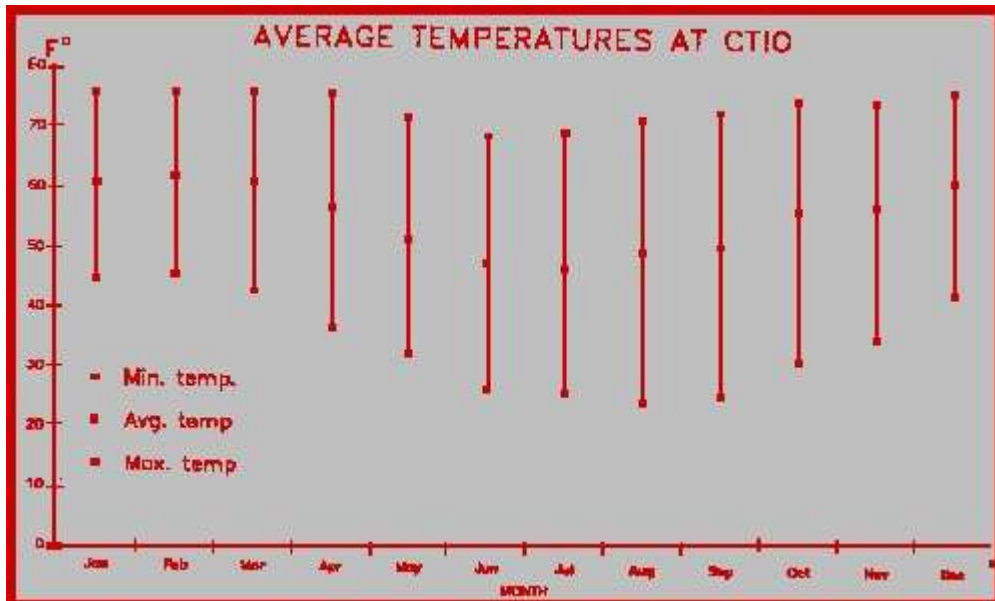


Figura I.8 – Média de temperaturas em CTIO <sup>(8)</sup>

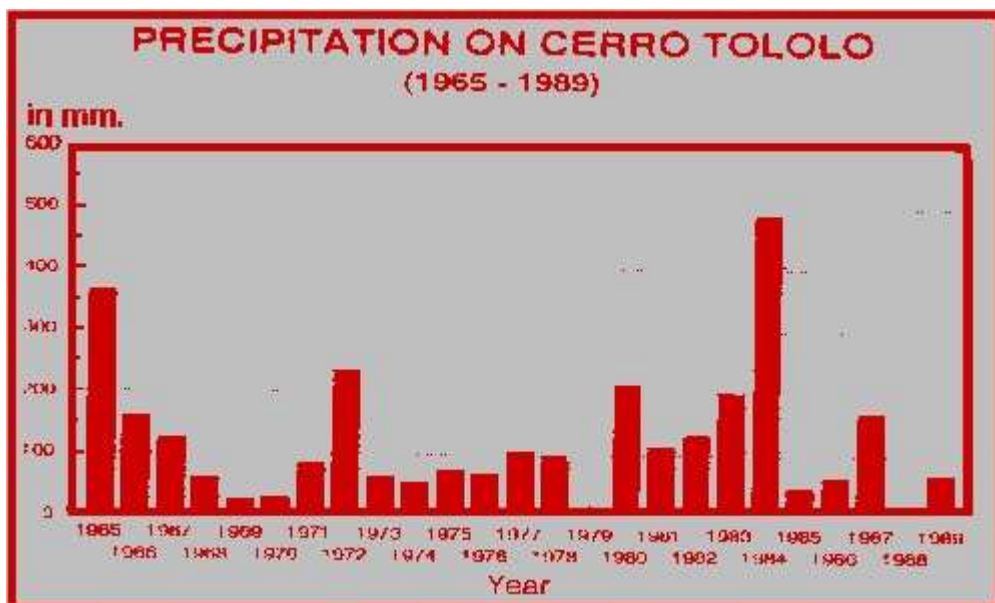


Figura I.9 - Precipitação em CTIO <sup>(8)</sup>

<sup>(8)</sup> Figuras emprestadas do site <http://www.ctio.noao.edu/site/ctsite.html>.

## **I.6.2 – LA SILLA <sup>(9)</sup>**

La Silla é uma montanha com 2400m de altitude e que limita a extremidade sul do deserto Atacama no Chile, a cerca de 600 km ao norte de Santiago, na província de Elqui. No pico da montanha está o European Southern Observatory (ESO), um grupo de mais de 15 instrumentos astronômicos cujo principal objetivo é explorar o hemisfério sul da abóbada celeste. Originalmente conhecido como Cinchado, a montanha foi posteriormente renomeada de La Silla (a sela). O local, além de apresentar um grande número de noites claras, é protegido dos principais inimigos dos astrônomos: a iluminação artificial e o pó, proveniente de fontes diversas. Tal fato foi determinante na escolha desse sítio. Afora a antena parabólica de 15 m de diâmetro, dedicada a rádio-observações, os maiores instrumentos são dois refletores de 3,6 m de diâmetro. Os demais telescópios lá existentes têm aberturas que variam numa faixa que vai de 2,2 m até 0,5 m. As coordenadas geográficas desse observatório são: 29° 15' S e 70° 44' W.

### **I.6.2.1 – O CÉU E AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS**

As condições meteorológicas em La Silla são excepcionalmente boas. Num ano típico, cerca de 70% das noites são proveitosas para observações astronômicas, chegando até a 80% em alguns anos.

Uma ocasional avalanche de neve poderá arruinar as observações astronômicas durante umas poucas noites. Outras noites, ainda, poderão ser perdidas em razão de fortes ventos, alta umidade ou em virtude do céu estar coberto por nuvens. O melhor período para as observações vai de dezembro até abril. No inverno (de julho a agosto) é baixa a quantidade de

---

<sup>(9)</sup> Material traduzido e compilado da *homepage* <http://www.ls.eso.org/lasilla> e do *ESO Users Manual*.

noites claras, no entanto, as poucas que ocorrem são parcialmente compensadas pela sua duração, que pode chegar até 11,5 h.

### I.6.2.2 – NÚMERO DE NOITES FOTOMÉTRICAS ESPERADAS EM LA SILLA

Uma idéia aproximada do número de noites fotométricas esperadas, mensalmente, é apresentada na Tabela I.3. Considera-se uma noite como fotométrica quando possuir, pelo menos, seis horas consecutivas de céu claro. O gráfico da Figura I.10 mostra uma compilação de dados relativos à claridade do céu noturno em La Silla durante os anos de 1966 até 1972, enquanto o gráfico da Figura I.15 apresenta dados recentes.

Mês	Nº de noites	Mês	Nº de noites
Janeiro	24	Julho	13
Fevereiro	23	Agosto	16
Março	26	Setembro	15
Abril	19	Outubro	18
Maio	14	Novembro	20
Junho	12	Dezembro	24

**Tabela I.3 – Noites fotométricas em La Silla** <sup>(10)</sup>

### I.6.2.3 – *SEEING*

Valores atuais de *seeing* são difíceis de avaliar, visto que estes valores dependem da capacidade de julgamento de observadores individuais. Contudo, a qualidade do *seeing* em La Silla, estimada de dados obtidos no local, é apresentada em forma de histograma, na Figura

<sup>(10)</sup> Tabela adaptada do *ESO - Users Manual*. Abril, 1983. P. 1-2.

I.11, para os meses de janeiro e de julho, os quais representam, respectivamente, o início do verão e do inverno. Os dados foram obtidos de relatórios que cobrem o período de 1970 até 1973. No gráfico da Figura I.16 observa-se dados atualizados até o ano de 2001.

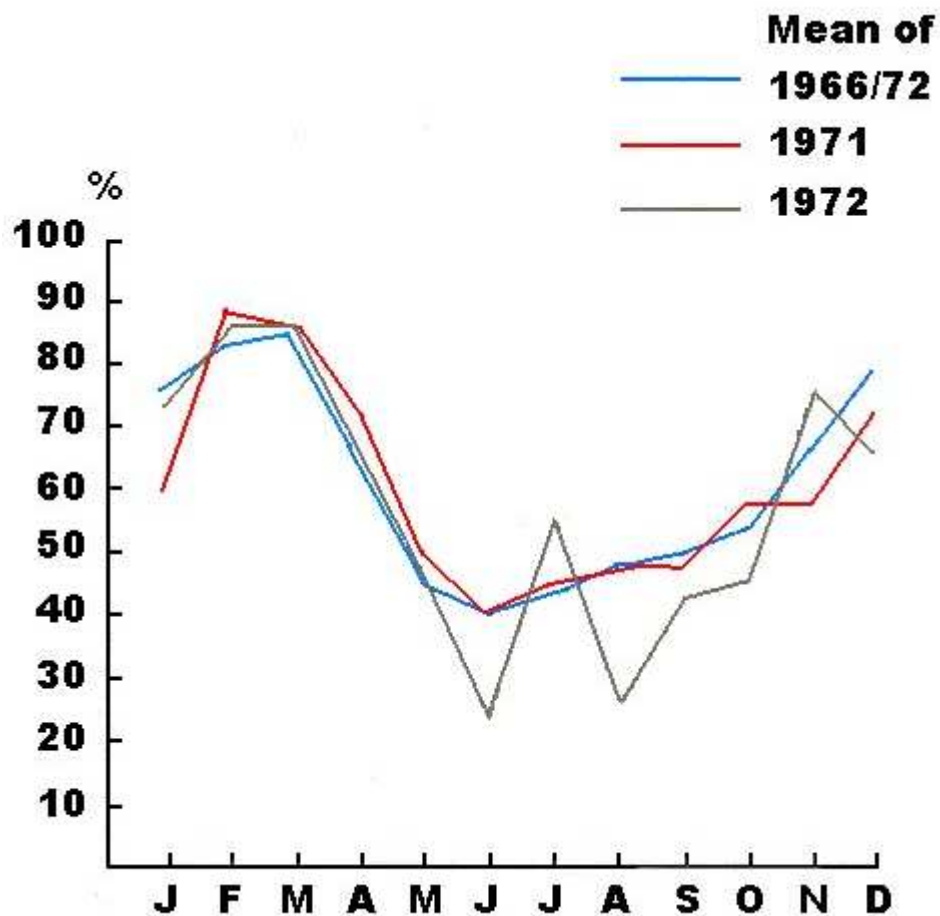


Figura I.10 – Número de noites fotométricas em La Silla <sup>(11)</sup>

<sup>(11)</sup> Figura adaptada do *ESO - Users Manual*. Abril, 1983. P. 1-2.

## SEEING QUALITY AT LA SILLA

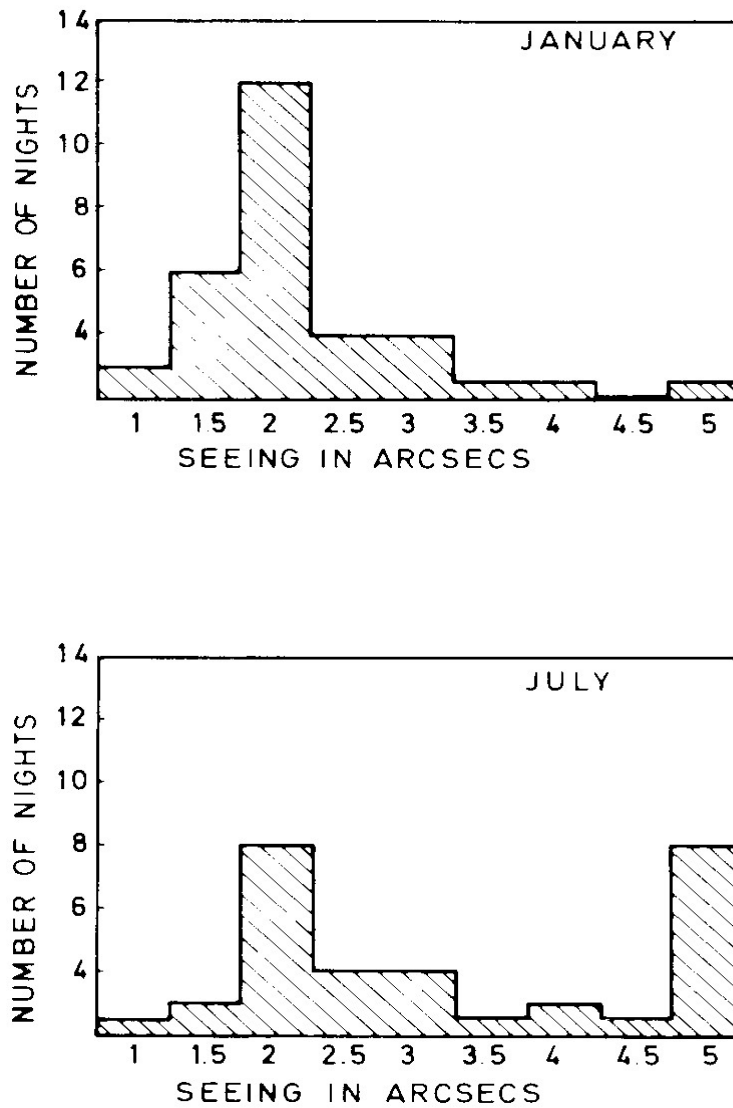


Figura I.11 – Seeing em La Silla<sup>(12)</sup>

<sup>(12)</sup> Figura emprestada do ESO – *Users Manual*. Abril, 1983. P. 1-2.



### I.6.2.4 – TEMPERATURA

As variações de temperatura em La Silla estão evidenciadas na Figura I.12, sob forma de gráfico, e cobrem os anos de 1966 até 1972.

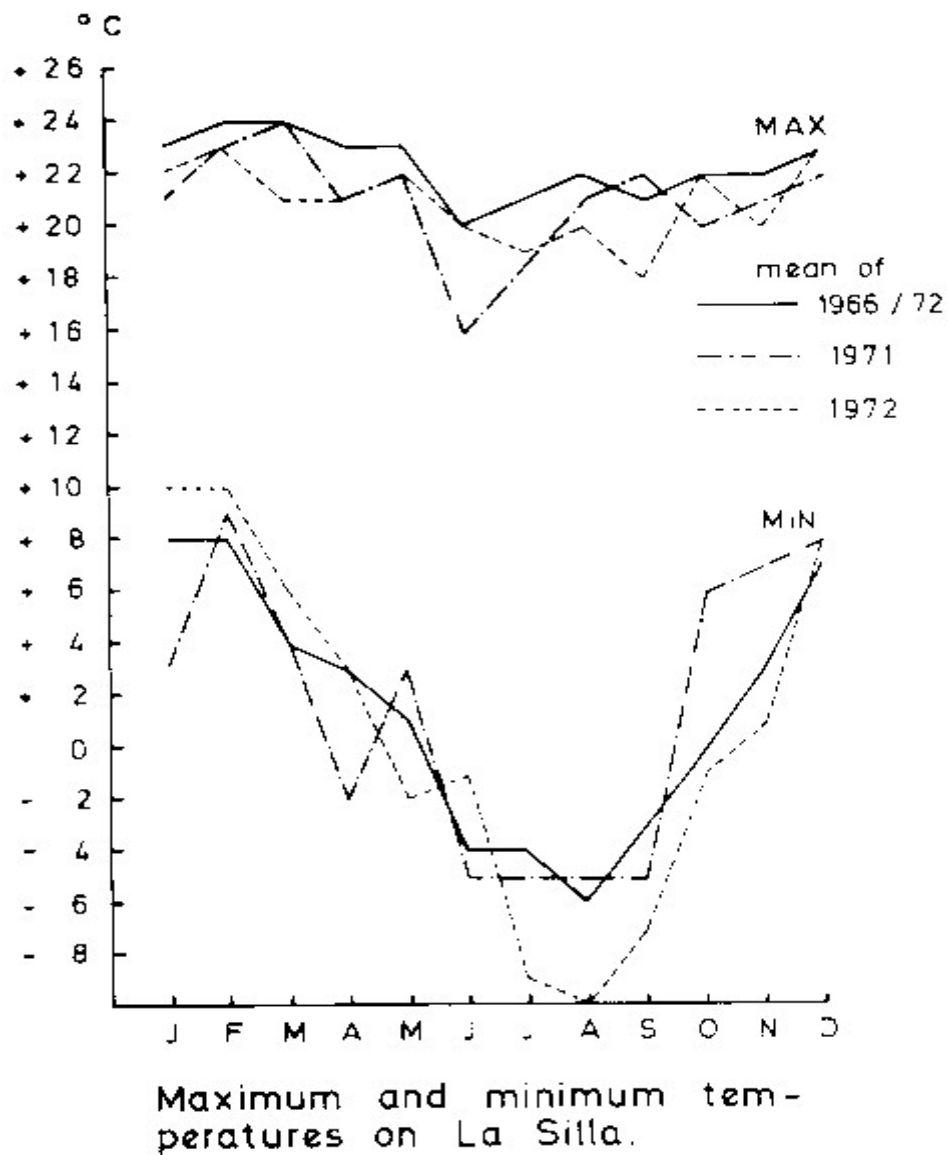


Figura I.12 – Variação de temperatura em La Silla <sup>(13)</sup>

<sup>(13)</sup> Figura emprestada do *ESO - Users Manual*. Abril, 1983. P. 1-2.

### I.6.2.5 – BRILHO DO CÉU EM LA SILLA

O brilho do céu depende das condições meteorológicas, da distância zenital, da estação do ano e da atividade solar. Os valores apresentados na Tabela I.4 foram extraídos do trabalho de Schnur, G.F.O. e Mattila, K. (1979) e foram determinados para o mês de fevereiro de 1978.

<i>Cor</i>	<i>Mag/(arcsec)<sup>2</sup></i>
U	22.0
B	22.96
V	21.9
R	21.17
I	20.18

**Tabela I. 4– Brilho do céu em La Silla** <sup>(14)</sup>

### I.6.3 – PARANAL OBSERVATORY

<sup>(15)</sup>

O Paranal Observatory está localizado no cume do Cerro Paranal, na parte norte do Chile, no deserto do Atacama, o qual se acredita ser a área mais seca da Terra. A altitude do Cerro Paranal é de 2.635,43m, estando situado a cerca de 120km de distância ao sul da

<sup>(14)</sup> Tabela adaptada do *ESO - Users Manual*. Abril, 1983. P. 1-2.

<sup>(15)</sup> Todos dados, figuras e tabelas do tópico I.6.3 foram traduzidos e adaptados do *homepage* do Paranal Observatory, cujo site é <http://www.hq.eso.org/paranal>.

cidade de Antofagasta e a 12km da costa do Pacífico. Suas coordenadas geográficas são 24° 40' S e 70° 25' W.

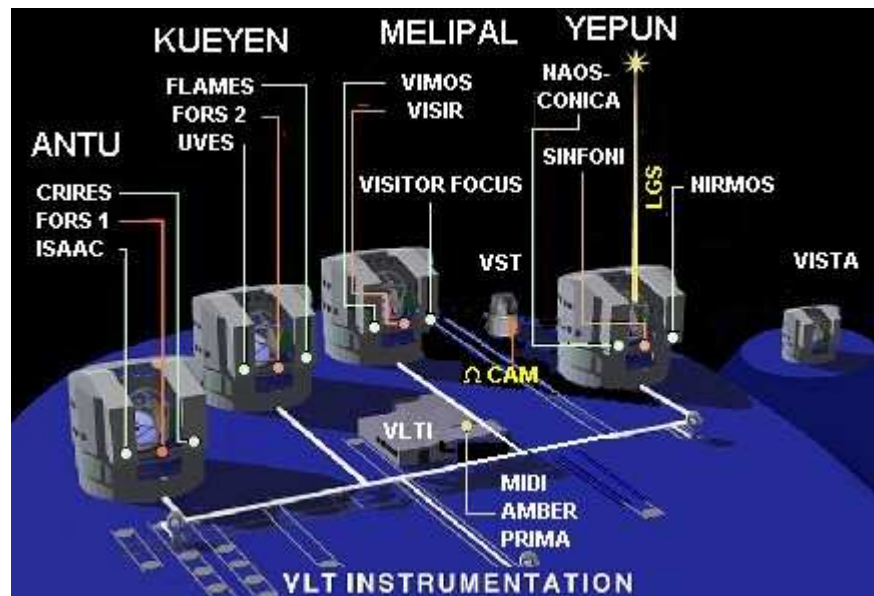
A montanha do Paranal foi escolhida em razão de suas excelentes condições atmosféricas (veja Tabela I.8) e da transparência do seu céu noturno.

O Paranal Observatory (Figura I.13), gerenciado pelo ESO - European Southern Observatory (Observatório Europeu Austral), possui um instrumental denominado *Very Large Telescope* (VLT). O VLT pretende ser o maior e mais potente telescópio do mundo. Compreende quatro unidades de telescópio de 8,2m de diâmetro cada um, além de um pacote solidário de instrumentos de primeira geração. Cada unidade (UT – *Unit Telescope*) pode operar individualmente ou de forma combinada, assim como no modo interferométrico, fornecendo imageamento em alta resolução. O VLT atua numa faixa de comprimento de onda que se estende deste o ultravioleta próximo até 25 $\mu$ m, no infravermelho. As unidades foram



**Figura I.13 – Paranal Observatory**

batizadas com os nomes indígenas Antu, Kueyen, Melipal e Yepun, que em mapuche significam Sol, Lua, Cruzeiro do Sul e Sírio, respectivamente. Uma representação pictográfica dos instrumentos do Paranal é evidenciada na Figura I.14.



**Figura I.14 – Instrumental do VLT**

O complexo é dotado, ainda, do VLTI – *VLT Interferometer*, constituído por três telescópios auxiliares “*outriggers*” de 1.8m de diâmetro: o MIDI – *MID-infrared Interferometric instrument*, o AMBER e o PRIMA – *Phase-Referenced Imaging and Microaresecond Astrometry*. Completam o sistema o VISTA – *Visible and Infrared Telescope for Astronomy*, cujo diâmetro é de 4m, e o VST – *VLT Survey Telescope*, telescópio de 2.5m de diâmetro, provido do instrumento OmegaCAM.

Cada unidade possui dois focos Nasmyth e um Cassegrain, distribuídos conforme a Tabela I.5 e com as coordenadas geográficas expressas na Tabela I.7. Ressaltamos que a UT4, denominada Yepun, contém um sistema de guia especial conhecido por LGS - *Laser Guide Star*. A Tabela I.6 apresenta o cronograma de construção do observatório.

Telescópio	Instrumento		
	Nasmyth A	Cassegrain	Nasmyth B
UT1 - ANTU	ISAAC	FORS1	CRIRES
UT2 - KUEYEN	FLAMES	FORS2	UVES
UT3 - MELIPAL	VISITOR	VISIR	VIMOS
UT4 - YEPUN	NIRMOS	SINFONI	NAOS-CONICA
	Laser Guide Star		

**Tabela I.5 – Instrumentos do Paranal Observatory**

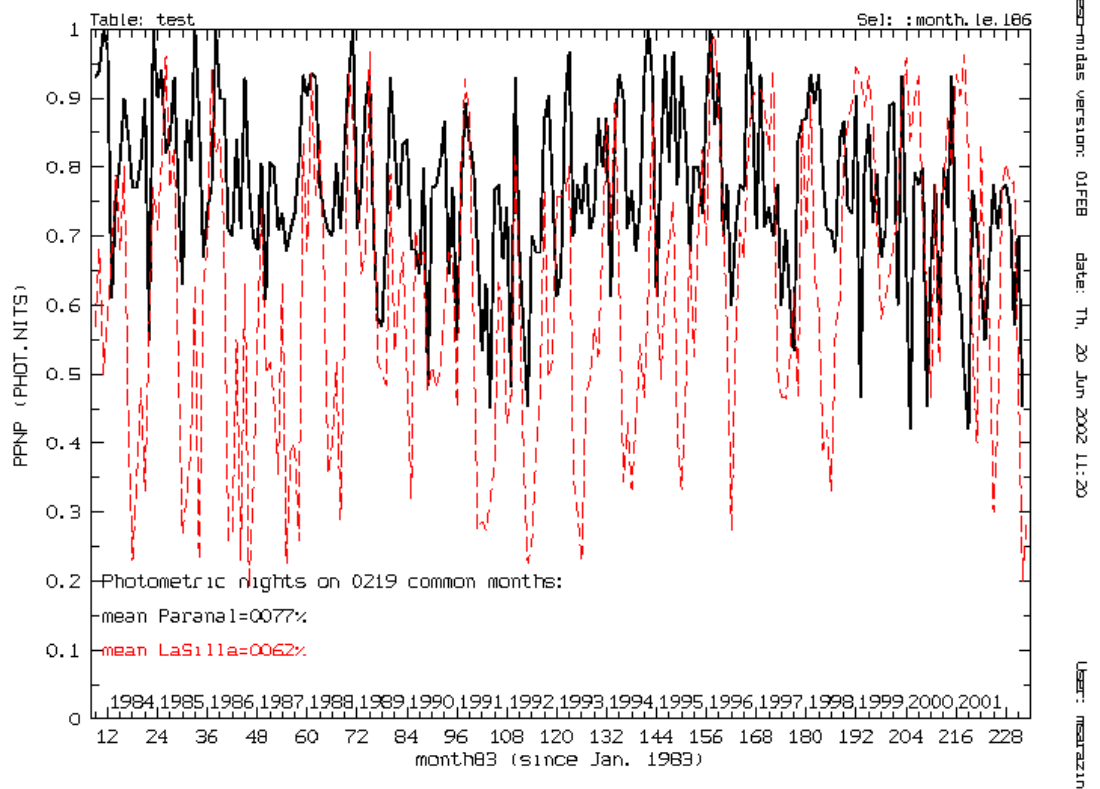
VLT 1st GENERATION INSTRUMENTATION			
Acronym	Built by	Observing Modes	Installation
ISAAC	ESO	Imaging & Long - Slit Spectrography (1-5 $\mu\text{m}$ )	1998
FORS1/2	Heidelberg, München, Göttingen, ESO	Imaging, MOS <sup>*</sup> , Polarimetry (0.3-1 $\mu\text{m}$ )	1998/1999
NAOS	ONERA, Paris, Grenoble, ESO	Adaptive Optics Bonnette for CONICA	2001
CONICA	MPE Heidelberg & Garching, ESO	High Angular Resolution Imaging (1-5 $\mu\text{m}$ )	2001
UVES	ESO, Trieste	High Resolution Cross-Dispersed spectrography (0.3-1 $\mu\text{m}$ )	1999
FLAMES	Paris, Genève; A.A.O., ESO	MOS <sup>*</sup> (fiber) & Integral Field Spectrography (0.37-1 $\mu\text{m}$ )	2001
VISIR	Saclay, ASTRON, ESO	Imaging & long-slit spectroscopy (8-25 $\mu\text{m}$ )	2001
VIMOS	Paris, Marseille, OHP, Toulouse, Bologna, Milano, Napoli, ESO	Wide Field Imaging & MOS <sup>*</sup> (0.37-1 $\mu\text{m}$ )	2000
NIRMOS	Paris, Marseille, OHP, Toulouse, Bologna, Milano, Napoli, ESO	Wide Field Imaging & MOS <sup>*</sup> (1-1.7 $\mu\text{m}$ )	2002
CRIRES	ESO	High Resolution Echelle Spectrography (1-5 $\mu\text{m}$ )	2003
SINFONI	MPE-Garching, ESO	Adaptive Optics-based Integral Field Spectrography (1-2.5 $\mu\text{m}$ )	2002

\* MOS = Multi-Object Spectrography

**Tabela I.6 – Cronograma de construção**

### I.6.3.1 - NOITES FOTOMÉTRICAS

O céu é fotométrico em 78 % das noites. Estatísticas das noites fotométricas desde 1984 são apresentadas na Figura I.15.



**Figura I.15 – Noites Fotométricas em Paranal e La Silla**

### I.6.3.2 – SEEING

Estatística do *seeing* para os observatórios Paranal e La Silla, que compreende o período de janeiro de 1987 até 2001, são apresentadas na Figura I.16.

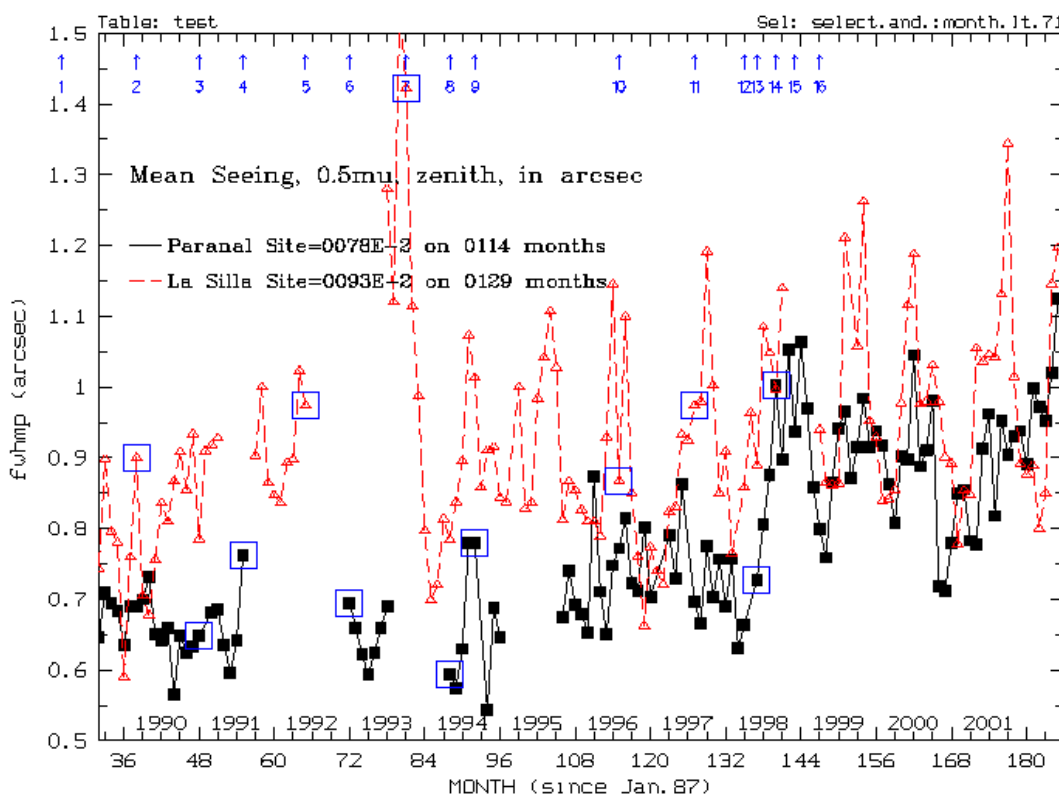


Figura I.16 – Seeing em Paranal e La Silla

### I.6.3.3 - DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO

A velocidade média do vento 10m acima do solo oscila entre 5.9m/s e 6.9m/s. Estatísticas relativas à velocidade do vento, cobrindo o período 1985 até o ano de 1999, estão disponíveis na Figura I.17, enquanto a Figura I.18 informa a direção do vento.

### I.6.3.4 - VAPOR D'ÁGUA E RADIAÇÃO SOLAR

A precipitação de vapor d'água é menor do que 8,2% por noite. Curvas mostrando a distribuição de vapor d'água na atmosfera sobre Paranal podem ser vistas na Figura I.19. O gráfico da Figura I.20 representa a radiação solar, mês a mês, em Paranal.

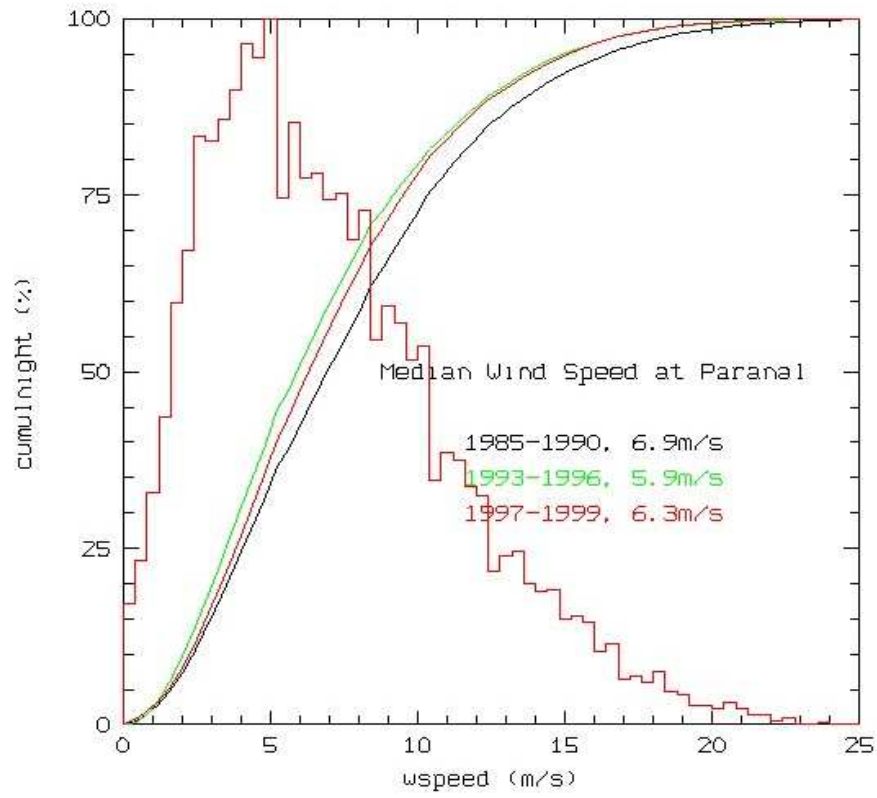
Número	Latitude	Longitude
UT1	24° 37' 33.117" S	70° 24' 11.642" W
UT2	24° 37' 31.465" S	70° 24' 10.855" W
UT3	24° 37' 30.300" S	70° 24' 9.896" W
UT4	24° 37' 31.000" S	70° 24' 8.000" W

**Tabela I.7 – Coordenadas geográficas dos telescópios de Paranal**

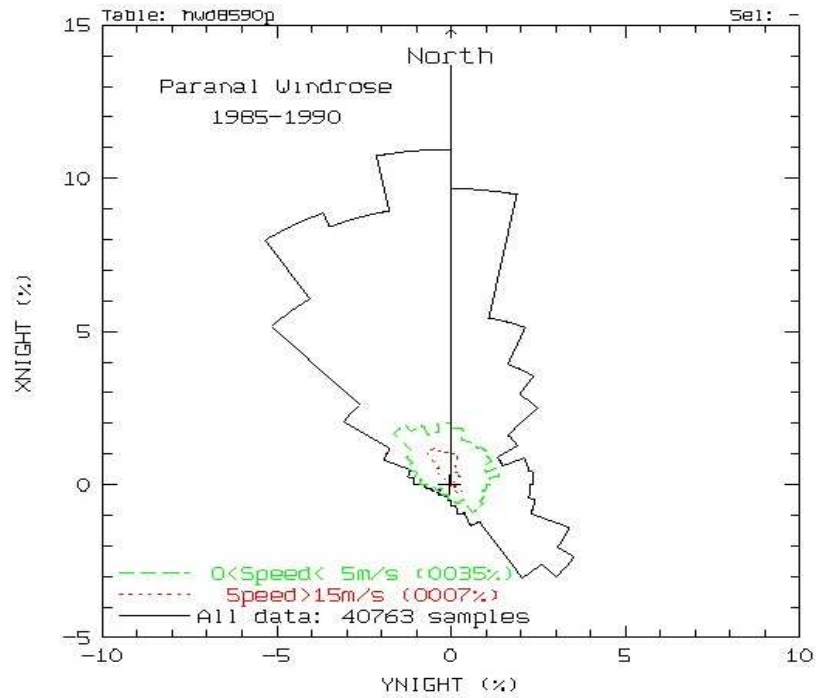
Pressão Atmosférica	750 mbar	±50 mbar
Densidade	0.96 kg/m <sup>3</sup>	Tipicamente
Temperatura	-8° to 25°C	Medido entre 1985-1990
Gradiente de Temperatura noturno	-0.4°C/h	Tipicamente
Umidade	5-20%	Tipicamente
Chuva	<10 mm/ano	Tipicamente
Neve	1 ou 2 vezes por ano	Tipicamente
Formação de camada de gelo	5 cm	Valor Máximo
<b>Média da radiação solar</b>	Gráfico – ver figura I.20	
Máxima Diária	1120 W/m <sup>2</sup>	Verão
Máxima Diária	800 W/m <sup>2</sup>	Inverno
Ozônio	180 mg/m <sup>3</sup>	Máximo
<b>Ventos</b>		
Distribuição	>10 m/s	25% das noites
	>20 m/s	50 noites por ano
Distribuição	Gráfico – Ver figura I.17	
Períodos longos de ventos fortes	47.2 m/s	Período completo: 50 anos
	50.7 m/s	Período completo: 100 anos
	54.2 m/s	Período completo: 200 anos
Direção do vento	Ver figura I.18	
<b>Poluição</b>	NO < 3 ppb	Tipicamente.
	NO <sub>2</sub> < 2 ppb	Tipicamente
	SO <sub>2</sub> < 4 ppb	Tipicamente

**Tabela I.8 – Informações climáticas**

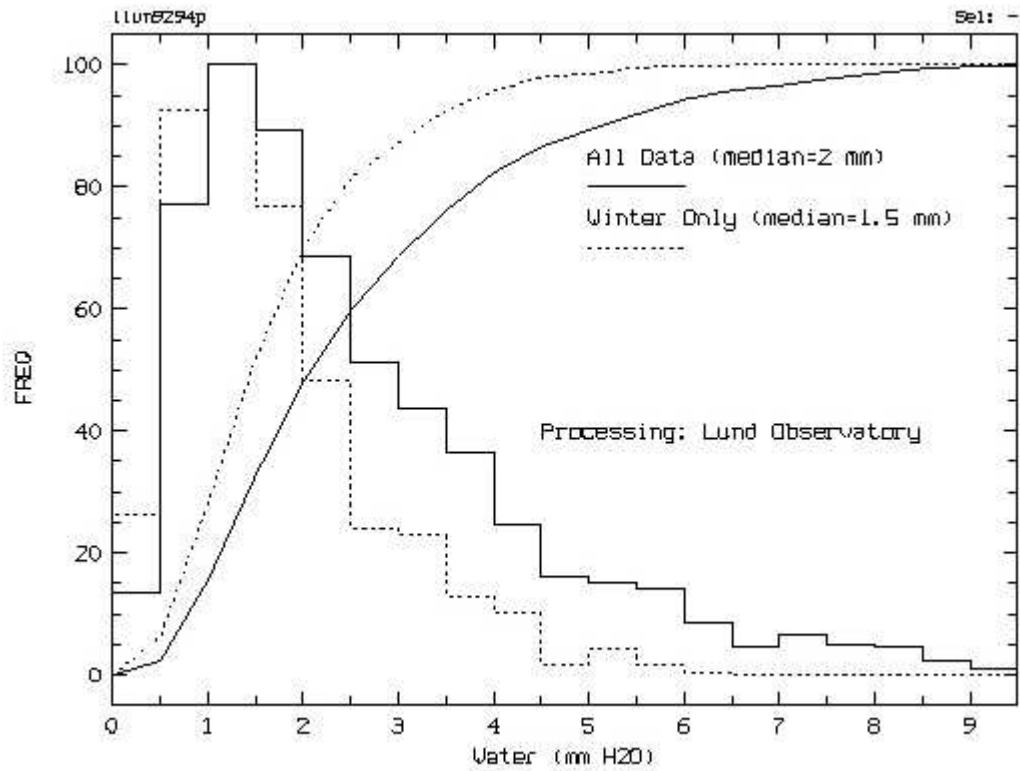




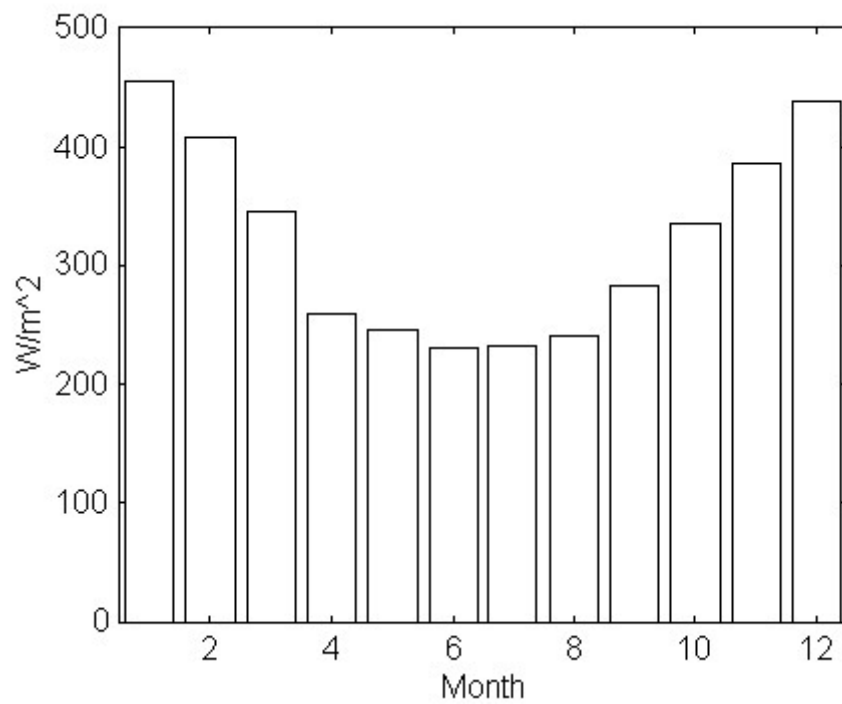
**Figura I.17 – Distribuição do Vento em Paranai**



**Figura I.18 – Direção do vento**



**Figura I.19 – Precipitação de Vapor d'água**



**Figura I.20 – Radiação Solar em Paranal**

## I.7 – OBSERVATÓRIOS NO BRASIL

A comunidade astronômica nacional, apesar da competência, dispõe de raros observatórios de qualidade no país, conforme evidencia a Tabela I.9, a qual mostra a distribuição destes observatórios pelos estados do Brasil.

Estado	Número de observatórios
BAHIA	01
CEARÁ	04
ESPÍRITO SANTO	03
MINAS GERAIS	09
PARANÁ	01
PERNAMBUCO	01
RIO DE JANEIRO	05
RIO GRANDE DO SUL	03
SANTA CATARINA	01
SÃO PAULO	18
TOTAL	46

**Tabela I.9 – Distribuição dos observatórios no Brasil <sup>(16)</sup>**

Em geral, os instrumentos que estes observatórios utilizam são telescópios refletores, com espelhos cujo diâmetro oscila entre 50 ou 60cm, limite que só é superado pelo telescópio do Observatório do Pico dos Dias, cujo espelho tem diâmetro de 1,60m.

<sup>(16)</sup> Tabela adaptada do trabalho de Marcelo Breganhola, denominado Diretório de Observatórios Brasileiros.

### I.7.1 – OBSERVATÓRIO DO PICO DOS DIAS (OPD)<sup>(17)</sup>

O Observatório do Pico dos Dias (Figura I.21) foi inaugurado em 22 de abril de 1980, sendo entregue pelo CNPq à comunidade somente em fevereiro de 1981. Até 1984, o Observatório Astrofísico Brasileiro, como era chamado, era gerenciado como uma divisão do Observatório Nacional, passando a denominar-se Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) em 1985. Oficialmente, porém, o LNA só foi instituído pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq em 9 de novembro de 1989, ocasião em que recebeu a autonomia necessária para seu pleno funcionamento.



**Figura I.21 – Vista aérea do OPD**

O Observatório do Pico dos Dias localiza-se no município de Brasópolis, no sul do Estado de Minas Gerais, distando 37km de cidade de Itajubá, 300km da cidade do Rio de Janeiro e 250km de São Paulo.

Está a uma altitude de 1864m sobre o nível do mar, nas seguintes coordenadas geográficas:

Longitude: 45° 34' 57" W (+03h 02m 19.8s)

Latitude: 22° 32' 04" S

---

<sup>(17)</sup> Todas as informações, figuras e tabelas constantes nos itens I.7.1 a I.7.3 foram extraídas e adaptadas do *site* do LNA: <http://www.lna.br>.

### I.7.1.1 - BRILHO DO CÉU EM UBVRI

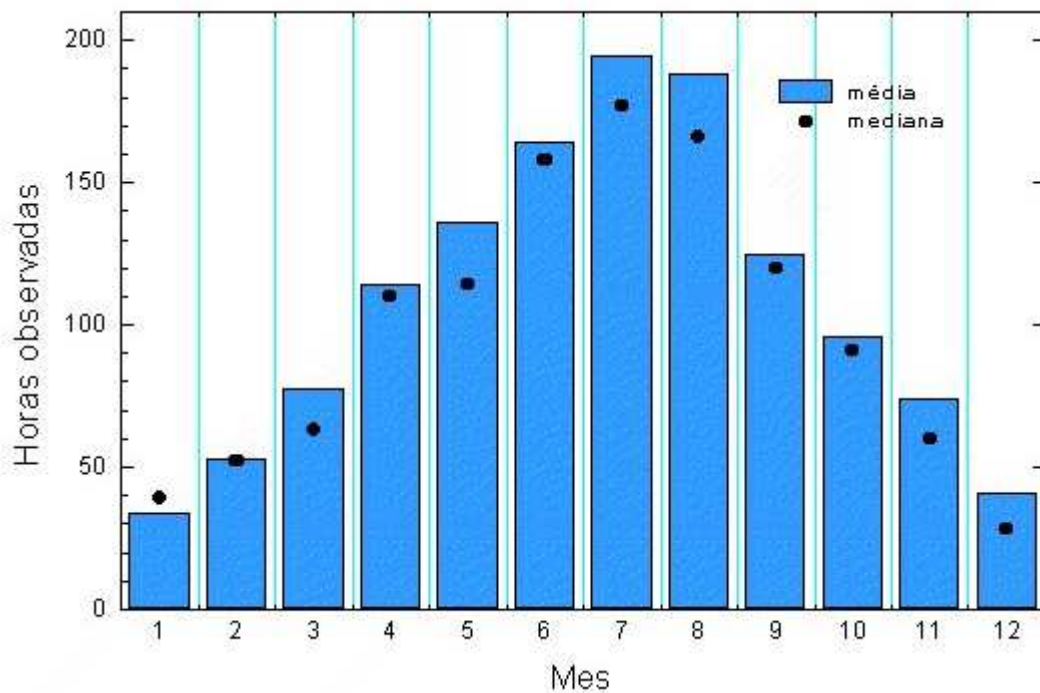
Apresentamos, na Tabela I.10, valores medianos (em mag por segundo de arco quadrado) para o período 1988-1995, nas quais UBVRI significam bandas passantes que vão do ultravioleta (U-3500 Å) ao infravermelho (I-7000 Å).

U	B	V	R	I
21.55	21.99	21.05	20.39	19.29

**Tabela I.10 – Brilho UBVRI em OPD [mag/(arcsec)<sup>2</sup>]**

### I.7.1.2 – ESTATÍSTICAS DO NÚMERO DE HORAS OBSERVÁVEIS (1981-1994)

A média e mediana do número de horas observadas no OPD em função do mês para o período 1981-94, estão representadas no gráfico da Figura I.22, a seguir.



**Figura I.22 – Estatística mensal do número de horas de observação**

### I.7.1.3 - TELESCÓPIOS DO LNA

O LNA dispõe, atualmente, dos seguintes telescópios instalados no Observatório do Pico dos Dias (veja o resumo das características destes instrumentos na Tabela I.11):

#### a) Telescópio 1,6m - Perkin-Elmer (Figura I.23)



Instalado em 1981, é o principal telescópio do OPD. Seu espelho primário tem diâmetro de 1,6m, razão focal Cassegrain de  $f/10$  e óptica do tipo Ritchey-Chrétien. No foco Coudé a razão focal é  $f/31,2$ , obtido por conversão. O apontamento e acompanhamento de alvos é controlado por programa, desenvolvido pela UFMG e LNA, com precisão absoluta de 15

**Figura I.23** segundos de arco. O telescópio é utilizado para fotometria e espectroscopia.

#### b) Telescópio 0,6m - Boller & Chivens (IAGUSP – Figura I.24)



O telescópio foi instalado no OPD em 1992, em convênio com o Instituto Astronômico e Geofísico da USP. O primário tem 60cm de diâmetro e razão focal Cassegrain de  $f/13,5$ . A óptica é do tipo Ritchey-Chrétien. O apontamento utiliza uma adaptação do programa desenvolvido para o

**Figura I.24** telescópio de 1,6m. É utilizado exclusivamente para fotometria.

#### c) Telescópio 0,6m - Zeiss (Figura I.25)



O telescópio foi adquirido da ex-Alemanha Oriental nos anos 60/70. Permaneceu armazenado em Brasópolis até 1983, quando foi montado no OPD. É um Cassegrain clássico, com primário parabólico e secundário hiperbólico. A razão focal Cassegrain é  $f/12,5$  e o apontamento é manual.

**Figura I.25** É utilizado exclusivamente para fotometria.

Telescópio	Área (cm <sup>2</sup> ) <sup>(a)</sup>	f/D <sup>(b)</sup>	Escala ("/mm)
1,6m	16085	10,0	12,9
0,6m B&C	2262	13,5	25,5
0,6m Zeiss	2262	12,5	27,5

**Tabela I.11 – Resumo das características dos telescópios do LNA**

Notas:

- a) Para obscurecimento central de 20%
- b) No foco Cassegrain

## **I.7.2 - O FUTURO DOS OBSERVATÓRIOS NACIONAIS**

A tendência internacional nos estudos de Astronomia aponta para a realização de grandes observatórios, localizados em sítios estrategicamente escolhidos e construídos de forma cooperativada, como forma de diminuir custos e disseminar de forma mais igualitária o conhecimento assim obtido. O LNA, ciente de suas responsabilidades com a comunidade científica brasileira, participa de dois projetos internacionais: o projeto Gemini e o projeto SOAR.

### **I.7.2.1 – O PROJETO GEMINI**

O projeto Gemini é um consórcio internacional, composto pelos Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Chile, Argentina, Austrália e Brasil, que objetivou a construção de dois telescópios dotados de espelho refletor de 8m de diâmetro cada um: o Gemini Norte e o

Gemini Sul. O Gemini Norte situa-se em Mauna Kea, no Havaí, a 4220m sobre o nível do mar, e foi inaugurado em junho de 1999. O Gemini Sul (Figura I.26) foi construído em Cerro Pachon, no Chile, a uma altitude de 2720m, tendo sido inaugurado no ano de 2002. A instalação dos telescópios em ambos hemisférios possibilitará a observação em qualquer posição no céu, tornando acessíveis todos os objetos importantes, como por exemplo, as Nuvens de Magalhães, a galáxia de Andrômeda, M32 e M33. Ambos os sítios oferecem altas porcentagens de céu limpo e excelente estabilidade atmosférica.



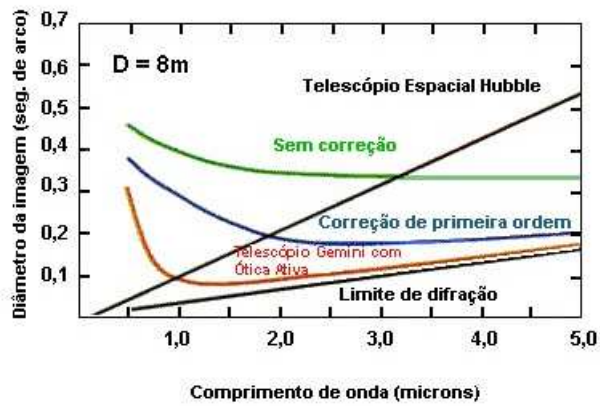
**Figura I.26 – Gemini Sul (Chile)**

Os telescópios são projetados para explorar ao máximo a boa qualidade de imagem desses sítios. Deverão ser obtidas imagens com diâmetros de cerca de 0,1" no infravermelho (IV) próximo ( $\sim 2,2 \mu\text{m}$ ) e limitadas sobretudo pela difração no IV distante.

Na faixa do visível poderão ser obtidas imagens menores que 0,3", passíveis de melhoria por óptica adaptativa. Para a maioria das aplicações será conseguida uma sensibilidade dez vezes maior que a dos atuais telescópios de 4m graças à combinação de grande abertura, excelente resolução e baixa emissividade térmica.

Os instrumentos iniciais fornecerão recursos básicos para espectroscopia e imageamento óptico e IV.





**Figura I.27 – Qualidade da imagem dos telescópios dos Gemini**

#### **I.7.2.1.1 - QUALIDADE DE IMAGEM**

As imagens dos telescópios se aproximarão do limite de difração a partir de 2,2  $\mu\text{m}$  e, nas melhores condições, sofrerão degradação mínima nos comprimentos de onda menores, conforme se verifica no gráfico da Figura I.27.

#### **I.7.2.1.2 - OTIMIZAÇÃO NO INFRAVERMELHO**

A utilização do espelho secundário para limitar a parte interna da pupila de entrada reduzirá a emissividade térmica dos telescópios a menos de 4%, podendo atingir 2%. Isto é comparável à emissividade atmosférica mínima em Mauna Kea.

#### **I.7.2.1.3 - INSTRUMENTAÇÃO VERSÁTIL**

A estrutura de suporte permitirá manter 3 a 5 instrumentos científicos com pesos de

até 2 toneladas, operando do ultravioleta ao IV distante. Conterá também módulos de aquisição e guiagem, óptica adaptativa e recursos para calibrações.

#### **I.7.2.1.4 - SUPERFÍCIE DE ALTA QUALIDADE DO ESPELHO**

A superfície do espelho primário do Gemini será muito uniforme em pequena escala, sendo sua forma global controlada por um sistema de suporte ativo.

#### **I.7.2.1.5 - ÓPTICA ATIVA**

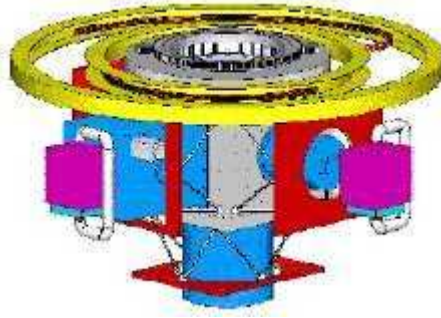
A forma do espelho primário e o alinhamento óptico serão ajustados através de sensores de frente de onda em intervalos de poucos minutos para corrigir flexões e deformações térmicas.

#### **I.7.2.1.6 - GUIAGEM RÁPIDA**

Um sensor atuando no plano focal do instrumento científico controlará a guiagem rápida com frequência maior que 10Hz através do espelho secundário articulado. A guiagem rápida compensa em primeira ordem as distorções da frente de onda produzida pela atmosfera e a vibração do telescópio produzida pelo vento.

#### **I.7.2.1.7 - SISTEMA AVANÇADO DE SUPORTE DO ESPELHO**

Uma bacia rígida e um sistema distribuído de suportes hidráulicos em 3 ou 6 zonas tornará o espelho primário indeformável sob rajadas de vento (Figura I.28).



**Figura I.28 – Sistema de suporte**

#### **I.7.2.1.8 - CONTROLE TÉRMICO DO SISTEMA**

A cúpula, telescópio e óptica são projetados para, com controle térmico ativo, acompanhar as variações de temperatura do ar ambiente reduzindo a degradação de imagem produzida pelo espelho.

#### **I.7.2.1.9 - CONTROLE DO FLUXO DE AR**

O espelho primário do telescópio estará localizado 20 metros acima do chão, que é bem acima da camada de turbulência superficial. O interior da cúpula é projetado para otimizar a ventilação e a redução da velocidade do vento.

#### **I.7.2.2 – O PROJETO SOAR**

O Brasil, em parceria com os Estados Unidos, está envolvido no projeto de um outro telescópio, menos potente que os do Projeto Gemini, construído também no Chile, em Cerro Pachon, ao lado do Gemini Sul. Trata-se do **SO**uthem **A**strophysical **R**esearch, o Projeto SOAR.

### **I.7.2.2.1 - O SÍTIO DO TELESCÓPIO SOAR**

O sítio em que foi construído o SOAR, Figura I.29, localiza-se em Cerro Pachon, nos Andes Chilenos, a 2.701m de altitude. Está a cerca de 10km a sudoeste do Cerro Tololo Inter-American Observatory, sendo, entretanto, 500m mais alto que o CTIO. O SOAR ficará a aproximadamente 80km de La Serena, onde as instalações da AURA estarão disponíveis para astrônomos brasileiros que realizarão pesquisas com o SOAR.

Próximo a ele, na mesma montanha, 200m ao norte e um pouco mais alto (14m), está situado o observatório Gemini-Sul.

A determinação de construir em Cerro Pachon levou em consideração a umidade extremamente baixa do local (o que é ótimo para observações no infravermelho), a estabilidade atmosférica e a sua situação quase sempre acima da camada da inversão térmica.



**Figura I.29 – Sítio do SOAR**

### **I.7.2.2.2 - INSTRUMENTAÇÃO**

Não estão definidos, ainda, quais os instrumentos que serão utilizados no SOAR, entretanto, espera-se a construção dos seguintes:

- Espectrógrafo óptico de alta eficiência;
- Espectrógrafo óptico de alta resolução espacial (IFU);
- Espectrógrafo para o infravermelho próximo (GNIRS - Gemini);
- Câmera imageadora óptica;
- Câmera imageadora para o infravermelho próximo.

## **I.8 - ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS**

### **I.8.1 - CIRCULAÇÃO GERAL NA ATMOSFERA**

A órbita elíptica descrita pela Terra em torno do Sol está inserida em um plano que não é exatamente perpendicular ao eixo de rotação do planeta. A direção deste eixo apresenta uma inclinação de cerca de  $23,5^\circ$  em relação àquela perpendicular, mantendo esta direção constante durante todo o movimento de translação do planeta. Na realidade, a direção do eixo de rotação não é constante, mas varia lentamente, executando um movimento denominado de precessão em torno, também, da mesma perpendicular. O movimento de precessão perfaz uma volta completa em, aproximadamente, 26.000 anos, não interferindo, porém, no ângulo de inclinação do eixo de rotação, mas apenas em sua direção.

O fato do eixo de rotação apresentar-se inclinado, além de explicar as mudanças periódicas de estação, faz com que a quantidade de calor solar incidente em cada ponto da Terra varie conforme a latitude destes pontos. Assim, regiões situadas nos pólos recebem menos calor do que regiões equatoriais. Conseqüentemente, o aquecimento da atmosfera nas regiões equatoriais é maior que nas regiões polares e, deste modo, o ar frio das regiões polares

move-se rumo ao equador, substituindo o ar quente ali existente e causando a circulação geral da atmosfera.

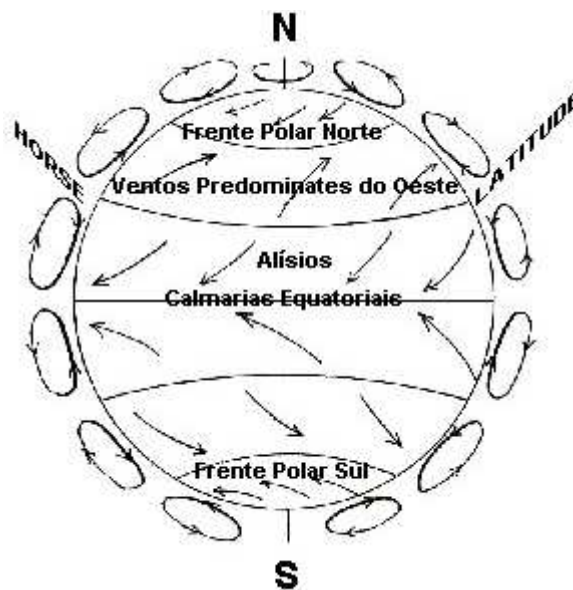
Se não existisse o movimento de rotação da Terra a circulação atmosférica seria muito simples. Conforme Gamow (1973, p. 147):

*O ar aquecido pelos raios do Sol na zona equatorial subiria para o alto, dando lugar ao ar frio que avança sobre a superfície, proveniente das regiões polares. O ar quente ascendente esfriaria e se moveria, nas grandes altitudes, para o norte e para o sul, a fim de substituir o ar frio que, nas baixas altitudes, demanda do equador. Nesse caso, todo o hemisfério setentrional estaria exposto a um constante vento frio do norte, verificando-se a situação inversa no hemisfério meridional. Devido, porém, à rotação da Terra, as massas de ar frio que viajam dos pólos para o equador e as correntes de ar quente que se dirigem do equador para os pólos são defletidas da sua rota perpendicular.*

A deflexão das massas de ar ocorre em razão das leis mecânicas de conservação do movimento. O planeta gira como uma esfera compacta, portanto, todos os pontos desta esfera estarão animados de mesma velocidade angular. O conjunto dos pontos de mesma latitude, situado na superfície, formará um círculo cujo raio determinará a intensidade das velocidades lineares que animarão estes pontos. Estes círculos terão seus raios variando na razão inversa ao aumento de latitude. Deste modo, pontos situados em latitudes baixas, próximas ao equador, serão detentores de velocidades lineares maiores que pontos localizados próximos aos pólos. Como as massas de ar frias deslocam-se rentes à superfície, dos pólos para o equador, fatalmente penetrarão em regiões em que os pontos da superfície do planeta possuem

velocidades lineares superiores às suas. Por sua vez, as massas frias deverão conservar, por inércia, a velocidade original com que se moviam. Desta forma, o solo da região sobre a qual avançam “correrá a frente delas”, resultando nos chamados ventos *Alísios*, que sopram nas regiões equatoriais, permanentemente, de nordeste para sudoeste no hemisfério norte e de sudoeste para noroeste no hemisfério sul, conforme ilustra a Figura I.30.

Analogamente, as massas de ar quente que viajam das regiões equatoriais para os pólos adentrarão regiões onde a velocidade do solo é inferior às suas, sendo, por esta razão, defletidas para o leste. As regiões invadidas pelas massas de ar quente são dotadas de ventos permanentes de oeste, que sopram de sudoeste para o nordeste no hemisfério norte e de noroeste para sudeste no hemisfério sul.



**Figura I.30 – Circulação geral da atmosfera** <sup>(18)</sup>

O movimento relativo das massas de ar produz subsistemas menores de circulação de ar, intrincados e interdependentes. Em cada hemisfério, podemos destacar três sub-sistemas fundamentais:

<sup>(18)</sup> Figura adaptada da obra de Gamow (1973), p. 148.

- a) Zona Polar: Entre os pólos e, aproximadamente, as latitudes de  $60^\circ$  em cada hemisfério. Nesta zona, as massas de ar frio deslocam-se essencialmente na direção leste-oeste.
- b) Zona Temperada ou Tropical: Estão entre as latitudes  $60^\circ$  e  $30^\circ$  de cada hemisfério. Apresentam ventos predominantemente de oeste.
- c) Zona Subtropical: Situam-se entre o equador e as latitudes de  $30^\circ$  em cada hemisfério, formando uma faixa de  $60^\circ$ , tendo o equador como centro. Caracteriza-se pelo sopro permanente e tépido dos ventos Alísios.

O limite entre as zonas temperadas e subtropicais é denominado *horse latitude*, nome que, segundo Gamow (1973, p. 149) originou-se:

*nos tempos em que os cavalos eram transportados em navios à vela da Europa para a América. Quando a travessia do oceano era retardada por uma calmaria prolongada, fazia-se necessário jogar os cavalos ao mar por não haver forragem suficiente para alimentá-los.*

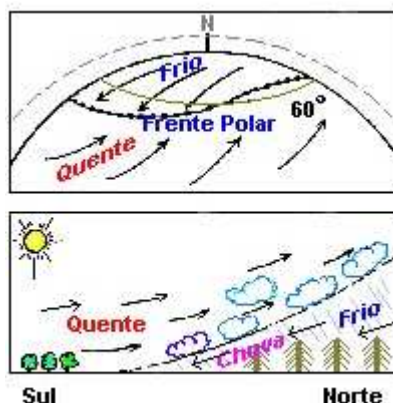
A ausência quase total de ventos naquelas regiões deve-se, possivelmente, ao movimento de ascensão e descensão das camadas de ar, produzindo, assim, zonas de calmarias subtropicais.

Fenômeno similar acontece no equador, onde se dá o limite entre as zonas subtropicais de cada hemisfério. As calmarias lá existentes são chamadas, pelos marinheiros, de *doldrums*.

Frente Polar é a denominação dada a cada um dos limites entre as zonas polares e as zonas temperadas. Naquelas regiões, notadamente, há uma batalha constante entre o ar frio oriundo das zonas polares e o ar úmido e quente proveniente de latitudes menores. Em razão da divergência de densidade entre o ar quente e o frio, na colisão, o ar quente eleva-se sobre o



ar frio, resfriando-se em seguida e formando, pela umidade liberada, espessas camadas de nuvens. O movimento das frentes polares é, muitas vezes, imprevisível e depende da relação de forças entre os ventos polares e os de oeste, oriundos das regiões temperadas, podendo percorrer até 1600 km em um só dia. Estas frentes vêm, em geral, acompanhadas de chuva, neve e fortes ventanias. A Figura I.31 apresenta um desenho esquemático do que foi dito.



**Figura I.31 – Frente polar (em cima); Conflito ar quente /ar frio (em baixo) <sup>(19)</sup>**

## **I.8.2 - SOBRE O CLIMA E O TEMPO ATMOSFÉRICO**

Clima, conforme Kleiber (1959, p. 286):

*significa o conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam as condições médias da atmosfera, num lugar da superfície da terra. Chamamos “tempo”, a uma fase na sucessão desses fenômenos.*

*O “tempo” muda de um momento para outro, enquanto o clima mantém-se constante, dentro de suas condições e limites próprios.*

*O tempo caracteriza-se por valores especiais de um determinado momento, ao passo que o clima, pelos valores normais.*

---

<sup>(19)</sup> Figura adaptada da obra de Gamow (1973), p. 150.

O clima e o tempo atmosférico dependem tanto de fatores permanente quanto de fatores dinâmicos, estes últimos, também, denominados de *elementos climáticos*.

Entre os fatores permanentes destacam-se a:

- a) Altitude;
- b) Latitude;
- c) Vizinhança ou afastamento das grandes massas d'água (marinidade e continentalidade);
- d) Forma de relevo;
- e) Vegetação.

Os elementos climáticos envolvidos são:

- a) Temperatura;
- b) Pressão;
- c) Ventos;
- d) Umidade do ar;
- e) Nebulosidade;
- f) Precipitação.

### **I.8.3 - O REGIME CLIMÁTICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

A região sul do Brasil apresenta um ciclo climático diferenciado das demais regiões do país; enquanto no sul as estações do ano são bem definidas relativamente à temperatura, nas demais regiões, esta definição está vinculada à ocorrência ou não de chuvas. O Estado do Rio Grande do Sul insere-se neste contexto climático diferenciado, apresentando verões e

invernos bem definidos, com distribuição de chuvas relativamente homogêneas, situando-se em uma zona de transição entre as regiões temperada e subtropical.

Conforme Hoffmann (1990), o clima gaúcho é do tipo “mesotérmico”, ou seja, não possui uma estação seca bem caracterizada. Wilhelm Köppen, citado por Mazzuca Júnior (1999), subdivide-o em dois tipos, os quais denomina como Cfa e Cfb. O tipo Cfa caracteriza-se por ser temperado (com um ou mais meses de temperatura média inferior a 18° C, mas nunca inferior a -3° C e com pelo menos um mês com temperatura média acima de 10° C), úmido, com precipitação uniforme distribuída durante o ano todo, e temperatura média do mês mais quente acima de 22° C. O tipo Cfb diferencia-se do já descrito pelo fato da temperatura média do mês mais quente estar abaixo de 22° C.

As regiões da Serra do Sudeste e Serra Geral, bem como, os planaltos do Escudo Sul-riograndense são tipicamente Cfb, isto é, possuem verões brandos e invernos mais frios, enquanto as demais regiões do estado classificam-se como do tipo Cfa, portanto apresentam verões quentes e invernos menos intensos.

Além da dependência óbvia da posição geográfica, o regime climático do Rio Grande do Sul está sujeito a uma dinâmica própria, advindo da pequena proporção de terra comparada à superfície de água. Desta forma, no Rio Grande do Sul, as condições atmosféricas dependem, basicamente, da relação entre a Massa Tropical Atlântica e as massas polares. No verão, há a predominância da Massa Tropical Atlântica, quente e úmida, que se forma sobre o Oceano Atlântico. Entretanto, a ação da Massa de Ar Polar, apesar de ter sua ação reduzida, continua a penetrar de forma restrita no Estado. No inverno, as massas polares predominam, resultando em baixas temperaturas e chuvas, devido ao insistente embate com a Massa Tropical Atlântica.

## **I.9 – OBJETIVOS DESTA DISSERTAÇÃO**

Este estudo tem a intenção de desenvolver metodologias, testar sua viabilidade e, preliminarmente, selecionar amplas regiões que incluam potenciais sítios, já pesquisados, ou não, candidatos à instalação de telescópios ópticos no Estado do Rio Grande do Sul.

A prospecção destes locais deverá privilegiar os aspectos astrometeorológicos. Dentre estes, concentraremos nossos esforços na questão da nebulosidade, visto que, os problemas climáticos da região delimitada são bem conhecidos. Apesar disto, em rápida digressão, incluímos tópicos versando sobre o clima e o tempo meteorológico.

A análise da cobertura de nuvens será realizada com base na interpretação de imagens de satélites meteorológicos. Utilizaremos, para tanto, imagens geradas pelos satélites da série METEOSAT e da série GOES. Estas imagens são disseminadas pelo INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) e disponibilizadas na *Internet*, em formato JPEG (*Joint Photographics Experts Group*). Planeja-se cobrir, assim, um ciclo meteorológico completo, isto é, abrangendo todas as estações climáticas, a partir de dados segmentados por vários anos.

Especificamente, é nossa intenção:

- a) Relacionar os dados fornecidos pelos satélites com a frequência de nuvens nas regiões eleitas por este trabalho.**
  
- b) Desenvolver técnicas estatísticas aplicáveis às imagens digitais geradas por satélites meteorológicos dos tipos METEOSAT e GOES e compará-las entre si, se possível.**

- c) Concluir, se possível, apontando as regiões candidatas a abrigar sítios astronômicos, considerando os dados obtidos.**

É relevante destacar que esta dissertação não se constitui num estudo isolado, mas é parte integrante de um trabalho maior, coordenado pelo Prof. Jorge Ducati, que tem como principal meta a identificação de áreas, na região delimitada, nas quais poderá ser possível instalar e operar observatórios astronômicos com rendimentos aceitáveis, tanto quantitativamente como qualitativamente. Esta dissertação, como referido, privilegia os aspectos quantitativos, tal como a dissertação defendida por Leitão (1993). Outras dissertações, direcionadas aos aspectos qualitativos; desenvolveram-se paralelamente a esta, sob a tutela do mesmo orientador, como a de Juarez Mazzuca Junior, concluída em 1999, e a de Eleandro Souza Feijó, defendida em janeiro de 2002.

## **CAPÍTULO II**

### **IMAGENS DE SATÉLITES**

---

#### **II.1 – BREVE HISTÓRICO DAS TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS À BUSCA DE SÍTIOS ASTRONÔMICOS**

A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto com a finalidade de localizar sítios astronômicos já é citada por Mello (1982), em seu relato sobre os fatos que levaram a instalação, em 1980, do telescópio de 1,60m de diâmetro do Observatório Astrofísico Brasileiro no Morro dos Dias, em Brasópolis, Estado de Minas Gerais.

Mello, *op. cit.*, menciona as análises efetuadas por Jair Barroso Júnior (Observatório Nacional), Antônio Divino Moura (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e Carlos Bergman Júnior (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), de cerca de 190 fotografias do Satélite ESSA-8 (Environmental Survey Satellites - 8) abrangendo os meses de novembro de 1969 e dezembro de 1970. Avaliou-se a cobertura de nuvens em um mosaico de 96 quadriláteros de 1° x 1°, limitados pelos paralelos 25° S e 13° S e pelos meridianos 42° W e 50° W. Foram obtidas isolinhas de percentual médio anual de nebulosidade.

Mello, *op. cit.*, cita, ainda, que A.R. Jucá Fontenelle, em janeiro de 1973, estudou a possibilidade de utilização de fotografias do satélite Nimbus-IV. Na oportunidade, analisou nove *strips* de fotografias diurnas, entre abril e dezembro de 1970, copiadas em tamanho de 20cm x 30cm, já gradeadas. O gradeamento foi, porém, refinado. Em se tratando de fotografias diurnas, foi possível considerar um ponto geográfico notável (no caso o Estuário do Rio da Prata) e verificar a precisão do gradeamento. O erro constatado foi de 100 km de raio, inaceitável para o objetivo à época: discernimento entre os sítios de Caldas e Brasópolis (a distância entre eles é menor que 100 km).

Embora se refira à utilização de imagens de satélites, o relato de Mello (1982) está voltado para outras técnicas, como o estudo da nebulosidade *in loco*, realizado por técnicos treinados ou através de fotografias, as medidas da qualidade de imagem, efetuadas por telescópios DBT (*Double Beam Telescope*), as condições meteorológicas, a turbulência atmosférica e os fatores orográficos. O relato termina com uma série de conclusões paralelas que listamos a seguir:

- c) A escolha de sítios astronômicos é um trabalho experimental;
- d) A escolha do sítio é um trabalho a ser feito no local, pois a inferência das qualidades de um pico a partir de dados dos vales vizinhos não é válida;
- e) As análises em meso-escalas servem apenas como indicativos primários; as condições em micro-escalas podem diferir totalmente, em um pico, das condições médias da região em que se situa. Entende-se como meso-escala, neste contexto, uma resolução da ordem de 40km.
- f) Não são desprezíveis as pressões, de natureza política ou psicológica, para a escolha deste ou daquele local;

g) O trabalho prospectivo deve ser contínuo.

O trabalho de Leitão (1993) destaca-se por utilizar imagens da primavera de 1990 do satélite GOES-7. Inicialmente são escolhidos alguns locais possíveis candidatos a sítios astronômicos. Essa escolha, feita através de cartas geográficas, levou em consideração a altitude e a proximidade de cidades que poderiam fornecer o apoio logístico adequado. No Rio Grande do Sul foram escolhidas as cidades de Bom Jesus, Caçapava do Sul e Vacaria, em Santa Catarina foi escolhida a cidade de São Joaquim.

Num segundo momento, Leitão, *op. cit.*, desenvolveu um método de navegação de imagem, buscando identificar nas imagens GOES os locais escolhidos.

A transformação do sistema de coordenadas da imagem digital (linha, coluna) para o sistema de coordenadas geodésicas (latitude, longitude), embora tenha sido equacionado por considerações de óptica geométrica, foi implementado através de pontos de controle, uma vez que havia necessidade de dados exatos da posição e altitude do satélite, para a implementação via óptica geométrica.

A transformação por pontos de controle identifica as coordenadas (x, y) de pontos geográficos notáveis na imagem digital (Magro *et ali*, 1993), para os quais são conhecidos às coordenadas geodésicas ( $\Phi$ ,  $\Lambda$ ). Leitão, *op. cit.*, utiliza oito pontos de controle e dois algoritmos de transformação: um polinômio do 2<sup>o</sup> grau e uma transformação, projetiva. Ambos, após ajustamento iterativo pelo método dos mínimos quadrados, obtém, num teste estatístico  $\chi^2$  para controle da qualidade do ajuste, aceitação com significância de 5%.

Localizadas as regiões escolhidas na imagem digital é necessário ler o valor da contagem radiométrica (entre 0 e 255 níveis de cinza) desse pixel (correspondente, nesse caso, a cerca de 11km x 11km na superfície do planeta) e relacionar à condição atmosférica



associada. Leitão, *op. cit.*, aplica à escala utilizada pelos observadores de postos meteorológicos, que varia de 0 a 10, sendo o valor zero correspondente a um céu completamente claro (sem nuvens) e o valor 10 relacionado ao céu completamente coberto por nuvens. Estima, ainda, que um céu com cobertura de nuvens inferior a 30% é proveitoso para Astronomia, correspondendo à contagem radiométrica com nível de cinza entre 88 e 93.

Utilizando 31 imagens do satélite GOES-7, nos horários de 12, 17 e 18 horas, no canal infravermelho (comprimento de onda entre 10,5  $\mu\text{m}$  e 12,5  $\mu\text{m}$ ), geradas pelo radiômetro VAS - VISSR *Atmospheric Sounder* (VISSR = *Visible and Infrared Spin Scan Radiometer*) - e supondo que todas as nuvens, exceto as do tipo Cirrus, absorvem e emitem a radiação terrestre como corpos negros, Leitão, *op. cit.*, estima o grau de nebulosidade associado ao nível de cinza da imagem. Desta forma conclui por ser Caçapava do Sul, no período analisado, a região de menor nebulosidade.

## II.2 – OS SATÉLITES DA SÉRIE METEOSAT

Os satélites da série Meteosat são satélites meteorológicos de órbita geoestacionária, com período orbital de 24 horas e situados sobre o equador terrestre a uma altitude de 35.800km. O grupo de satélites Meteosat possui, a bordo, um sistema *charge-coupled device* (CCD), que colhe imagens da Terra e as transmite para estações em solo. Estas imagens são tratadas (filtradas por processamento digital) e prestam informações meteorológicas importantes. Através das imagens detectam-se o movimento das nuvens, identificando-se os pólos de alta e baixa pressão, bem como, a temperatura ao longo da superfície da Terra.

O gerenciamento dos satélites Meteosat está a cargo da European Space Agency (ESA) e o projeto é custeado pela European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), organização que congrega dezessete

países europeus: Alemanha, Austria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grã-Bretanha, Grécia, Holanda, Irlanda, Itália, Noruega, Portugal, Suécia, Suíça e Turquia.

O programa iniciou-se com o lançamento do satélite Meteosat-1, realizado através de um foguete Delta, desde o Cabo Canaveral, em novembro de 1977. Imediatamente tornou-se parte indispensável do sistema operacional de previsão do tempo em muitos países da Europa.

Prematuramente, em novembro de 1979, após dois anos de geração de excelentes imagens, a razão de 48 vezes por dia, o radiômetro do Meteosat-1 falhou, devido a um defeito em um delicado resistor do sistema. Os dados recebidos neste curto espaço de tempo, entretando, denominados *Data Collection System* (DCS) só terminaram de ser examinados em 1984.

O programa continuou com o lançamento, em junho de 1981, do satélite Meteosat-2, através do foguete Ariane 1, desde a base de Kourou. Este satélite somente foi ejetado de sua órbita geostacionária, em dezembro de 1992, em razão da exaustão do combustível de bordo. O radiômetro imageador, contudo, continuava operando de forma completa e perfeita, após 10 anos em órbita.

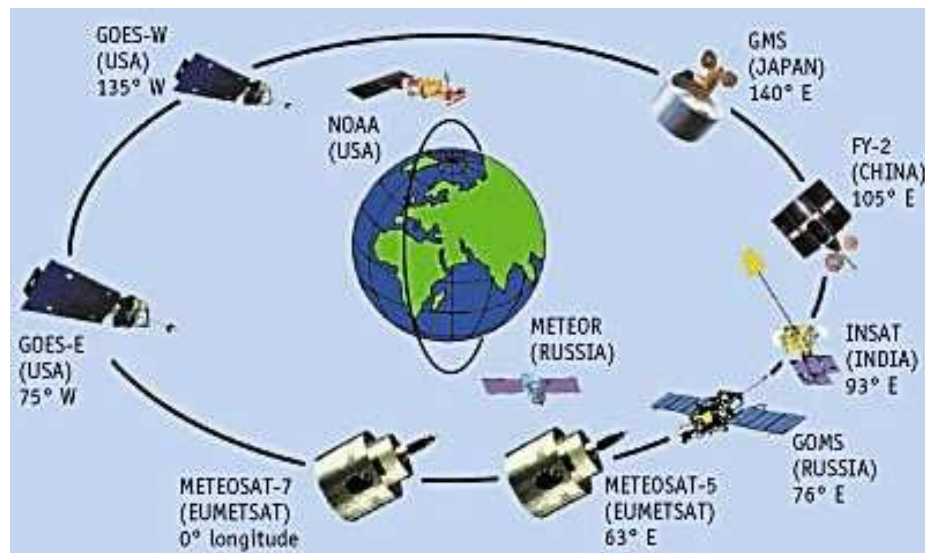
A série Meteosat continuou com o lançamento do satélite Meteosat-3, em junho de 1988, através de um foguete Ariane V22, seguindo do Meteosat-4, em março de 1989, também, lançado por um foguete Ariane, porém do tipo V29. O Meteosat-5 foi lançado dois anos após, em março de 1991, assim como o Meteosat-6, em novembro de 1993, enquanto que o Meteosat-7 somente foi lançado quatro anos depois, em Setembro de 1997. Todos estes satélites foram colocados em órbita por foguetes da série Ariane, lançados desde a base de Kourou.

Os satélites Meteosat-3 e Meteosat-4, tendo exaurido as suas respectivas reservas de combustível a bordo, foram ejetados de suas órbitas geostacionárias, em novembro de 1995.

Ressaltamos que cada um destes satélites excedeu em muito o tempo de vida útil em órbita inicialmente projetado.

Os satélites Meteosat-5, 6 e 7 continuam, atualmente, em órbita, transmitindo informações preciosas para os laboratórios da Eumetsat.

Cabe informar que a Eumetsat, juntamente com outras organizações congêneres, compõe a *Coordination Group for Meteorological Satellites (CGMS)*, a qual, através de vários satélites meteorológicos geostacionários (Figura II.1), fornece um imageamento completo da superfície da Terra. Os dados, assim disponíveis, podem ser acessados por toda a comunidade científica do planeta.



**Figura II.1 – Satélites Meteorológicos em órbita <sup>(1)</sup>**

O programa de satélites geostacionários da Eumetsat inclui a continuação do sistema Meteosat corrente no mínimo até o ano 2003 e a segunda geração de satélites, em desenvolvimento, que se denomina *Meteosat Second Generation (MSG)*, até o ano 2012.

<sup>(1)</sup> Figura emprestada da publicação *on-line* denominada *Image*, nº 10, abril de 1999, disponível no *site* da Eumetsat: <http://www.eumetsat.int/>

## II.2.1 – DESCRIÇÃO DOS SATÉLITES METEOSAT

Os satélites da série Meteosat (Figura II.2, são dotados de corpo cilíndrico, com 2,10m de diâmetro, comprimento de 3,20m e massa inicial em órbita de 322kg, incluindo-se 39kg do propelente *hydrazine*, utilizado para manobras de correção da trajetória do artefato. Suas superfícies externas são cobertas por células solares que os alimentam com a energia necessária ao funcionamento correto de seus sistemas. Apresentam uma rotação sobre seus respectivos eixos principais, orientados paralelamente ao eixo terrestre, de 100 rpm (rotações por minuto). Tal rotação (*spin*) é necessária para a estabilização da altitude do satélite.



O radiômetro, que tem massa de 61kg, encontra-se no corpo principal do satélite, assim como a maior parte dos subsistemas do Meteosat, sendo que o telescópio do mencionado radiômetro coleta fótons dos seis painéis solares externos ao satélite. O radiômetro é dotado, ainda, de um motor que tem por fim sincronizar os seus passos de varredura com a rotação do satélite.

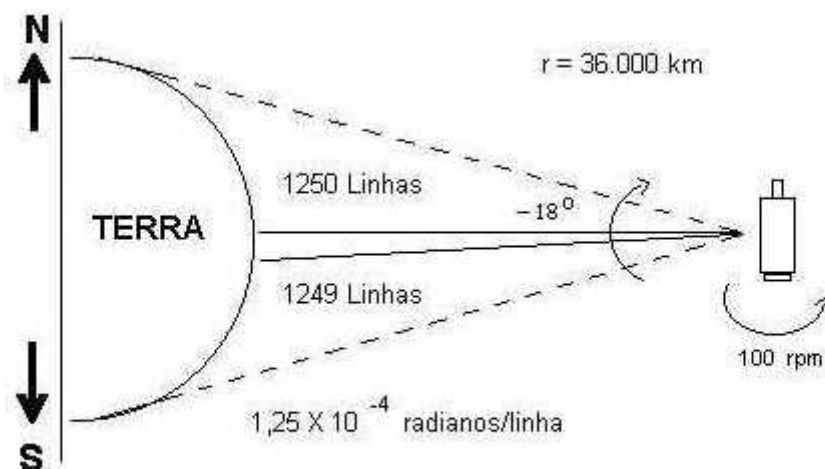
**Figura II.2** <sup>(2)</sup>

A direção de varredura do satélite ocorre de leste para oeste, enquanto os passos do telescópio são implementados, a cada revolução do Meteosat, de sul para o norte. Assim, o telescópio varre  $18^\circ$  na direção sul-norte e rota  $1,25 \times 10^{-4}$  rad, a cada giro do satélite. Isto quer dizer que a cada revolução do Meteosat ocorre uma varredura de 5 km ao norte da linha que havia sido varrida na rotação anterior. Deste modo o telescópio percorre um total de 2500 linhas, em 25 minutos, gastando, ainda, 5 minutos para retornar a sua posição inicial, estabilizar e reiniciar o processo de varredura.

<sup>(2)</sup> Figura emprestada do *site* da Eumetsat: <http://www.eumetsat.int/>

Cinco detectores são responsáveis pela coleta de informações para os canais do radiômetro: dois infravermelhos termais, um infravermelho para vapor d'água e dois visíveis. As imagens dos canais infravermelho e de vapor d'água possuem 2.500 *pixels* por linha e são compostas por 2.500 linhas, o que totaliza  $6,25 \times 10^6$  *pixels* por imagem. A resolução do ponto sub-satélite (IFOV), para estas imagens, é de 5km.

As imagens do canal visível possuem uma maior resolução, pois são abastecidas por informações coletadas através de dois detectores. Deste modo, a cada varredura do radiômetro obtém-se informações de duas linhas, contendo cada uma 5.000 *pixels*. Como a imagem, também, contém 5.000 linhas, conclui-se que cada uma destas imagens possuem informações de  $5,00 \times 10^7$  *pixels*, ou seja, 50 milhões de *pixels*. Salientamos que, nas imagens do canal visível do Meteosat, a resolução do ponto sub-satélite (IFOV) é de 2,5 km.



**Figura II.3 – Sistema de varredura do Meteosat**

### II.2.2 - METEOSAT-3

Satélite Europeu construído pela ESA (European Space Agency) e que foi lançado ao espaço pelo foguete Ariane V22, em junho de 1988. O INPE, por acordo firmado com a ESA

e a Eumetsat, explorava os recursos de imagens Meteosat. As imagens eram recebidas pelo sistema instalado em Cachoeira Paulista, onde os dados eram processados com objetivos de previsão de tempo e clima. As mesmas imagens, posteriormente, eram enviadas para a Divisão de Processamento de Imagens (DPI) em São José dos Campos, onde eram realizados estudos sob o ponto de vista de Sensoriamento Remoto dentre outros.

O satélite Meteosat-3 possuía órbita geoestacionária, a 75 graus de longitude oeste. A órbita geoestacionária estava a aproximadamente 36000 km de altitude.

Em agosto de 1991, o Meteosat-3 foi movido para a longitude 50° W numa antecipação a uma lacuna na cobertura que normalmente era realizada por satélites dos EUA. Este fato deu início ao *European Atlantic Data Coverage* (ADC) projeto que visava assegurar a continuidade da coleta de dados vitais sobre a região ocidental do Atlântico. O projeto só foi concluído em fevereiro de 1993, quando o Meteosat-3 definitivamente substituiu o satélite defeituoso, sendo movido, então, para a longitude 75° W. O projeto conjunto EUMETSAT/ESA/USA passou a denominar-se, nesta oportunidade, *Extended Atlantic Data Coverage mission* (X-ADC).

Em novembro de 1995, devido à exaustão das reservas de combustível a bordo, o Meteosat-3 foi ejetado de sua órbita geoestacionária, juntamente com o satélite Meteosat-4, excedendo em muito o tempo de vida útil inicialmente projetado.

### **II.2.3 - METEOSAT-5**

O satélite geoestacionário Meteosat-5 localizava-se sobre o meridiano de Greenwich (zero grau), em órbita sobre o plano do equador terrestre a uma distância aproximada de 36 mil quilômetros da Terra.

O sistema operava nas frequências de 1691.0 Mhz e 1694.5 Mhz, com transmissão de dados e imagens: imagens de baixa resolução (WEFAX), imagens de alta resolução e outras informações.

As imagens de alta resolução são transmitidas em três bandas espectrais com resolução temporal aproximada de trinta minutos sendo que as imagens visíveis são transmitidas no período de 06 a 21 horas GMT. As faixas espectrais dessas três bandas são:

- 0.5 – 0.9 microns – banda visível;
- 5.7 – 7.1 microns – banda do vapor d'água;
- 10.5 – 12.5 microns – banda do infravermelho termal.

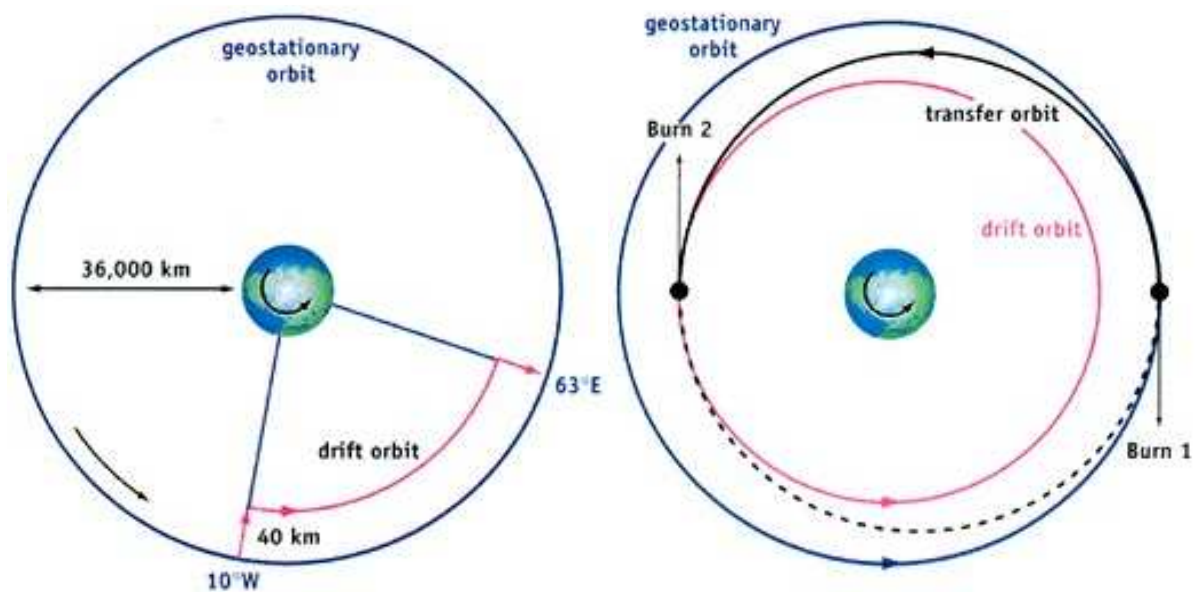
Existem três formatos de transmissão das imagens de alta resolução: A, B e X. O formato A refere-se a imagem de todo o globo, enquanto que o B é um setor da Europa e o X são retransmissões do satélite americano GOES. Esses formatos são transmitidos obedecendo a uma programação de horários definida pela Eumetsat para cada frequência.

O formato A, no qual é possível visualizar a nossa região, possui 2500 linhas por 2500 colunas. A resolução espacial (IFOV) do ponto central da imagem (ponto sub-satélite) é de 5km para as três bandas espectrais. No entanto, os dados da banda visível registrados às 11h30min GMT são transmitidos com resolução (IFOV) de 2,5km, sendo compostos de 5000 linhas por 5000 colunas.

Atualmente essas imagens são recebidas pelo INPE em Cachoeira Paulista e devido ao volume de informações as imagens são setorizadas e amostradas para a nossa região num tamanho de 512 linhas por 512 colunas.

Em 14 de janeiro de 1998, o Meteosat-5 iniciou seu movimento para a órbita de desvio que o levou em direção a sua nova posição sobre o oceano Índico para dar suporte ao *Indian Ocean Experiment* (INDOEX). O método para realocização do satélite geostacionário está alicerçado na relação entre a altitude e o período da órbita, como é expresso pela terceira lei de Kepler, na qual o período orbital de um objeto aumenta com a altitude.

A transferência do Meteosat-5 de 10°W para 63°E, utilizou uma órbita de desvio, 40 km mais baixa que a original, a qual foi levado por uma órbita de transferência, retornando mais tarde para a órbita geostacionária original, porém já na posição alvo, a 63°E. Neste método, foram realizadas duas queimas de combustível, as quais consumiram cerca de 300g da reserva de combustível do satélite, nos pontos indicados na Figura II.4 que se segue.



**Figura II.4 – Transferência de órbita do Meteosat-5** <sup>(3)</sup>

<sup>(3)</sup> Figura emprestada da publicação *on-line Image*, número 8, Maio de 1998, disponível no *site* da Eumetsat: <http://www.eumetsat.int/>



### II.3 – OS SATÉLITES DA SÉRIE GOES

O sistema norte-americano de satélites geoestacionários iniciou-se em maio de 1974, com o lançamento do satélite SMS (Synchronous Meteorological Satellite). Este satélite foi o embrião dos satélites da série GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites), atualmente em órbita da Terra. Os satélites GOES têm a sua operação confiada ao NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), enquanto o seu desenvolvimento e lançamento ao espaço são efetuados pela NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Os satélites denominados SMS, assim como os primeiros da série GOES, possuíam como principal sensor a bordo, segundo Leitão (1993, p. 7), um

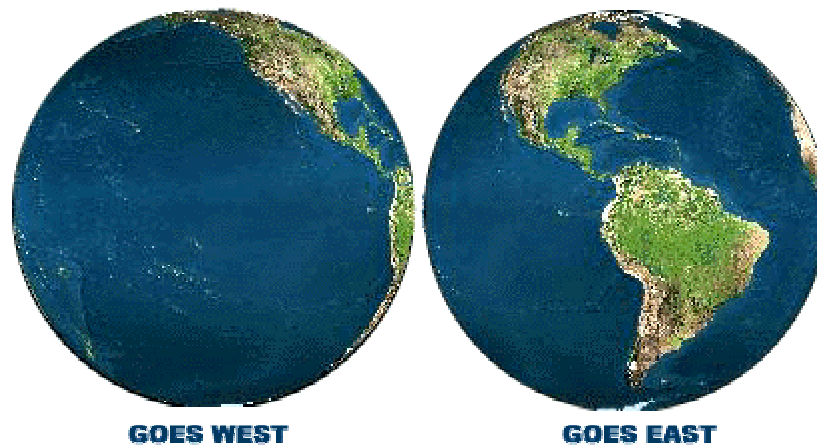
*(...) VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer). Este instrumento obtinha dados na banda visível com resolução espacial de 1 km e na banda do infravermelho com 8 km de resolução. Estes dados foram usados para produzir seqüências temporais de condições climáticas críticas para previsão meteorológica e atividades de alerta a populações. O VISSR incluía um arranjo linear de oito detectores para banda visível (0.55-0.70  $\mu\text{m}$ ) e dois (idênticos) detectores do infravermelho (10.5-12.6  $\mu\text{m}$ ). A varredura na direção Norte-Sul era permitida através do uso de um espelho com movimento graduado, enquanto que a rotação do satélite (nominalmente 100 revoluções por minuto) fornecia a cobertura de Leste a Oeste.*

O sensor VIRSS foi substituído, no início da década de 80, pelo VAS (*VISSR Atmospheric Souder*), colocado a bordo do satélite GOES-4. O sensor VAS é dotado de quatro detectores infravermelhos e 12 filtros de banda, cuja montagem possibilita a seleção adequada dos canais que se deseja monitorar.

Atualmente, os Estados Unidos está operando o GOES-8 e GOES-10, lançados em 1997. O GOES-9 (o qual apresentou falhas no funcionamento em 1998) está em órbita, porém na reserva, a espera para substituir o GOES-8 ou o GOES-10, aquele que primeiro falhar.

### II.3.1 - GOES-8 e GOES-10

Os Estados Unidos normalmente operam dois satélites meteorológicos em órbita sobre o Equador. Cada satélite vigia quase um terço da superfície da Terra: um monitora a América



**Figura II.5 – Cobertura dos satélites GOES <sup>(4)</sup>**

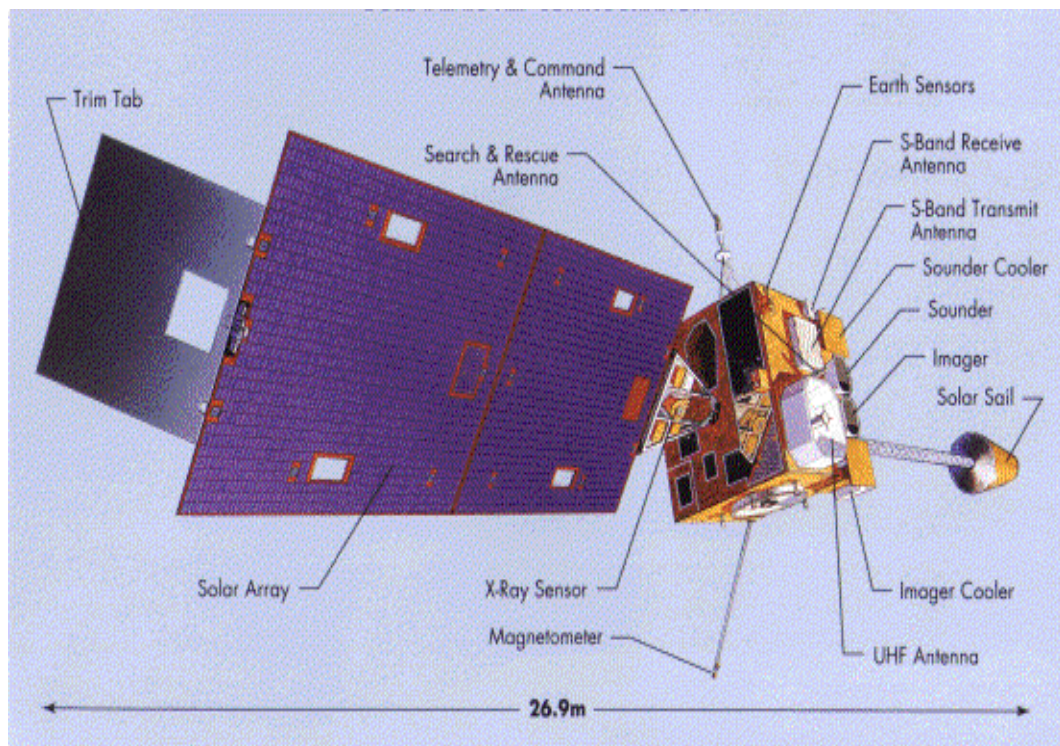
do Norte, a América do Sul e quase todo o Oceano Atlântico e o outro a América do Norte e a bacia do Oceano Pacífico. O GOES-8 (ou GOES-East) está posicionado na longitude 75° W e

<sup>(4)</sup> Figura emprestada do *site* <http://rsd.gsfc.nasa.gov/goes/text/goes.databook.html>, pertencente ao NOAA.

no Equador, enquanto o GOES-10 (ou GOES-West) está posicionado na longitude 135° W e no Equador. Os dois operam juntos para imagear a superfície da terra, dia e noite. A cobertura estende-se aproximadamente da longitude 20° W até a longitude 165° E, conforme evidencia a Figura II.5.

A principal função dos satélites GOES é a aquisição de dados através dos instrumentos primários: o Imageador e a Sonda. O Imageador é um instrumento multicanal sensível à energia radiante e à energia solar refletida pela atmosfera e a superfície da Terra. A sonda fornece dados para determinar a temperatura vertical, a umidade proveniente da atmosfera e da superfície, a temperatura do topo de nuvens e a distribuição de ozônio.

Os satélites da série GOES (Figura II.6) estão dotados, ainda, de outros instrumento,



**Figura II.6 – Satélite GOES <sup>(5)</sup>**

<sup>(5)</sup> Figura emprestada do *site* da NASA <http://rsd.gsfc.nasa.gov/goes/goesproject.html>.

tais como um buscador (*Search*), um transmissor de emergência, uma coleção de dados e um sistema transmissor destes dados para a plataforma de superfície, um monitor do espaço circundante. Um segundo grupo de instrumentos, usados para monitorar o espaço exterior próximo à Terra e às tempestades solares, é constituído por um magnetômetro, um sensor de raios-X e um detector alfa e de prótons de alta energia.

O satélite GOES transmite imagens em baixa resolução, através do serviço WEFAX, e também, imagens de alta resolução e dados da sonda, por meio do serviço denominado GVAR.

O NOAA designa os satélites por letras antes do lançamento e por números quando eles alcançam a órbita. Assim, o GOES-I, lançado em 13/04/94, passou a chamar-se GOES-8, enquanto o GOES-K, lançado em 25/04/1997, passou a denominar-se GOES-10.

As principais características dos satélites da série GOES, atualmente em órbita, estão informadas na Tabela II.1, traduzidas e adaptadas do *site* do National Oceanic and Atmospheric Administration.

### **II.3.2 – O IMAGEADOR GOES**

O imageador dos satélites GOES (Figura II.7) é um instrumento multicanal desenhado para ser sensível à radiação e à energia solar refletida por áreas da Terra. O canal espectral multi-elemento simultaneamente varre de leste para oeste e de oeste para leste na direção norte-sul por meio de um sistema de espelhos de dois eixos de varredura. O instrumento pode produzir imagens cheias do disco da Terra, setor de imagem que contém as bordas do planeta, e escanear completamente várias porções de áreas fechadas na cena, usando um novo e flexível sistema de varredura. Varreduras selecionadas permitem rápidas, contínuas e precisas

visadas de áreas locais para monitoramento de fenômenos em mesoescala (regional), como, por exemplo, a determinação da direção dos ventos (veja Tabela II.2).

<b>Tempo de vida da missão</b>	5 anos, mínimo para cada satélite
<b>Dimensões</b>	
Corpo principal	2,0m X 2,1m X 2,3m (GOES-10)
Comprimento desdobrado	27 metros
Painel Solar	4,8m X 2,7m (GOES-10)
<b>Massa</b>	2100 kg
<b>Informações Orbitais</b>	
Tipo	Geosíncrona
Altitude	35.786km
Longitude	75 W e 135 W
Latitude	Equatorial, interna 0,5 graus
Período	1.436 minutos (GOES-10)
<b>Energia</b>	1050 watts, 42 volts, painel solar; bateria reserva
<b>Lançamento</b>	13/04/94 (GOES-8) - 25/04/1997 (GOES-10) Cape Canaveral Air Station, Florida
<b>Veículo Lançador</b>	Atlas-I/Centaur (GOES-I/K)
<b>Sensores (GOES-10)</b>	Imageador Sonda Space Environment Monitor (SEM) Data Collection System (DCS) Transmissor Search and Rescue (SAR)
<b>Comunicação</b>	Imageador e Sounder no formato GVAR com 2,1 Mbits/sec

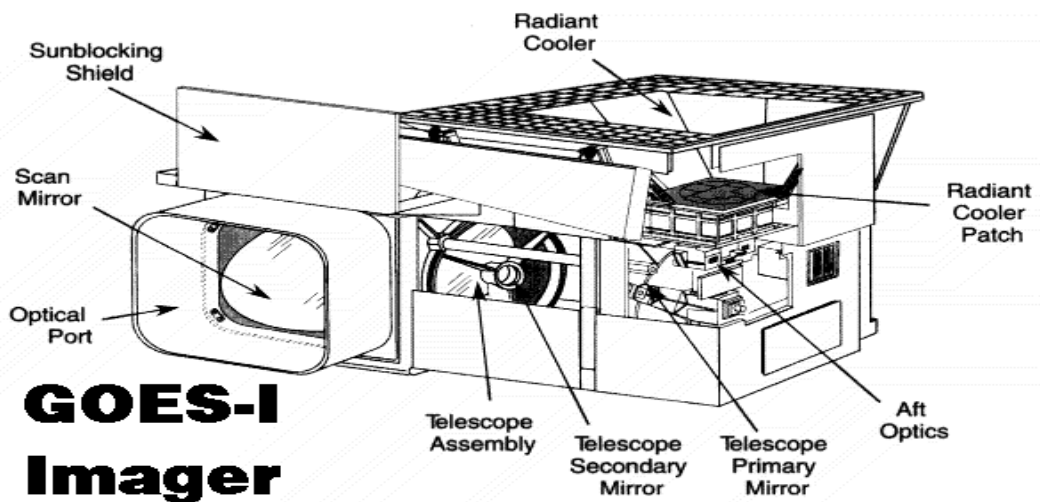
**Tabela II.1 – Características dos satélites GOES**

Canal	1	2 *	3 *	4	5 *
Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	0,65	3,9	6,7	11	12
<b>Produto</b>					
Nuvens	X	X	X	X	X
Vapor d'água *			X	X	X
Temperatura superficial		O		X	O
Ventos	X		X	X	
Albedo + fluxo de IR	X		O	X	O
Queimadas e Fumaça	X	X		O	O

**Legenda:**

\* = Novo dado operacional X = Canal primário O = Canal secundário

**Tabela II.2 – Canais e produtos do Imageador**



**Figura II.7 – Imageador GOES <sup>(6)</sup>**

### II.3.3 – A SONDA GOES

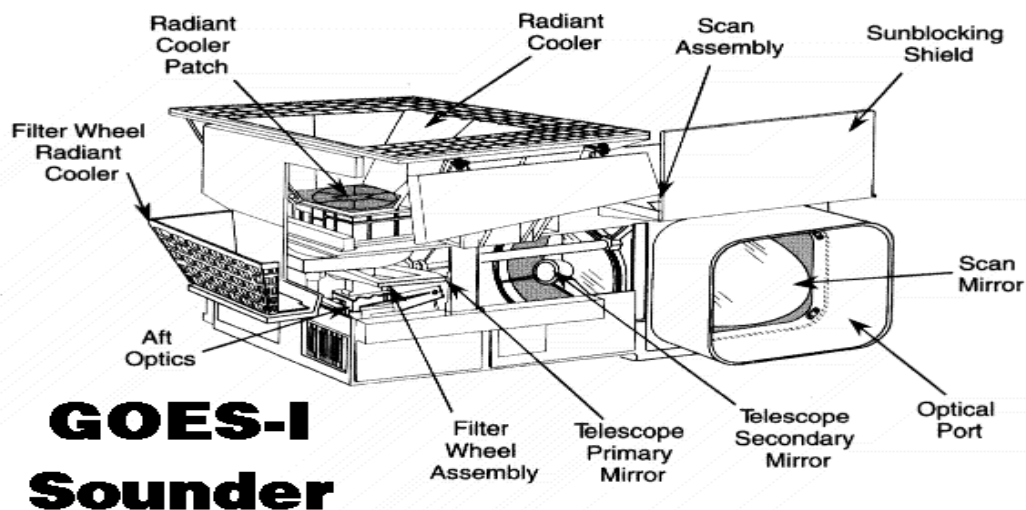
A sonda dos satélites GOES (Figura II. 8) é um radiômetro com dezenove canais, com filtros discretos, que cobre a gama espectral desde o visível até o comprimento de onda de 15  $\mu\text{m}$ . Foi projetado para fornecer dados pelos quais se pode traçar um perfil da temperatura e da umidade atmosférica, bem como, a temperatura de superfície e do topo de nuvens. A distribuição de ozônio, como bases nestes dados, pode ser deduzida por análises matemáticas.

<sup>(6)</sup> Figura emprestada do *site* da NASA <http://rsd.gsfc.nasa.gov/goes/goesproject.html>.

Eles operam independentemente e simultaneamente com o imageador, usando um sistema flexível de varredura, similar ao do referido imageador. O painel detector multi-elemento da sonda reúne amostras simultaneamente de quatro distintos campos ou colunas atmosféricas. A definição para o canal infravermelho é obtida através de um filtro rotacional fornece a definição, o qual executa a filtragem espectral no caminho óptico para o painel detector. Para informações sobre produtos, resolução e precisão, veja Tabela II.3, a seguir.

Produto	Resolução (km)		Precisão	
	Vertical	Horizontal	Absoluta	Relativa
<b>Temperatura</b>				
Perfil	3-5	50	2-3K	1K
Terra	----	10	2 K	1 K
Mar	----	10	1 K	0,5 K
<b>Umidade</b>				
Perfil	2-4	50	30 %	20 %
Total	----	10	20 %	10 %
Movimento	3 camadas	50	6 m/sec	3 m/sec
<b>Nuvens</b>				
Alta	2 camadas	10	50 mb	25 mb
Soma	Total	10	15 %	5 %

**Tabela II.3 - Produtos, Resolução e Precisão**



**Figura II.8 – Sonda do GOES <sup>(7)</sup>**

<sup>(7)</sup> Figura emprestada do *site* da NASA <http://rsd.gsfc.nasa.gov/goes/goesproject.html>.

## II.4 - FORMATAÇÃO E DIGITALIZAÇÃO DE IMAGENS METEOROLÓGICAS

As imagens digitais geradas por satélites podem ser compreendidas como uma matriz bidimensional de dados. Os dados captados pelos sensores dos satélites são transmitidos para estações terrestres linha por linha, numeradas do topo para a base da imagem, sendo que a linha do topo recebe o número 1. Em cada linha, os elementos são arranjados seqüencialmente, da esquerda para a direita, sendo o primeiro elemento da linha o elemento mais a esquerda. Cada elemento, por sua vez, é composto por uma quantidade determinada de *bits*, dependendo da origem e do formato da imagem, o qual representa a quantidade de energia captada naquele ponto específico para onde apontava o sensor no momento da leitura e para o correspondente comprimento de onda do canal. Por exemplo, as imagens Meteosat, do canal visível, são codificadas e transmitidas para as estações terrestres em 6 *bits* ( $2^6$ ), enquanto as dos canais infravermelho e de vapor d'água são codificadas em 8 *bits* ( $2^8$ ). No primeiro caso, significa dizer que a radiância obtida pelo radiômetro para cada ponto da matriz bidimensional que compõe a imagem pode assumir 64 valores numéricos distintos, e no segundo caso, 256 valores diferentes.

Ao conjunto de dados discretos (ou digital) organizados espacialmente em uma matriz bidimensional e referenciados por um par ordenado (linha, coluna), como descrito anteriormente, denomina-se estrutura *raster*. A reconstituição desta estrutura, com a exata localização de cada ponto na malha (ou *grid*), bem como o atributo que lhe corresponde, comporá, por fim, a imagem.

Na imagem, cada elemento da estrutura *raster* passa a chamar-se *pixel*, nomenclatura derivada do termo inglês *picture element*. Cada *pixel* representará uma área da superfície do planeta que terá sempre as mesmas dimensões. O atributo de cada *pixel* da imagem é



designado contador digital (CD) ou, ainda, o termo correspondente em inglês *digital number* (DN).

As imagens, ainda nas estações terrestres, serão computacionalmente tratadas, visando corrigir distorções geométricas, erros ópticos do radiômetro e erros dos mecanismos de varredura do aparelho sensor. Tais correções buscam, basicamente, facilitar a navegação das imagens.

#### **II.4.1 - CLASSES DE IMAGENS**

As imagens *raster*, conforme Osório (1991), podem ser distribuídas nas seguintes classes:

- Preto e Branco (P&B), com dois níveis de cinza: São imagens utilizadas no processamento de textos digitalizados.
- Preto e Branco (P&B), com n níveis de cinza: Neste tipo de imagem pode-se discernir diferentes níveis de cinza, obtidos pela quantificação da intensidade da luz desde o preto até o branco. Em geral utiliza-se 256 níveis intermediários de luz, equivalente a 8 bits/pixel.
- Imagem de uma banda específica do espectro com n níveis: Utiliza-se uma escala de tonalidades ou “cores” para diferentes comprimentos de onda, da mesma forma que se obtém uma escala de níveis de cinza. Formam-se escalas de azul, verde, vermelho, infravermelho, etc...

- Imagens multi-espectrais (coloridas): Trata-se da quantificação diferenciada de três bandas espectrais distintas. A intensidade de cada banda espectral forma o padrão RGB (*Red*, *Green* e *Blue*), da mesma forma como ocorre num aparelho de televisão, compondo, assim, pela mistura das três cores ou bandas, em determinadas proporções, uma imagem colorida. Imagens deste tipo são compostas, em geral por 24 *bits* (oito *bits* para cada cor ou banda espectral), podendo-se chegar a 16 milhões de cores e distintas tonalidades, muito além da capacidade do olho humano em diferenciar cores e tonalidades.
- Imagens coloridas com o uso de *Look Up Table* (LUT): Nesta classe de imagem associa-se a cada píxel um valor de uma tabela de cores (LUT), o qual descreve a cor real desse ponto da imagem. Assim, é desnecessário associar a cada ponto da imagem as informações a respeito da intensidade RGB, economizando-se memória, pois não se precisa reservar 24 *bits* para cada *pixel*, mas apenas o índice de acesso às cores da LUT. A imagem, neste caso, é composta por uma estrutura *raster*, ou seja, uma matriz (linha, coluna) de pontos que representam os índices de cores, acrescida de uma tabela de acesso indireto às cores reais (LUT) denominada *palette*.

#### II.4.2 – FORMATAÇÃO DE IMAGENS

A organização dos dados resultante do processo de aquisição ou digitalização da imagem pressupõe a existência de um “formato de imagem”, o qual permitirá armazenar a

imagem digitalmente na memória do computador, assim como recuperá-la posteriormente para processamento.

O formato de arquivo de imagem mais simples que se conhece é o denominado *bit-mapped*, o qual armazena a imagem com uma seqüência ordenada de *bits*. Os *bits* estarão ordenados de acordo com os *pixels* que representam, ou seja, o primeiro elemento do arquivo corresponderá ao *pixel* mais à esquerda da linha do topo da imagem, enquanto o último elemento do arquivo representará o *pixel* mais a direita da última linha da imagem. Os formatos de arquivo *bit-mapped* precisarão, ainda, ser informados do comprimento e/ou do número de linhas que compõem a imagens, para posteriormente reconstruir a imagem a partir do arquivo. Esta informação constitui o chamado cabeçalho do arquivo de imagem.

O processo de formatação de arquivos de imagens *bit-mapped*, também chamados de imagens *raster*, apesar da simplicidade e segurança do método, torna-se pouco prático e dispendioso, em termos de alocação de memória, quando tratamos de imagens reais, em virtude da quantidade de informações que estas imagens carregam consigo. Todavia, para contornar este problema, desenvolveram-se diversos métodos de compactação ou compressão de arquivos.

### **II.4.3 – COMPRESSÃO DE ARQUIVOS DE IMAGENS**

Conforme Neto (1999), “*comprimir dados é o processo que permite reduzir a quantidade total de dados necessária para representar uma certa quantidade de informação, e apresenta dois fatores de extrema importância: a taxa de compressão e a velocidade de processamento.*”

Inicialmente, deve-se determinar o conjunto de regras que balizará o processo de compactação. Esta etapa é denominada, pelos especialistas, de modelagem. Em seguida,

define-se o conjunto de símbolos ou códigos que passará a representar a informação. É a etapa nominada de codificação.

Em geral, pode-se classificar os algoritmos de compactação de arquivo em dois grupos:

- a) Algoritmos sem perdas – São processos completamente reversíveis, isto é, após o processo de descompressão do arquivo, obtém-se a imagem com todas as suas características originais.
- b) Algoritmos com perdas – São processos irreversíveis, ou seja, após descompressão do arquivo não mais se reconstitui a imagem que originou o arquivo, mas apenas uma reconstrução aproximada desta imagem.

Dentre os algoritmos sem perdas, destacamos o Shannon-Fano, o Huffman, o *Run Length Encoder* (RLE) e o *Lempel-Ziv & Welch* (LZW), entre outros. Estes algoritmos podem ser subdivididos em duas categorias: os métodos baseados em dicionário ou universal e os métodos estatísticos. O produto dos métodos alicerçados em dicionário é um arquivo comprimido composto por códigos de comprimento fixo, em geral, com 12 a 16 bits, sendo que cada código representa uma seqüência particular de valores dos dados originais. Os métodos estatísticos utilizam códigos de comprimentos variáveis, onde os dados de maior freqüência são representados por códigos menores, enquanto os dados de menor ocorrência são representados por códigos maiores.

A técnica RLE (*Run Length Encoding*) é empregada em imagens dotadas de grandes áreas com a mesma informação de cor. O processo consiste em descrever uma linha da imagem, não através dos valores de cada ponto, mas através do valor da cor antecedido pelo número de ocorrências consecutivas destes pontos. Por exemplo, uma linha de 250 *pixels* azuis é codificada pelo número 250, seguido de um valor numérico para azul.

O algoritmo LZW (*Lempel-Ziv & Welch*) caracteriza-se por ser rápido e por obter altas taxas de compressão, em torno de 50% a 90%. O método LZW utiliza uma tabela (ou dicionário) para armazenar as repetições dos valores de entrada. Não há necessidade de armazenar a tabela na *stream* de saída, pois esta é reconstruída por um processo reverso ao utilizado na compactação. Na compactação, os dados de entrada não repetidos são armazenados na *stream* de saída com os respectivos códigos ASCII, enquanto as repetições são substituídas pelos índices da tabela. Processo reverso ocorre na descompactação.

Os algoritmos com perdas utilizam técnicas de domínio espacial, como a Modulação Delta, o *Pulse Code Modulation* (PCM), o *Differential Pulse Code Modulation* (DPCM) e a Quantização Vetorial, entre outros, e técnicas de domínio da frequência, como as de filtro (*Subband*, *Wavelet*, etc) e as de transformada (*Fourier*, *Karhunen Loève* (KL), *Discrete Cosine Transform* (DCT), etc).

A Modulação por Código de Pulso Diferencial (*Differential Pulse Code Modulation* – DPCM) utiliza um esquema conhecido como codificação preditiva, o qual considera a redundância de informação entre *pixels* vizinhos para predizer o valor de determinado *pixel*. Neste esquema, codifica-se somente a diferença (ou resíduo) entre o valor do pixel original e o valor predito para este pixel. Se o valor predito está muito próximo do valor original, o resíduo é pequeno, o que produz uma codificação com menos *bits* do que se a codificação fosse realizada considerando-se o *pixel* original.

#### **II.4.4 - FORMATO DE ARQUIVOS**

A crescente proliferação de *software* de diferentes fabricantes, muitas vezes desenvolvidos especificamente para determinado fim, gerou uma infinidade de “formatos de arquivos” para a descrição de imagens. Tais formatos, em geral incompatíveis entre si,

utilizam técnicas distintas de compressão, fato que levou os fabricantes de *software*, na tentativa de criar um formato padrão de arquivo de imagem, a produzirem os chamados “conversores” de formato, atualmente incorporados a, praticamente, todos os programas que manipulam imagens.

Neste universo de formatos de arquivos de imagens, Graef (1989) destaca os seguintes:

- GIF (*Graphics Interchange Format* - Formato Gráfico de Transferências): Especialmente desenvolvido para a transferência de imagens coloridas.
- TIFF (*Tagged Image File Format* - Formato de Arquivo de Imagem Rotulado): Trata-se de uma simbiose de diversos formatos de arquivos de imagem.
- PCX (*PC Paintbrush*): São arquivos originalmente desenvolvidos para o programa *PC Paintbrush* da Z-Soft.
- JPEG (*Joint Photographic Experts Group*): Arquivo de imagem muito utilizado para imagens estáticas.
- BMP (*Bitmap do Windows*): É o formato de arquivo de imagem padrão usado pelo *Microsoft Windows*.

#### **II.4.4.1 – GRAPHICS INTERCHANGE FORMAT (GIF)**

O formato GIF foi criado pela CompuServe Inc. em 1987 para ser utilizado em serviços on-line. São, portanto, protocolos de transferência de arquivos gráficos. Arquivos GIF são sempre compactados e oferecem uma maneira eficiente de armazenar imagens grandes.

Os arquivos no formato GIF são completamente independentes do equipamento computacional e podem conter blocos de informações agregados, tais como textos, dados específicos ou até outras imagens.

Há, correntemente, duas versões para arquivos *Graphics Interchange Format*: GIF87a e GIF89a, ambas tomam como extensão padrão o sufixo “GIF”. A quantidade de cores varia de 2 a 256 cores e o sistema de compactação serve-se do algoritmo LZW (*Lempel-Ziv & Welch*).

Um arquivo GIF é composto por blocos, sempre iniciando no chamado cabeçalho (*header*), o qual tem um comprimento fixo de 6 *bytes*. Os primeiros 3 *bytes* representam a assinatura do arquivo, ou seja identificam-no como sendo um arquivo GIF. Os 3 *bytes* restantes nos informam sobre o número da versão do arquivo, se “87a” ou “89a”. Segue-se o bloco *Logical Screen Descriptor*, o qual é uma espécie de índice, e os blocos *Global Color Table*, *Image Descriptor*, *Local Color Table*, *Image Data* e o *Trailer*, cuja função é indicar o fim do arquivo.

#### **II.4.4.2 – BITMAP DO WINDOWS (BMP)**

O formato de arquivo *Bitmap* do *Windows* é o formato de arquivo padrão usado pelo Microsoft Windows. Arquivos de *bitmap* podem conter 2 (preto e branco), 16, 256 ou 16.7 milhões de cores. A maior parte dos arquivos de Bitmap do Windows não é compactada. Todavia, é possível encontrar uma variação do formato BMP do *Windows*, erroneamente denominada formato RLE (*Run-Length Encoded*), que oferece um modesto grau de compactação de imagens. Este “sub-formato” é sempre um arquivo de imagens com 16 ou 256 cores.

A extensão padrão para arquivos *Bitmap* do *Windows* é “BMP”. Ocasionalmente, porém, pode-se encontrar arquivos de *bitmap* com a extensão “DIB”. Os arquivos *bitmap* compactados pelo algoritmo RLE recebem o sufixo “RLE”.

Há quatro tipos de formatos BMP:

- a) B & W – É um arquivo *bitmap* monocromático, ou seja, a tabela de cor contém apenas duas entradas;
- b) 4 *bits* por *pixel* – Este tipo de arquivo tem um máximo de 16 cores. Cada *nibble* (unidade 4 *bits*) representa um *pixel* do conjunto organizado de *bit*;
- c) 8 *bits* por *pixel* – Neste tipo de arquivo *bitmap* possui um máximo de 256 cores, sendo que cada *byte* representa um *pixel*;
- d) 24 *bits* por *pixel* – Arquivo *bitmap* deste tipo possui um máximo de 16.777.216 cores, sendo que cada *byte* representa a intensidade relativa das cores azul, vermelho e verde de um *pixel*.

Uma estrutura de arquivo *bitmap* contém os seguintes blocos:

- *Bitmap-file header* – onde estão informações relativas ao tipo e tamanho do arquivo;
- *Bitmap-information header* – esta estrutura que contém informações sobre a resolução, compressão, tamanho e a profundidade de *bit* – número de cores usadas;
- *Color table* – define as cores utilizadas. Tal tabela não está presente nos arquivos de 24 *bits* por *pixel*, visto que neste caso os valores RGB já estão expressos nos *bytes* que representam cada *pixel* da imagem;
- *Bitmap data* – é um conjunto de *bytes* representativo dos *pixels* da imagem. Os *bytes* são ordenados consecutivamente da seguinte forma: o primeiro *byte* corresponde ao *pixel* mais à esquerda da linha de topo da imagem, enquanto o



último *byte* representa o *pixel* mais a direita da última linha da imagem. Os demais *bytes* são organizados conforme o posicionamento do *pixel* que lhe corresponde, quando a imagem é varrida linha a linha, de cima para baixo e da esquerda para a direita. O número de *bytes* do bloco *bitmap data* depende da cor, da resolução e da compressão utilizada na imagem BMP.

#### **II.4.4.3 – TAGGED IMAGE FILE FORMAT (TIFF)**

O formato TIFF foi desenvolvido em 1986 pela empresa Aldus Corporation (hoje designada Adobe System Inc), contando, posteriormente, com a participação da Microsoft. Trata-se, contudo, de um formato arquivo de imagem de domínio público, isto é, sua utilização não está sujeita a qualquer tipo de pagamento. Foi projetado para ser um método versátil e portátil de armazenar imagens, sendo aplicado a qualquer arquivo de imagem não vetorial. Estes arquivos podem ser encontrados nas variedades monocromáticos, 16 cores, 256 cores, tons de cinza em 16 cores, tons de cinza em 256 cores e *True Color* (24 bits), bem como em várias versões, sendo a mais moderna a versão “6.0”, editada em 1992.

Os arquivos TIFF são reconhecidos pela sua extensão padrão, representada por “TIF”, e podem existir tanto no formato compactado quanto sem compactação. Aceita diversos esquemas de compactação, tais como RLE e LZW, todos orientados a byte, além de possuir a possibilidade de extensão futura.

Uma estrutura TIFF contém três seções:

- *Image File Header (IFH)* – É o cabeçalho do arquivo de imagem, consiste de 8 *bytes* e sempre inicia um arquivo TIFF. Os primeiros 2 *bytes* exprimem o tipo de ordenação dos *bytes*: se conter os números hexadecimais 4D4D indica tratar-se de

uma ordenação destinada a processadores do tipo “Motorola”, utilizados em computadores Machintosh, caso os números hexadecimais forem 4949, aponta para uma ordenação de *bytes* próprias para microprocessadores da marca “Intel”, os quais são usados em computadores IBM-PC ou compatíveis. Os dois *bytes* seguintes especificam a versão do formato TIFF, enquanto os últimos 4 *bytes* constituem um ponteiro direcionado para o primeiro elemento do diretório de arquivo de imagem (IFD).

- *Image File Directory (IFD)* – Um diretório de arquivo de imagens é uma estrutura que pode estar em qualquer posição do arquivo, afora o IFH. O IFD contém uma descrição da imagem e um ponteiro para localizar seus dados. No IFD existem três seções: um contador de campos (rótulos) do presente neste diretório, constituída por 2 *bytes*, rótulos (*tags*) e um ponteiro direcionado para o próximo IFD, caso ele exista. Os *tags* ou rótulos, por sua vez, são compostos por 12 *bytes*: os primeiros dois *bytes* são campos de identificação do rótulo, seguidos por dois *bytes* determinantes do tipo de dados que contém o rótulo; os próximos quatro *bytes* são usados para especificar elementos dos dados do rótulo; os últimos quatro *bytes* são dados do rótulo (caso eles caibam em 4 *bytes*) ou ponteiro para dados alocados em qualquer parte do arquivo. A estrutura IFD pode conter diversos rótulos (*tags*), conforme o tipo imagem por ele arquivada.
- *Bitmap data* – É o local onde os dados da matriz de *bytes* são armazenados; localiza-se, também, em qualquer lugar do arquivo, exceto o IFH.

O fato dos arquivos TIFF possuírem uma estrutura baseada em rótulos confere-lhe uma série de vantagens, como:

- a) Aplicativos que lêem arquivos TIFF podem, seguramente, ignorar qualquer rótulo não compreendido;
- b) A adição de novos rótulos pode ocorrer a qualquer tempo. Todavia, tal acréscimo não invalida rótulos antigos, na verdade este procedimento garante a atualidade de arquivos TIFF, evitando que estes se tornem obsoletos;
- c) Permite a definição de rótulos proprietários, não interferindo na execução dos demais programas aplicativos que fazem uso do arquivo em questão. Os rótulos localizados nas posições 32768 a 65535 são reservados para este fim.

#### **II.4.4.4 – JOINT PHOTOGRAPHIC EXPERTS GROUP (JPG)**

O formato JPEG, acrônimo de *Joint Photographic Experts Group*, surgiu pelo resultado da comunhão dos três maiores grupos de padronização do mundo: a International Standards Organization (ISO), o Comité Consultatif International des Téléphonique et Télégraphique (CCITT) – atualmente denominado International Telecommunication Union (ITU-T) – e o International Electrotechnical Commission (IEC). É um mecanismo padronizado de compressão de imagem, projetado para comprimir tanto imagens coloridas (*true color*) como imagens em escala de cinza, desde que paradas. A extensão padrão para arquivos JPEG é “JPG”.

Os modos de operação dos arquivos JPEG, atualmente em voga, são: JPEG com perdas ou JPEG-DCT (*Discrete Cosine Transform*) e JPEG sem perdas ou JPEG-DPCM (*Differential Pulse Coding Modulation*). Quando há referências ao formato JPEG, em geral trata-se do formato JPEG-DCT, no qual é possível variar os parâmetros de compressão, conforme a qualidade final da imagem que se pretende obter. Neste modo de operação, o

formato JPEG é "deteriorador", o que significa que a imagem descomprimida não é tão igual àquela que foi comprimida. JPEG-DCT foi criado a partir das conhecidas limitações do olho humano, notavelmente o fato de que pequenos detalhes em cor não são percebidos tão bem quanto pequenos detalhes de claro e escuro. Portanto, JPEG-DCT é limitado a comprimir imagens que serão vistas por humanos.

O algoritmo JPEG-DCT pode ser dividido nos quatro passos seguintes:

- Criação da matriz e conversão do esquema de cores: A imagem fonte é fatiada em amostras de 8 X 8 *pixels* e o esquema de cores é convertido. O sistema RGB, em geral utilizado, é normalizado e convertido para o esquema YUV (luminescência, tonalidade e saturação).
- Conversão descontínua de co-seno (*Discrete Cosine Conversion*): Neste passo duas conversões dimensional DCT são computadas para cada elemento (uma para linhas e outra para colunas), os quais nos dão coeficientes DCT representativos da frequência inicial da imagem, conforme a fórmula que segue,

$$t(i, j) = c(i, j) \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} f(m, n) \cos \frac{\pi(2m+1)i}{2N} \cos \frac{\pi(2n+1)j}{2N}$$

onde  $f(m, n)$  são valores de *pixel* e  $t(i, j)$  representam os coeficientes de frequência.

- Quantização: São produzidas duas tabelas, conforme a definição de preferência da qualidade de imagem: uma para luminescência e outra para crominância. Estas tabelas são salvas no cabeçalho do arquivo para posterior descompressão. Cada valor da matriz é dividido conforme o valor constante na tabela e arredondado para inteiro.

- Codificação adicional: A codificação anterior produz na matriz um dimensionamento chamado de padrão *zig-zag*. As baixas frequências são posicionadas por primeiro e as altas por último. As altas são possivelmente “zeros”, o que produz uma melhoria em toda a compressão. Dois tipos de codificação são usados: o código Huffman e o Aritmético, sendo o primeiro o preferido.

O padrão JPEG sem perdas ou JPEG-DPCM (*Differential Pulse Coding Modulation*), completamente independente do padrão JPEG-DCT, utiliza a codificação preditiva para formar os resíduos, os quais são codificados, posteriormente, através de um código de comprimento variável: Huffman ou o Aritmético. Na formação dos resíduos, considera-se a alta correlação existente entre um *pixel* e sua vizinhança, desta forma do valor original do *pixel* é subtraído o valor predito para o mesmo, restando o denominado resíduo, que obviamente é muito menor do que o *pixel* original.

Convém salientar que os arquivos JPEG disponíveis para intercâmbio na *internet* estão num formato que se convencionou chamar JFIF, acrônimo de JPEG *File Interchange Format*.

## CAPÍTULO III

### DADOS E MÉTODOS

---

#### III.1 - AQUISIÇÃO DE DADOS

O processo de aquisição de dados transmutou-se durante a realização desta dissertação: num primeiro momento, a obtenção das imagens ocorreu junto ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), via servidor ftp da RNP (Rede Nacional de Pesquisas); no período final, as imagens passaram a ser adquiridas ainda junto ao INPE, porém via *Internet*, no site <http://www.inpe.br>.

As imagens adquiridas no momento inicial do trabalho compreendem o período de 05/09/1994 até 01/07/1995. Contudo, este intervalo subdivide-se de 05/09/1994 a 31/05/1995, quando eram geradas pelo satélite Meteosat-3, e de 29/09/1995 a 01/07/95, época em que passaram a ser obtidas pelo satélite Meteosat-5. No período coberto pelo Meteosat-3, ocorreu uma interrupção na emissão de dados entre 28/12/1994 e 22/03/1995, devido a falhas generalizadas nos sistemas do satélite, visto que, à época, o mesmo havia há muito ultrapassado o seu tempo de vida útil. As imagens deste período apresentavam formatação de arquivo JPEG, pertenciam ao canal infravermelho e se distribuíam nos horários 04h, 07h, 11h, 19h e 24h GMT (ou horários próximos). Na oportunidade eram visualizadas na *workstation Sun* do CEPSRM (Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia).

As imagens pertencentes ao momento final do trabalho, capturadas via *Internet*, cobrem o período de 01/10/1998 até 30/06/1999, sendo adquiridas do satélite GOES-8. Também, estão no formato JPEG, canal infravermelho e correspondem ao horário 3h GMT ou horário mais próximo. Entre 01/04/1999 e 27/05/1999, dispomos, ainda, de imagens geradas pelo satélite Meteosat-5, no mesmo formato e canal e nos horários 6h, 12h e 18h GMT.

Convém salientar que, entre o período inicial e o momento final de aquisição de dados, ocorreu um grande interstício. Tal fato se deve à perda de dados armazenados no *hard disk* da *workstation* do CEPSRM, em virtude de interferências externas, alheias à Universidade. Todavia, no final de 1998, os dados puderam ser recuperados.

### III.2 – AMOSTRA UTILIZADA

Entre os dados obtidos, elegemos uma imagem por dia, preferencialmente àquelas adquiridas em horários compatíveis com as atividades observacionais, para compor nossa amostra de trabalho. Assim, a amostra efetivamente utilizada constitui-se de 472 imagens, as quais elencamos a seguir, na Tabela III.1. Observamos que muitas imagens foram descartadas, seja em razão dos critérios adotados, seja por apresentarem problemas diversos.

**Tabela III.1 – Imagens Utilizadas**

<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
94.248.04.i	05/09/1994	04	51 K	Meteosat-3	jpg
94.249.04.i	06/09/1994	04	51 K	Meteosat-3	jpg
94.250.04.i	07/09/1994	04	52 K	Meteosat-3	jpg
94.251.19.i	08/09/1994	19	58 K	Meteosat-3	jpg
94.252.24.i	09/09/1994	24	53 K	Meteosat-3	jpg
94.253.04.i	10/09/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg
94.254.04.i	11/09/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg
94.255.04.i	12/09/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg
94.257.04.i	14/09/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg

<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
94.259.04.i	16/09/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg
94.260.24.i	17/09/1994	24	55 K	Meteosat-3	jpg
94.262.04.i	19/09/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg
94.263.04.i	20/09/1994	04	54 K	Meteosat-3	jpg
94.264.04.i	21/09/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg
94.265.24.i	22/09/1994	24	55 K	Meteosat-3	jpg
94.266.24.i	23/09/1994	24	54 K	Meteosat-3	jpg
94.267.04.i	24/09/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg
94.268.24.i	25/09/1994	24	55 K	Meteosat-3	jpg
94.269.24.i	26/09/1994	24	55 K	Meteosat-3	jpg
94.270.04.i	27/09/1994	04	54 K	Meteosat-3	jpg
94.271.24.i	28/09/1994	24	54 K	Meteosat-3	jpg
94.272.19.i	29/09/1994	19	59 K	Meteosat-3	jpg
94.273.24.i	30/09/1994	24	53 K	Meteosat-3	jpg
94.274.24.i	01/10/1994	24	55 K	Meteosat-3	jpg
94.275.07.i	02/10/1994	17	53 K	Meteosat-3	jpg
94.277.24.i	04/10/1994	24	54 K	Meteosat-3	jpg
94.278.04.i	05/10/1994	19	53 K	Meteosat-3	jpg
94.279.04.i	06/10/1994	24	54 K	Meteosat-3	jpg
94.280.04.i	07/10/1994	24	54 K	Meteosat-3	jpg
94.281.04.i	08/10/1994	04	54 K	Meteosat-3	jpg
94.283.04.i	10/10/1994	24	54 K	Meteosat-3	jpg
94.284.04.i	11/10/1994	04	54 K	Meteosat-3	jpg
94.285.19.i	12/10/1994	19	56 K	Meteosat-3	jpg
94.286.24.i	13/10/1994	24	54 K	Meteosat-3	jpg
94.287.04.i	14/10/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg
94.288.04.i	15/10/1994	24	53 K	Meteosat-3	jpg
94.289.04.i	16/10/1994	19	54 K	Meteosat-3	jpg
94.290.04.i	17/10/1994	20	53 K	Meteosat-3	jpg
94.291.04.i	18/10/1994	04	54 K	Meteosat-3	jpg
94.292.04.i	19/10/1994	24	53 K	Meteosat-3	jpg
94.293.04.i	20/10/1994	24	54 K	Meteosat-3	jpg
94.294.04.i	21/10/1994	19	54 K	Meteosat-3	jpg
94.298.04.i	25/10/1994	11	54 K	Meteosat-3	jpg
94.303.04.i	30/10/1994	04	51 K	Meteosat-3	jpg
94.304.04.i	31/10/1994	24	50 K	Meteosat-3	jpg
94.305.04.i	01/11/1994	04	52 K	Meteosat-3	jpg
94.307.24.i	03/11/1994	24	54 K	Meteosat-3	jpg
94.311.24.i	07/11/1994	24	55 K	Meteosat-3	jpg
94.312.04.i	08/11/1994	04	54 K	Meteosat-3	jpg
94.313.04.i	09/11/1994	04	54 K	Meteosat-3	jpg
94.314.04.i	10/11/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg
94.322.12.i	18/11/1994	12	55 K	Meteosat-3	jpg



<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
94.327.11.i	23/11/1994	11	53 K	Meteosat-3	jpg
94.332.24.i	28/11/1994	24	53 K	Meteosat-3	jpg
94.333.04.i	29/11/1994	04	52 K	Meteosat-3	jpg
94.334.04.i	30/11/1994	04	52 K	Meteosat-3	jpg
4120104	01/12/1994	04	51 K	Meteosat-3	jpg
4120204	02/12/1994	04	54 K	Meteosat-3	jpg
4120304	03/12/1994	04	54 K	Meteosat-3	jpg
4121117	11/12/1994	17	56 K	Meteosat-3	jpg
4122024	20/12/1994	24	54 K	Meteosat-3	jpg
4122104	21/12/1994	04	53 K	Meteosat-3	jpg
4122204	22/12/1994	04	51 K	Meteosat-3	jpg
4122304	23/12/1994	04	50 K	Meteosat-3	jpg
4122404	24/12/1994	04	51 K	Meteosat-3	jpg
4122504	25/12/1994	04	52 K	Meteosat-3	jpg
4122704	27/12/1994	04	51 K	Meteosat-3	jpg
5031319	13/03/1995	19	58 K	Meteosat-3	jpg
5031424	14/03/1995	24	55 K	Meteosat-3	jpg
5031519	15/03/1995	19	57 K	Meteosat-3	jpg
5031724	17/03/1995	24	54 K	Meteosat-3	jpg
5031819	18/03/1995	19	55 K	Meteosat-3	jpg
5032019	20/03/1995	19	58 K	Meteosat-3	jpg
5032119	21/03/1995	19	57 K	Meteosat-3	jpg
5032204	22/03/1995	04	57 K	Meteosat-3	jpg
5032304	23/03/1995	04	58 K	Meteosat-3	jpg
5032411	24/03/1995	11	52 K	Meteosat-3	jpg
5032719	27/03/1995	19	54 K	Meteosat-3	jpg
5032819	28/03/1995	19	55 K	Meteosat-3	jpg
5032919	29/03/1995	19	55 K	Meteosat-3	jpg
5033019	30/03/1995	19	54 K	Meteosat-3	jpg
5033119	31/03/1995	19	54 K	Meteosat-3	jpg
5040419	04/04/1995	19	53 K	Meteosat-3	jpg
5040519	05/04/1995	19	53 K	Meteosat-3	jpg
5040611	06/04/1995	11	51 K	Meteosat-3	jpg
5040711	07/04/1995	11	52 K	Meteosat-3	jpg
5040819	08/04/1995	19	55 K	Meteosat-3	jpg
5040919	09/04/1995	19	56 K	Meteosat-3	jpg
5041011	10/04/1995	11	52 K	Meteosat-3	jpg
5041119	11/04/1995	19	55 K	Meteosat-3	jpg
5041219	12/04/1995	19	56 K	Meteosat-3	jpg
5041311	13/04/1995	11	52 K	Meteosat-3	jpg
5041719	17/04/1995	19	55 K	Meteosat-3	jpg
5041819	18/04/1995	19	56 K	Meteosat-3	jpg

<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
5041911	19/04/1995	11	52 K	Meteosat-3	jpg
5042419	24/04/1995	19	54 K	Meteosat-3	jpg
5042511	25/04/1995	11	51 K	Meteosat-3	jpg
5042619	26/04/1995	19	53 K	Meteosat-3	jpg
5042719	27/04/1995	19	55 K	Meteosat-3	jpg
5042819	28/04/1995	19	54 K	Meteosat-3	jpg
5042919	29/04/1995	19	54 K	Meteosat-3	jpg
5043019	30/04/1995	19	55 K	Meteosat-3	jpg
5050504	05/05/1995	04	56 K	Meteosat-3	jpg
5050619	06/05/1995	19	55 K	Meteosat-3	jpg
5050704	07/05/1995	04	55 K	Meteosat-3	jpg
5050804	08/05/1995	04	55 K	Meteosat-3	jpg
5050904	09/05/1995	04	53 K	Meteosat-3	jpg
5051004	10/05/1995	04	51 K	Meteosat-3	jpg
5051119	11/05/1995	19	53 K	Meteosat-3	jpg
5051204	12/05/1995	04	54 K	Meteosat-3	jpg
5051304	13/05/1995	04	55 K	Meteosat-3	jpg
5051419	14/05/1995	19	57 K	Meteosat-3	jpg
5051504	15/05/1995	04	58 K	Meteosat-3	jpg
5051611	16/05/1995	11	52 K	Meteosat-3	jpg
5051904	19/05/1995	04	58 K	Meteosat-3	jpg
5052004	20/05/1995	04	60 K	Meteosat-3	jpg
5052211	22/05/1995	11	52 K	Meteosat-3	jpg
5052304	23/05/1995	04	56 K	Meteosat-3	jpg
5052411	24/05/1995	11	51 K	Meteosat-3	jpg
5052611	26/05/1995	11	50 K	Meteosat-3	jpg
5052817	28/05/1995	17	54 K	Meteosat-3	jpg
5052911	29/05/1995	11	51 K	Meteosat-3	jpg
5053011	30/05/1995	11	52 K	Meteosat-3	jpg
5053104	31/05/1995	04	58 K	Meteosat-3	jpg
M5070100	01/07/1995	00	50 K	Meteosat-5	jpg
M5070200	02/07/1995	00	49 K	Meteosat-5	jpg
M5070300	03/07/1995	00	49 K	Meteosat-5	jpg
M5070400	04/07/1995	00	50 K	Meteosat-5	jpg
M5070500	05/07/1995	00	49 K	Meteosat-5	jpg
M5070600	06/07/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5070700	07/07/1995	00	50 K	Meteosat-5	jpg
M5070800	08/07/1995	00	50 K	Meteosat-5	jpg
M5070900	09/07/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5071000	10/07/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5071100	11/07/1995	00	49 K	Meteosat-5	jpg
M5071206	12/07/1995	06	48 K	Meteosat-5	jpg
M5071300	13/07/1995	00	49 K	Meteosat-5	jpg

<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
M5071400	14/07/1995	00	50 K	Meteosat-5	jpg
M5071500	15/07/1995	00	50 K	Meteosat-5	jpg
M5071600	16/07/1995	00	50 K	Meteosat-5	jpg
M5071700	17/07/1995	00	50 K	Meteosat-5	jpg
M5071800	18/07/1995	00	51 K	Meteosat-5	jpg
M5071900	19/07/1995	00	52 K	Meteosat-5	jpg
M5072000	20/07/1995	00	51 K	Meteosat-5	jpg
M5072100	21/07/1995	00	50 K	Meteosat-5	jpg
M5072200	22/07/1995	00	49 K	Meteosat-5	jpg
M5072300	23/07/1995	00	50 K	Meteosat-5	jpg
M5072400	24/07/1995	00	46 K	Meteosat-5	jpg
M5072700	27/07/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg
M5072800	28/07/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5072900	29/07/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5073006	30/07/1995	06	48 K	Meteosat-5	jpg
M5073106	31/07/1995	06	47 K	Meteosat-5	jpg
M5080100	01/08/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5080200	02/08/1995	00	46 K	Meteosat-5	jpg
M5080300	03/08/1995	00	45 K	Meteosat-5	jpg
M5080400	04/08/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5080506	05/08/1995	06	47 K	Meteosat-5	jpg
M5080606	06/08/1995	06	49 K	Meteosat-5	jpg
M5080706	07/08/1995	06	48 K	Meteosat-5	jpg
M5080800	08/08/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5080900	09/08/1995	00	44 K	Meteosat-5	jpg
M5081000	10/08/1995	00	46 K	Meteosat-5	jpg
M5081100	11/08/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg
M5081200	12/08/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg
M5081300	13/08/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg
M5081400	14/08/1995	00	49 K	Meteosat-5	jpg
M5081500	15/08/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5081600	16/08/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5081700	17/08/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5081800	18/08/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg
M5081900	19/08/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg
M5082000	20/08/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5082100	21/08/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg
M5082200	22/08/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg
M5082300	23/08/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg
M5082400	24/08/1995	00	47 K	Meteosat-5	jpg
M5082500	25/08/1995	00	46 K	Meteosat-5	jpg
M5082600	26/08/1995	00	46 K	Meteosat-5	jpg
M5082700	27/08/1995	00	45 K	Meteosat-5	jpg
M5083000	30/08/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg

<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
M5083100	31/08/1995	00	49 K	Meteosat-5	jpg
M5090100	01/09/1995	00	48 K	Meteosat-5	jpg
M5090212	02/09/1995	12	49 K	Meteosat-5	jpg
M5090300	03/09/1995	00	51 K	Meteosat-5	jpg
M5090512	05/09/1995	12	50 K	Meteosat-5	jpg
M5090612	06/09/1995	12	46 K	Meteosat-5	jpg
M5090712	07/09/1995	12	45 K	Meteosat-5	jpg
M5090806	08/09/1995	06	46 K	Meteosat-5	jpg
M5090912	09/09/1995	12	46 K	Meteosat-5	jpg
M5091006	10/09/1995	06	48 K	Meteosat-5	jpg
M5091106	11/09/1995	06	49 K	Meteosat-5	jpg
M5091206	12/09/1995	06	49 K	Meteosat-5	jpg
M5091306	13/09/1995	06	49 K	Meteosat-5	jpg
M5091412	14/09/1995	12	48 K	Meteosat-5	jpg
M5091506	15/09/1995	06	49 K	Meteosat-5	jpg
M5091606	16/09/1995	06	49 K	Meteosat-5	jpg
M5092006	20/09/1995	06	47 K	Meteosat-5	jpg
M5092312	23/09/1995	12	47 K	Meteosat-5	jpg
M5092406	24/09/1995	06	49 K	Meteosat-5	jpg
M5092506	25/09/1995	06	49 K	Meteosat-5	jpg
M5092612	26/09/1995	12	49 K	Meteosat-5	jpg
M5092712	27/09/1995	12	50 K	Meteosat-5	jpg
M5092818	28/09/1995	18	51 K	Meteosat-5	jpg
M5092918	29/09/1995	18	51 K	Meteosat-5	jpg
8100103	01/10/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8100203	02/10/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8100303	03/10/1998	03	52 K	Goes-8	jpg
8100400	04/10/1998	00	53 K	Goes-8	jpg
8100503	05/10/1998	03	51 K	Goes-8	jpg
8100603	06/10/1998	03	50 K	Goes-8	jpg
8100703	07/10/1998	03	51 K	Goes-8	jpg
8100803	08/10/1998	03	50 K	Goes-8	jpg
8100903	09/10/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8101003	10/10/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8101103	11/10/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8101203	12/10/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8101303	13/10/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8101403	14/10/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8101503	15/10/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8101609	16/10/1998	09	56 K	Goes-8	jpg
8101709	17/10/1998	09	57 K	Goes-8	jpg
8101803	18/10/1998	03	52 K	Goes-8	jpg
8101903	19/10/1998	03	52 K	Goes-8	jpg

<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
8102003	20/10/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8102103	21/10/1998	03	52 K	Goes-8	jpg
8102203	22/10/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8102303	23/10/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8102403	24/10/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8102503	25/10/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8102603	26/10/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8102703	27/10/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8102921	29/10/1998	21	57 K	Goes-8	jpg
8103000	30/10/1998	00	55 K	Goes-8	jpg
8103103	31/10/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8110103	01/11/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8110203	02/11/1998	03	56 K	Goes-8	jpg
8110303	03/11/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8110403	04/11/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8110503	05/11/1998	03	56 K	Goes-8	jpg
8110603	06/11/1998	03	56 K	Goes-8	jpg
8110703	07/11/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8110803	08/11/1998	03	57 K	Goes-8	jpg
8110903	09/11/1998	03	57 K	Goes-8	jpg
8111003	10/11/1998	03	57 K	Goes-8	jpg
8111103	11/11/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8111203	12/11/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8111303	13/11/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8111403	14/11/1998	03	56 K	Goes-8	jpg
8111503	15/11/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8111600	16/11/1998	00	56 K	Goes-8	jpg
8111703	17/11/1998	03	52 K	Goes-8	jpg
8111803	18/11/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8111903	19/11/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8112003	20/11/1998	03	52 K	Goes-8	jpg
8112103	21/11/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8112203	22/11/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8112303	23/11/1998	03	57 K	Goes-8	jpg
8112403	24/11/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8112503	25/11/1998	03	57 K	Goes-8	jpg
8112621	26/11/1998	21	58 K	Goes-8	jpg
8112700	27/11/1998	00	59 K	Goes-8	jpg
8112803	28/11/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8112903	29/11/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8113003	30/11/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8120103	01/12/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8120203	02/12/1998	03	55 K	Goes-8	jpg

<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
8120303	03/12/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8120403	04/12/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8120503	05/12/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8120600	06/12/1998	00	54 K	Goes-8	jpg
8120703	07/12/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8120803	08/12/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8120903	09/12/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8121003	10/12/1998	03	52 K	Goes-8	jpg
8121103	11/12/1998	03	53 K	Goes-8	jpg
8121203	12/12/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8121303	13/12/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8121406	14/12/1998	06	54 K	Goes-8	jpg
8121603	16/12/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8121703	17/12/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8121800	18/12/1998	00	57 K	Goes-8	jpg
8121921	19/12/1998	21	60 K	Goes-8	jpg
8122003	20/12/1998	03	56 K	Goes-8	jpg
8122103	21/12/1998	03	57 K	Goes-8	jpg
8122203	22/12/1998	03	56 K	Goes-8	jpg
8122303	23/12/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8122403	24/12/1998	03	54 K	Goes-8	jpg
8122503	25/12/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8122603	26/12/1998	03	55 K	Goes-8	jpg
8122703	27/12/1998	03	56 K	Goes-8	jpg
8122803	28/12/1998	03	56 K	Goes-8	jpg
8122903	29/12/1998	03	57 K	Goes-8	jpg
8123003	30/12/1998	03	57 K	Goes-8	jpg
8123103	31/12/1998	03	56 K	Goes-8	jpg
9010303	03/01/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9010403	04/01/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9010503	05/01/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9010603	06/01/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9010703	07/01/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9010806	08/01/1999	06	56 K	Goes-8	jpg
9010903	09/01/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9011003	10/01/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9011103	11/01/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9011203	12/01/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9011303	13/01/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9011403	14/01/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9011503	15/01/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9011603	16/01/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9011703	17/01/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9011803	18/01/1999	03	56 K	Goes-8	jpg

<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
9011903	19/01/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9012003	20/01/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9012100	21/01/1999	00	57 K	Goes-8	jpg
9012200	22/01/1999	00	60 K	Goes-8	jpg
9012303	23/01/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9012406	24/01/1999	06	54 K	Goes-8	jpg
9012503	25/01/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9012603	26/01/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9012700	27/01/1999	00	57 K	Goes-8	jpg
9012803	28/01/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9012903	29/01/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9013003	30/01/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9013103	31/01/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9020103	01/02/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9020206	02/02/1999	06	56 K	Goes-8	jpg
9020303	03/02/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9020403	04/02/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9020503	05/02/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9020603	06/02/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9020703	07/02/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9020803	08/02/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9020903	09/02/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9021003	10/02/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9021103	11/02/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9021203	12/02/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9021303	13/02/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9021403	14/02/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9021500	15/02/1999	00	58 K	Goes-8	jpg
9021609	16/02/1999	09	54 K	Goes-8	jpg
9021709	17/02/1999	09	56 K	Goes-8	jpg
9021803	18/02/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9021900	19/02/1999	00	56 K	Goes-8	jpg
9022006	20/02/1999	06	56 K	Goes-8	jpg
9022106	21/02/1999	06	57 K	Goes-8	jpg
9022209	22/02/1999	09	57 K	Goes-8	jpg
9022312	23/02/1999	12	57 K	Goes-8	jpg
9022400	24/02/1999	00	60 K	Goes-8	jpg
9022503	25/02/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9022606	26/02/1999	06	57 K	Goes-8	jpg
9022703	27/02/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9022803	28/02/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9030112	01/03/1999	12	56 K	Goes-8	jpg
9030221	02/03/1999	21	63 K	Goes-8	jpg

<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
9030303	03/03/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9030403	04/03/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9030503	05/03/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9030603	06/03/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9030703	07/03/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9030809	08/03/1999	09	54 K	Goes-8	jpg
9030900	09/03/1999	00	55 K	Goes-8	jpg
9031003	10/03/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9031103	11/03/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9031200	12/03/1999	00	56 K	Goes-8	jpg
9031303	13/03/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9031403	14/03/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9031503	15/03/1999	03	60 K	Goes-8	jpg
9031603	16/03/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9031721	17/03/1999	21	61 K	Goes-8	jpg
9031821	18/03/1999	21	62 K	Goes-8	jpg
9031903	19/03/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9032003	20/03/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9032103	21/03/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9032203	22/03/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9032303	23/03/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9032403	24/03/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9032503	25/03/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9032603	26/03/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9032703	27/03/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9032803	28/03/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9032903	29/03/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9033003	30/03/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9033103	31/03/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9040121	01/04/1999	21	60 K	Goes-8	jpg
9040203	02/04/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9040303	03/04/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9040403	04/04/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9040500	05/04/1999	00	56 K	Goes-8	jpg
9040603	06/04/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9040703	07/04/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9040803	08/04/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9040921	09/04/1999	21	57 K	Goes-8	jpg
9041003	10/04/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9041103	11/04/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9041206	12/04/1999	06	56 K	Goes-8	jpg
9041303	13/04/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9041403	14/04/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9041503	15/04/1999	03	55 K	Goes-8	jpg



<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
9041603	16/04/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9041703	17/04/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9041803	18/04/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9041903	19/04/1999	03	52 K	Goes-8	jpg
9042003	20/04/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9042103	21/04/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9042203	22/04/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9042303	23/04/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9042403	24/04/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9042503	25/04/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9042603	26/04/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9042703	27/04/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9042803	28/04/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9042903	29/04/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9043003	30/04/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9050103	01/05/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9050203	02/05/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9050303	03/05/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9050403	04/05/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9050503	05/05/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9050603	06/05/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9050703	07/05/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9050803	08/05/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9050903	09/05/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9051003	10/05/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9051103	11/05/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9051203	12/05/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9051303	13/05/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9051403	14/05/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9051503	15/05/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9051603	16/05/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9051703	17/05/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9051803	18/05/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9051900	19/05/1999	00	55 K	Goes-8	jpg
9052003	20/05/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9052103	21/05/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9052203	22/05/1999	03	52 K	Goes-8	jpg
9052303	23/05/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9052421	24/05/1999	21	56 K	Goes-8	jpg
9052503	25/05/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9052603	26/05/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9052712	27/05/1999	12	56 K	Goes-8	jpg
9052803	28/05/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9052903	29/05/1999	03	54 K	Goes-8	jpg

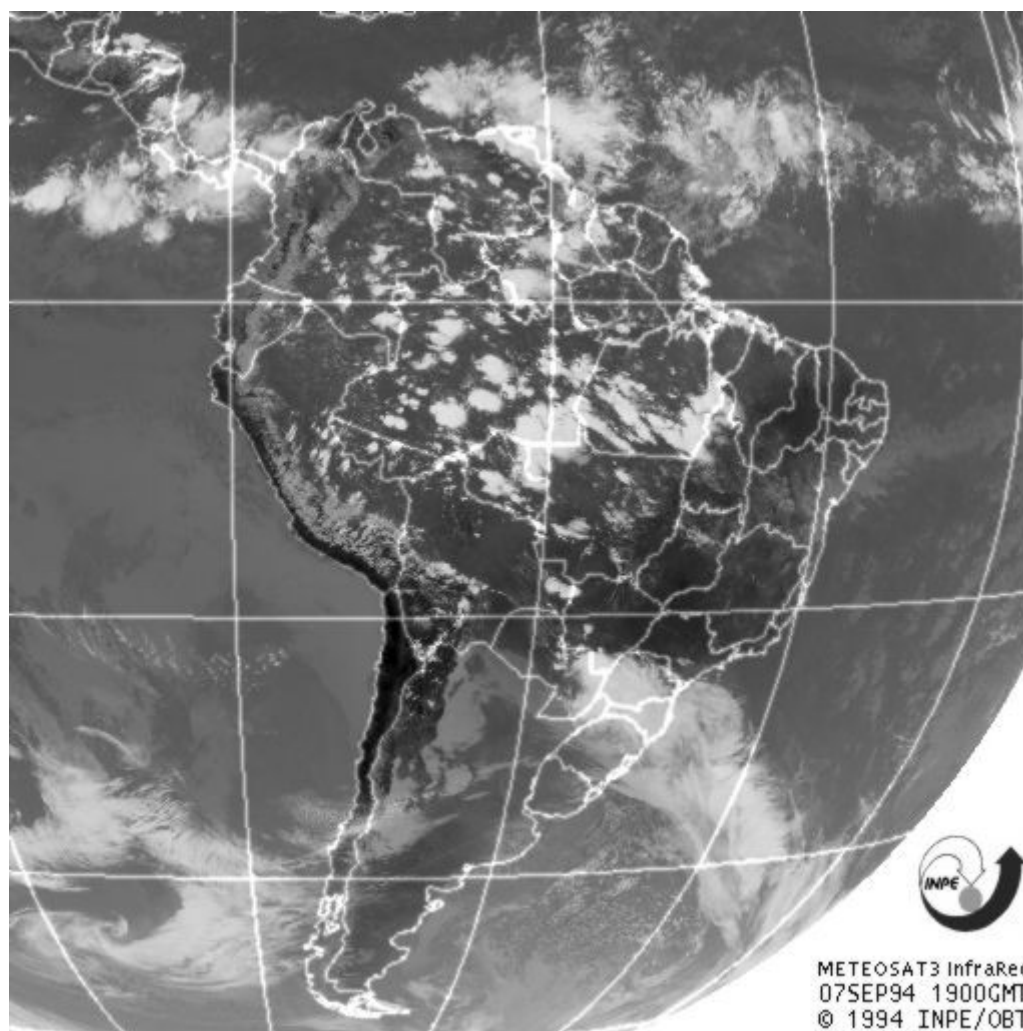
<b>Imagem</b>	<b>Data</b>	<b>Horário GMT</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Satélite</b>	<b>Formato</b>
9053003	30/05/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9053103	31/05/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9060103	01/06/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9060203	02/06/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9060303	03/06/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9060403	04/06/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9060503	05/06/1999	03	57 K	Goes-8	jpg
9060603	06/06/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9060703	07/06/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9060803	08/06/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9060903	09/06/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9061003	10/06/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9061103	11/06/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9061203	12/06/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9061303	13/06/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9061403	14/06/1999	03	58 K	Goes-8	jpg
9061503	15/06/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9061603	16/06/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9061703	17/06/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9061803	18/06/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9061903	19/06/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9062003	20/06/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9062103	21/06/1999	03	56 K	Goes-8	jpg
9062303	23/06/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9062403	24/06/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9062503	25/06/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9062603	26/06/1999	03	54 K	Goes-8	jpg
9062703	27/06/1999	03	55 K	Goes-8	jpg
9062903	29/06/1999	03	53 K	Goes-8	jpg
9063003	30/06/1999	03	54 K	Goes-8	jpg

### **III.2.1 – EXEMPLO DE IMAGEM DO SATÉLITE METEOSAT-3**

As imagens Meteosat-3 apresentam uma nomenclatura própria, elaborada pelo INPE. Esta denominação segue o seguinte esquema: os primeiros dois algarismos representam o ano ao qual a imagem se refere; seguem-se três algarismos correspondentes ao dia em que a imagem foi obtida, contados seqüencialmente desde o primeiro dia do ano; após temos dois

algarismos os quais indicam o horário (GMT) de obtenção da imagem; por fim temos a letra i, que indica tratar-se de um arquivo JFIF, ou seja, um formato de arquivo para intercâmbio JPEG (*JPEG File Interchange Format*).

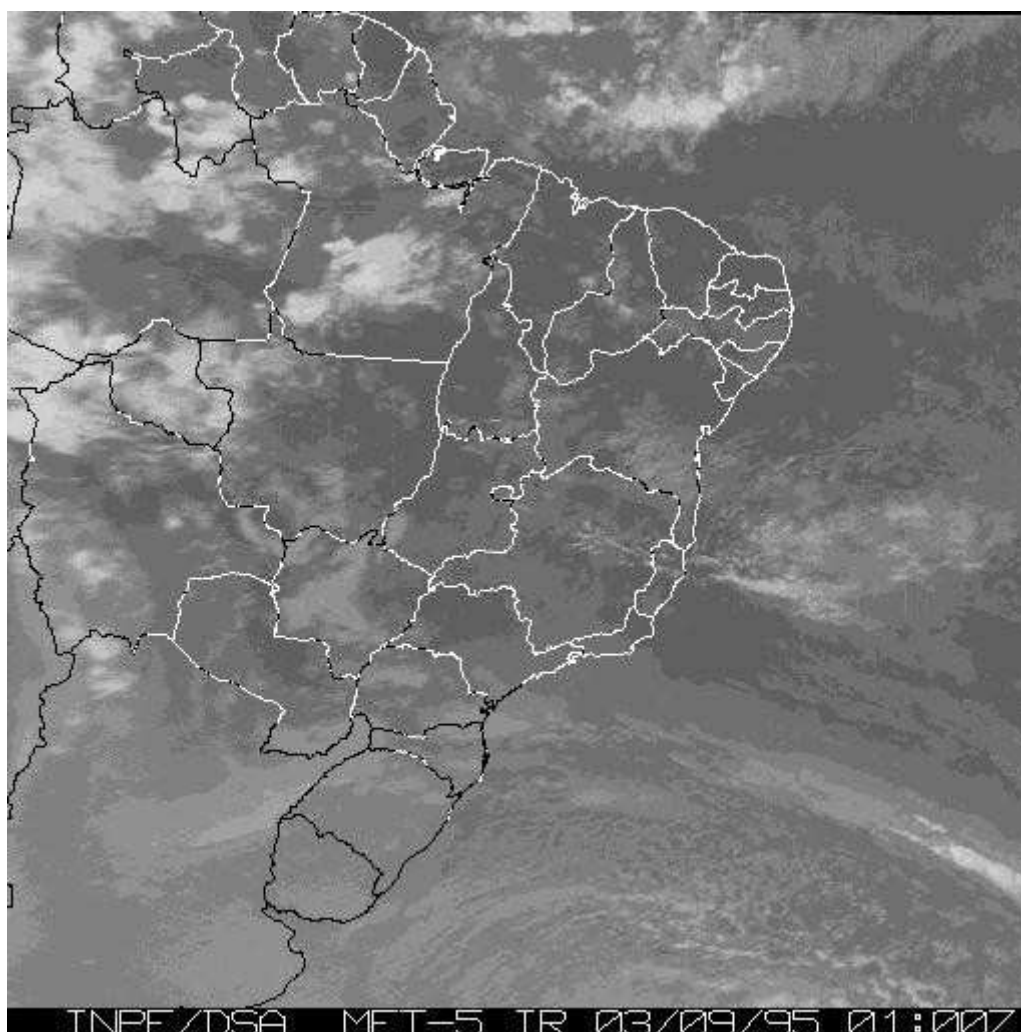
Por exemplo, a imagem da Figura III.1 é referenciada pela seqüência alfanumérica 94.250.19.i, o que significa que a mesma é do formato JFIF e foi obtida às 19h (GMT) do ducentésimo quinquagésimo dia (250º dia corresponde a 7 de setembro) do ano de 1994.



**Figura III.1 – Exemplo de Imagem Meteosat-3**

### III.2.2 – EXEMPLO DE IMAGEM DO SATÉLITE METEOSAT-5

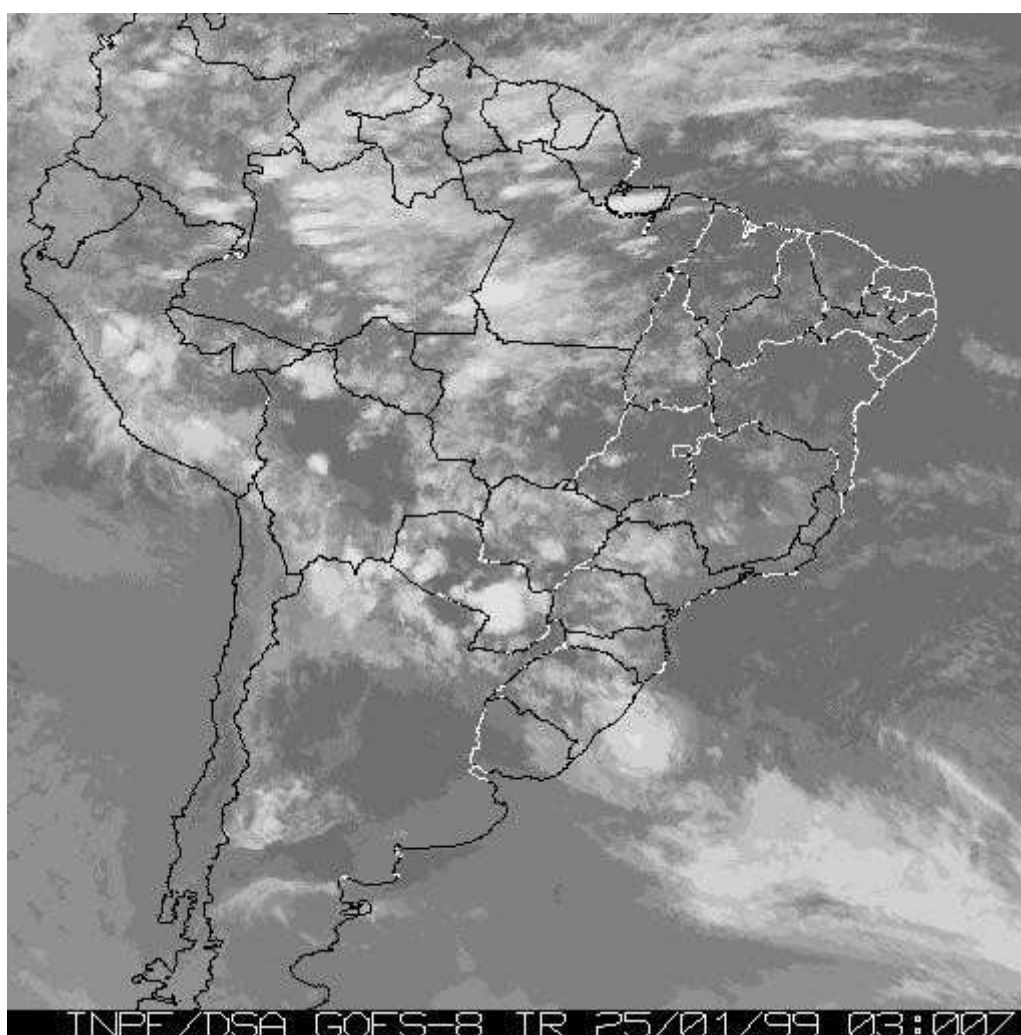
As imagens do satélite Meteosat-5 seguem uma nomenclatura diversa daquela aplicada ao satélite Meteosat-3. Entretanto, sua origem deve-se, também, ao INPE. Trata-se de uma seqüência numérica constituída por dez algarismos, os primeiros quatro representando o ano, os dois seguintes o mês, os outros dois o dia e, os últimos dois, o horário GMT. Por exemplo, a Figura III.2 representa a imagem denominada 1995090301.jpg, o que quer dizer que a mesma foi obtida a 1h (GMT) do dia 3 de setembro de 1995 e está no formato JPEG.



**Figura III.2 – Exemplo de imagem Meteosat-5**

### III.2.3 – EXEMPLO DE IMAGEM DO SATÉLITE GOES-8

As imagens obtidas através do satélite GOES-8, seguem o mesmo tipo de nomenclatura utilizado para o Meteosat-5. Assim, a imagem mostrada na Figura III.3, cuja referência é 1999012503.jpg, foi obtida às 3h (GMT) do dia 25 de janeiro de 1999 e está no formato JPEG.



**Figura III.3 – Exemplo de imagem GOES-8**

Ressaltamos que as imagens constantes na Tabela III.1 sofreram algumas modificações quanto à nomenclatura. As imagens Meteosat-3, após 01/12/1994, passaram a

ser designadas conforme o esquema seqüencial proposto para o Meteosat-5 e GOES-8, porém, sem os primeiros três dígitos, ou seja, estão ausentes aos algarismos “199”. Às imagens Meteosat-5, além da retirada dos mesmos algarismos, foi acrescentada a letra “M”, enquanto das imagens GOES-8 apenas foi subtraído a seqüência inicial “199”. Desta forma, a imagem da Figura III.2, referenciada por “1995090301.jpg”, está representada na nossa Tabela III.1 pela seqüência alfanumérica “M5090301”. Do mesmo modo, a imagem visualizada na Figura III.3, cuja denominação é “1999012503.jpg”, está indicada na mesma tabela pela seqüência numérica “9012503”. O sufixo “.jpg”, também, foi excluído das imagens Meteosat-5 e GOES-8. Tal atitude foi necessária em razão da mudança de plataforma utilizada no processamento das imagens. Em determinado momento do trabalho migrou-se da *Workstation SUN* para microcomputadores do tipo PC, os quais se servem do sistema operacional *Windows*, e esse acrescenta, automaticamente, o sufixo ao arquivo, conforme seu tipo.

### III.3 – NAVEGAÇÃO NAS IMAGENS

O processo de navegação pelas imagens, tanto dos satélites da série Meteosat como os da família GOES, utilizado neste trabalho, segue o mesmo algoritmo utilizado pelo INPE, desenvolvido em 1992 por D’Alge & Freitas, *apud* Marques (1996), e originalmente concebido para as imagens provenientes dos satélites METEOSAT. Tal algoritmo possibilita associar às linhas e colunas das imagens às correspondentes coordenadas geográficas da superfície. Segue-se uma descrição sucinta do referido algoritmo, transcrita de Marques *op. cit.*

O modelo considera a superfície da Terra como um esferóide oblato, sendo, neste caso, qualquer ponto da superfície representado pela Equação III.1:

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

(III.1)

Sendo:

a = semi-eixo maior;

c = semi-eixo menor.

Orientando-se adequadamente o sistema de eixos coordenados (x, y, z) de forma que o satélite situe-se sobre o eixo “y”, teremos, para um ponto localizado no plano (x, z), perpendicular a este eixo e que coincide com a reta que une o satélite ao centro da Terra, a relação III.2, que se segue:

$$\frac{x^2}{R_e^2} + \frac{z^2}{R_p^2} = 1$$

(III.2)

Onde:

$R_e$  = Raio equatorial;

$R_p$  = Raio Polar.

Para um ponto da superfície, localizado no equador terrestre e, portanto, num plano perpendicular à posição do satélite,  $z = 0$ , transformando-se a Equação III.2 na Equação III.3:

$$X^2 + y^2 = R_e^2$$

(III.3)

Para um satélite geoestacionário, como no nosso caso, o sentido de varredura da imagem é constante e, por esta razão, é possível associar à posição na imagem (coordenadas linha e coluna) à resolução de varredura nas direções “x” e “y”.

As coordenadas de latitude e longitude de um ponto na superfície da Terra, para um ângulo referenciado a partir do satélite, são dadas pelas Equações (III.4) e (III.5), respectivamente:

$$\varphi = \text{Sen}^{-1} [R_s \cdot dl / R_e]$$

(III.4)

$$\lambda = \text{Tan}^{-1} [ (R_s - R_l) \tan (dp) / R_l ]$$

(III.5)

Sendo:

$\varphi$  = Latitude de um ponto da superfície da Terra;

$\lambda$  = Longitude de um ponto da superfície da Terra;

$R_s$  = Distância entre o centro da Terra e o centro do satélite;

$dl$  = Produto do número de linhas da imagem pela resolução angular do sensor na direção “y”;

$dp$  = Produto do número de colunas da imagem pela resolução angular do sensor na direção “x”;

$R_e$  = Raio equatorial;

$R_l$  = Raio Local



O raio terrestre local em um ponto qualquer é calculado a partir da latitude do referido ponto, através da relação III.6:

$$R_l = R_p / \{ 1 - [R_e^2 - R_p^2 / R_e^2] \cos^2(\varphi) \}^{1/2}$$

**(III.6)**

Onde:

$\varphi$  = Latitude do ponto;

$R_p$  = Raio polar;

$R_e$  = Raio equatorial.

$R_e^2 - R_p^2 / R_e^2$  = Coeficiente de achatamento da Terra.

Os cálculos para obter os valores de latitude e de longitude, a partir das coordenadas linha e coluna da imagem, utiliza os seguintes dados <sup>(1)</sup>:

- Ângulo de varredura do radiômetro:  $0,00004 \pi$  radianos.
- Ângulo de varredura do satélite:  $0,00004 \pi$  radianos.
- Distância centro da Terra – centro do satélite: 42163,00 km.
- Raio equatorial: 6378,1690 km.
- Raio polar: 6356,5338 km.
- Colunas dos *pixels* da imagem: 1 – 2500.

---

<sup>(1)</sup> Valores nominais para os satélites da série METEOSAT, empregados pelo ESOC/ESA (*European Space Operation Center*).

- Linhas dos *pixels* da imagem: 1 – 2500.
- *Pixel* do ponto sub-satélite: linha 1250, 5 e coluna 1250,5.
- Latitude nominal do satélite: 0.0 (plano do equador).
- Longitude nominal do satélite: 75° W.
- Altitude do satélite: 35785,845 km.
- Coeficiente de achatamento do elipsóide: 0,003352291.

Observamos que para a conversão de radianos em graus de latitude e longitude utiliza-se o fator  $180/\pi$ , enquanto para a conversão inversa, isto é, de graus de latitude e longitude para radianos, usamos o fator  $\pi/180$ .

É importante ressaltar que o algoritmo foi desenvolvido para ser aplicados a pontos da superfície da Terra no nível do mar, assim, conforme Marques, *op. cit.*, para a análise da cobertura de nuvens há a introdução do efeito de paralaxe, o que produz um erro estimado da ordem de 0,2 *pixels* por quilômetro de elevação próximo ao horizonte.

Salientamos, ainda, que a implementação dos cálculos deve ser levada a cabo diretamente nas imagens tal como são recebidas pelo INPE, ou seja, dotadas de 2500 linhas por 2500 colunas.

Por fim, sobre o algoritmo desenvolvido por D'Alge & Freitas, temos a informar que o mesmo transformou-se em linhas de código de duas subrotinas do software SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas, programa do tipo SIG (Sistema de Informações Geográficas) desenvolvido e distribuído gratuitamente pelo INPE.

### III.4 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A RESOLUÇÃO ESPACIAL

As imagens utilizadas nesta dissertação podem ser agrupadas em três conjuntos distintos: Meteosat-3, Meteosat-5 e GOES-8. Porém, todas elas têm em comum o fato de terem sido obtidas junto ao INPE, sendo, portanto, submetidas a uma sistemática de distribuição semelhante, embora provenientes de satélites diferentes. O processo implementado às imagens antes de sua distribuição aos usuários finais inclui o “registro” das imagens, o que garante que um determinado *pixel* de uma imagem representa exatamente a mesma área geográfica imageada pelo *pixel* correspondente de uma outra imagem pertencente ao mesmo conjunto de imagens.

As imagens obtidas via *internet* passam por um processo de “amostragem” antes de serem disponibilizadas aos usuários deste tipo de mídia. Este processo, em linhas gerais, constitui-se em representar um grupo de *pixels* próximos, com valores de contagem radiométrica também semelhantes, por um único *pixel*, o qual carrega consigo valores tais que o tornam o legítimo representante daquela região, tanto no aspecto do georeferenciamento (valores de linha e coluna), quanto no relativo à contagem radiométrica. No nosso caso, os conjuntos de imagens com que trabalhamos possuíam, originalmente, 2500 linhas por 2500 colunas, cuja resolução espacial sub-satélite (IFOV) era de cerca de 5 km. O processo de amostragem foi nelas implementado através de “janelas” de 5 *pixels* por 5 *pixels*, resultando em imagens de 512 linhas por 512 colunas. A resolução sub-satélite, obviamente, altera-se com este processo, passando a ser de cerca de 25 km.

As informações possíveis de serem depuradas nas imagens por nos trabalhadas, portanto, situam-se na faixa da meso-escala, o que certamente torna impraticável a identificação inequívoca de possíveis locais candidatos a sítios astronômicos. Contudo, vale

lembrar, que o objetivo desta dissertação é a seleção de amplas regiões que incluam estes locais, e não apontá-los definitivamente, o que torna as imagens, mesmo em meso-escala, úteis aos nossos propósitos. Além do mais, a metodologia proposta poderá ser aplicada a imagens em micro-escala, com melhor resolução espacial, como as do satélite NOAA, atualmente captadas pela antena instalada no CEPSRM, alvo dos estudos desenvolvidos por Mazzuca Júnior (1999).

### **III.5 – SOBRE A COBERTURA DE NUVENS**

#### **III.5.1 – DEFINIÇÃO**

Define-se “nuvem”, conforme Bleeker *apud* Marques (1996), como um conjunto de partículas de água líquida ou de gelo, ou ambos, em suspensão na atmosfera. Podemos observá-las desde o nível do solo até o limite superior da troposfera (cerca de 18km) e o aspecto que apresentam está intimamente relacionado à natureza do movimento vertical a que estão submetidas. Tais movimentos poderão em algumas circunstâncias ocasionar precipitações.

#### **III.5.2 – CLASSIFICAÇÃO E FORMAÇÃO DAS NUVENS**

Observando-se as nuvens, podemos distinguir três tipos principais: cumuliforme, estratiforme e cirriforme.

O primeiro tipo subdivide-se em cúmulos, cúmulo-nimbos, estratocúmulos e altocúmulos, enquanto as do grupo estratiforme englobam as nuvens classificadas como

estratos, altoestratos e nimboestratos. As nuvens do tipo Cirriformes particionam-se em cirros, cirrocúmulos e cirroestratos.

As nuvens do tipo cirriformes apresentam-se com aparência fibrosa, as do tipo estratiformes mostram-se em camadas, enquanto que as nuvens do tipo cumuliformes aparecem como se estivessem em pilhas.

Quando à formação das nuvens, resumidamente, podemos dizer que está atrelada a processos físicos, como a turbulência mecânica, devido ao atrito, e à convecção térmica, além de aspectos ligados ao relevo, como a ascensão orográfica.

### III.5.3 – CARACTERÍSTICAS DAS NUVENS

A Tabela III.2 a seguir, obtida de Marques (1996), apresenta algumas das características das nuvens.

**Tabela III.2 - Características das nuvens**

<b>Tipos de Nuvens</b>	<b>Duração (vida)</b>	<b>Velocidade Vertical</b>	<b>Conteúdo de Água</b>	<b>Espessura</b>
Nevoeiro	2 - 6 horas	0,01 ms <sup>-1</sup>	0,05 - 0,2 gm <sup>-3</sup>	100 m
Estratos Estratocúmulos	6 - 12 horas	0,1 ms <sup>-1</sup>	0,05 - 0,25 gm <sup>-3</sup>	1000 m
Cúmulos	1 - 30 minutos	3 ms <sup>-1</sup>	0,3 - 1,0 gm <sup>-3</sup>	1500 m
Cúmulos Congestus	20 - 45 minutos	10 ms <sup>-1</sup>	0,5 - 2,5 gm <sup>-3</sup>	5000 m
Cumulonimbos	45 min - 3 horas	30 ms <sup>-1</sup>	1,5 - 4,5 gm <sup>-3</sup>	12000 m

### III.5.4 – RELAÇÃO ENTRE COBERTURA DE NUVENS E CONTAGEM DIGITAL

Nas imagens captadas pelo satélite, a análise da cobertura de nuvens é apropriadamente realizada na banda do infravermelho, em razão das nuvens comporem-se essencialmente de água. Assim as regiões mais escuras, representadas por contadores digitais (cd) de valores baixos, são áreas com baixas reflectâncias e maiores temperaturas e, portanto, desprovidas de nuvens, conforme Marques (1996).

As nuvens, neste tipo de imagem de satélite, aparecem com um tom que vai desde o claro até branco total, correspondendo, pois, a altos valores de contador digital. Portanto, uma simples análise visual das imagens permite-nos constatar a presença, ou não, de nuvens.

Entretanto, uma análise quantitativa da cobertura de nuvens, alicerçada apenas no exame visual das imagens, é extremamente difícil, se não impossível, haja vista as dificuldades que o olho humano tem em distinguir valores de contador digital muito próximos. Por este motivo, vários trabalhos já foram desenvolvidos neste sentido, alguns deles baseados na temperatura do topo das nuvens e no albedo, como o de Marques, *op. cit.*, cujo objetivo era a classificação das nuvens através de imagens de satélite, enquanto outros relacionam observações da cobertura de nuvens efetuadas a partir da superfície da terra, em geral realizadas por postos de observação meteorológica, com os valores do contador digital lidos nas imagens de satélite, como o trabalho de Leitão (1993), direcionado para a Astrometeorologia.

Os estudos de Leitão, *op. cit.*, levaram-nos a concluir que valores de contador digital entre 88 e 93 corresponde a um céu com cobertura de nuvens da ordem de 30%. O mesmo autor estabelece como critério de trabalho o valor de contagem digital 93, valor que também adotamos nesta dissertação. Deste modo, o valor de contador digital 93 demarca a fronteira

entre um céu com nebulosidade menor que 30% e o céu com cobertura de nuvens maior do que 30%.

### **III.6 – CONDIÇÕES OBSERVACIONAIS EM UM SÍTIO ASTRONÔMICO**

A otimização das condições observacionais de um sítio astronômico está limitada pelo crepúsculo e o regime climático da região e diretamente relacionada à claridade do céu noturno e à quantidade de noites fotométricas e/ou úteis.

#### **III.6.1 - O CREPÚSCULO E O REGIME CLIMÁTICO**

A etimologia da palavra crepúsculo está associada à claridade que antecede o nascer do Sol ou estende-se após o seu ocaso. Define-se, porém, *crepúsculo astronômico* como o intervalo de tempo que o Sol leva para percorrer  $18^\circ$  antes da linha do horizonte, ao nascer, ou o mesmo ângulo, após o ocaso, abaixo do horizonte local. Deste modo, a duração do crepúsculo astronômico varia conforme a latitude do local e a data da observação, sendo, entretanto, facilmente calculado consultando-se as efemérides astronômicas.

Quanto ao regime climático da região em que centramos nossos estudos, reportamo-nos ao tópico I.8 do capítulo I desta dissertação, onde o assunto foi amplamente discutido.

#### **III.6.2 - A CLARIDADE DO CÉU**

A claridade do céu noturno de um local depende basicamente de dois fatores: a presença da Lua na abóbada celeste e a radiação difusa oriunda da iluminação artificial das cidades.

A presença da Lua é uma condição inerente às observações astronômicas, sendo, obviamente, o período de lua nova o mais adequado a estas atividades. Contrapõem-se a este período o da lua cheia, enquanto as fases crescente e minguante ocupam posições intermediárias. Contudo, dado à previsibilidade de ocorrências das fases lunares, tais problemas é facilmente evitado com a escolha correta das datas em que serão efetuadas as observações.

A questão da radiação difusa oriunda da iluminação artificial das grandes cidades, também referenciado como poluição ou contaminação luminosa, é um problema recente da Astronomia e que começou a agravar-se em meados deste século. O crescimento vertiginoso dos grandes conglomerados urbanos e a falta de critérios técnicos adequados à instalação e operação de sistemas de iluminação pública que servem estas populações são os grandes responsáveis por este problema. O crescimento populacional e a sua distribuição racional são problemas político-sociais de intrincada solução e que escapam a nossos objetivos, no entanto a normalização de sistemas públicos de iluminação é uma questão que diz respeito diretamente à Astronomia, constituindo-se, atualmente, no principal fator que leva um sítio astronômico consagrado à deterioração. Por fim, observamos que a questão da poluição luminosa já foi detidamente tratado nesta dissertação, no tópico I.2 do capítulo I.

### **III.6.3 - NOITES FOTOMÉTRICAS**

Um bom sítio astronômico deve possuir uma alta percentagem de noites fotométricas e/ou de noites uteis.

Define-se uma *noite fotométrica*, conforme o Facilities Manual do CTIO (1977), como aquela que apresenta 6 ou mais horas consecutivas de céu límpido, isto é, sem qualquer



nuvem. O mesmo manual caracteriza uma *noite útil* como a que possui cobertura de nuvens de até 3/8 do céu, também, por 6 ou mais horas contínuas.

Ressaltamos que, conforme Walker (1973), regiões com baixa cobertura de nuvens, em geral, localizam-se entre as latitudes de 20° até 40°.

### **III.7 – O PROCESSAMENTO DAS IMAGENS**

Os objetivos de nossa pesquisa exigem que o banco de imagens que obtivemos ao longo de nosso trabalho, cerca de 500 imagens, seja condensado em algumas poucas imagens. Assim, necessitamos estabelecer critérios de processamento das imagens que façam com que as imagens resultantes carreguem consigo os dados relevantes para o nosso trabalho, ou seja, as informações referentes às coordenadas geográficas e à cobertura de nuvens.

#### **III.7.1 – QUANTO ÀS COORDENADAS GEOGRÁFICAS**

Quanto às informações referentes às coordenadas geográficas, temos a garantia de que as imagens resultantes serão fidedignas às imagens que representam, uma vez que todas as imagens do nosso banco de dados são provenientes do INPE e, antes de serem distribuídas, são “registradas” entre si, ou seja, a relação linha/coluna de cada *pixel* de uma imagem com as coordenadas geográficas é a mesma em todas as imagens.

A navegação nas imagens resultantes, então, será implementada utilizando-se o algoritmo descrito neste capítulo, o que pode ser feito, também, diretamente no *software* SPRING, visto que tal programa inclui sub-rotinas com o dito algoritmo.

### III.7.2 – CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DA COBERTURA DE NUVENS

A taxa de cobertura de nuvens é elemento central deste trabalho. Por um lado, já foi apontado que estudos de sítios astronômicos são fortemente baseados em séries temporais de dados, o que implica em grande quantidade de informação. Por outro lado, a diferenciação, em uma imagem de satélite, entre as situações “nuvem” e “solo”, com os casos intermediários, pode receber tratamentos diversos, desde alguns extremamente complexos, incluindo determinações de reflectâncias e correlações com assinaturas espectrais, até soluções mais simples, baseadas em contagens digitais. No caso de bancos de dados como os que temos neste trabalho (aproximadamente 500 imagens), soluções complexas são inviáveis frente ao tempo proposto para a execução do projeto. Trabalhos anteriores (Leitão, 1993) já mostraram a viabilidade do tratamento da questão da visibilidade do solo, via contagens digitais. A possibilidade de soma *pixel a pixel* de imagens é extremamente adequada no presente caso de uma grande banco de imagens, e foi o caminho aqui escolhido.

Todas as imagens de nosso banco de dados possuem resolução radiométrica de 8 bits, o que significa que são dotadas de  $2^8$  (256) níveis de cinza, ou seja, o valor do contador digital (cd) oscila numa faixa que se inicia em “0” e se estende até “255”. Assim, as imagens resultantes não poderão ser simplesmente a “soma”, *pixel a pixel*, das imagens componentes, pois agindo deste modo faríamos com que cada *pixel* da imagem resultante se aproximasse perigosamente do valor de contagem digital 255, ocorrendo o *overflow* da imagem-resultado. Por esta razão, optamos por efetuar a média aritmética, *pixel a pixel*, das imagens.

Esta operação, se por um lado soluciona o problema do *overflow* dos *pixels* na imagem resultante, por outro lado gera uma outra questão. Como analisar um *pixel* da imagem-resultado cujo cd é 94, por exemplo? Se este valor se referisse ao *pixel* de uma única imagem, pelos critérios antes especificados, saberíamos que o mesmo representa uma área cuja

cobertura de nuvens é maior do que 30%, todavia, como o *pixel* é a média aritmética do *pixel* correspondente de várias imagens, não podemos interpretá-lo deste modo. Neste trabalho, a solução adotada foi apresentar um estudo comparativo dos *pixels* da imagem-resultado, apontando aqueles de menor valor de contador digital, que, portanto, representam as áreas cuja média da cobertura de nuvens foi menor, em contraposição àqueles de maior cd, que, por consequência, correspondem às áreas de média maior de cobertura de nuvens, suscetíveis, pois, de possuírem menor quantidade de noites fotométricas.

### **III.7.3 – CRITÉRIOS TEMPORAIS DAS IMAGENS-RESULTADO**

O nosso banco de dados contém imagens que cobrem o período de setembro de 1994 a dezembro de 1994, correspondendo, pois, à primavera daquele ano.

Possuímos, também, imagens que se estendem de março de 1995 até setembro de 1995, portanto, relativas ao outono e inverno daquele ano.

As demais imagens que compõem o nosso acervo começam em outubro de 1998 e vão até junho de 1999, cobrindo, deste modo, a primavera de 1998, o verão 1998-1999 e o outono de 1999.

Como critério temporal para a média da cobertura de nuvens, procuramos cobrir, embora de forma segmentada, todas as estações do ano, produzindo imagens-resultado mês a mês, dentro de cada estação, e apresentando estudo comparativo dos *pixels* da imagem resultante, em especial para a região do Rio Grande do Sul, embora as imagens-resultado reportem-se a todo o Brasil e, em alguns casos, à parte da América do Sul.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

---

#### IV.1 – IMAGENS RESULTANTES OBTIDAS

As imagens-resultado que obtivemos, que expressam a média da cobertura de nuvens, estão especificadas na Tabela IV.1, a seguir.

**Tabela IV.1 – Imagens médias resultantes**

<b>Ano</b>	<b>Mês</b>	<b>Nº de imagens</b>	<b>Satélite</b>
1994	Setembro	23	Meteosat-3
1994	Outubro	22	Meteosat-3
1994	Novembro	11	Meteosat-3
1994	Dezembro	11	Meteosat-3
1995	Março	15	Meteosat-3
1995	Abril	20	Meteosat-3
1995	Maio	22	Meteosat-3
1995	Julho	29	Meteosat-5

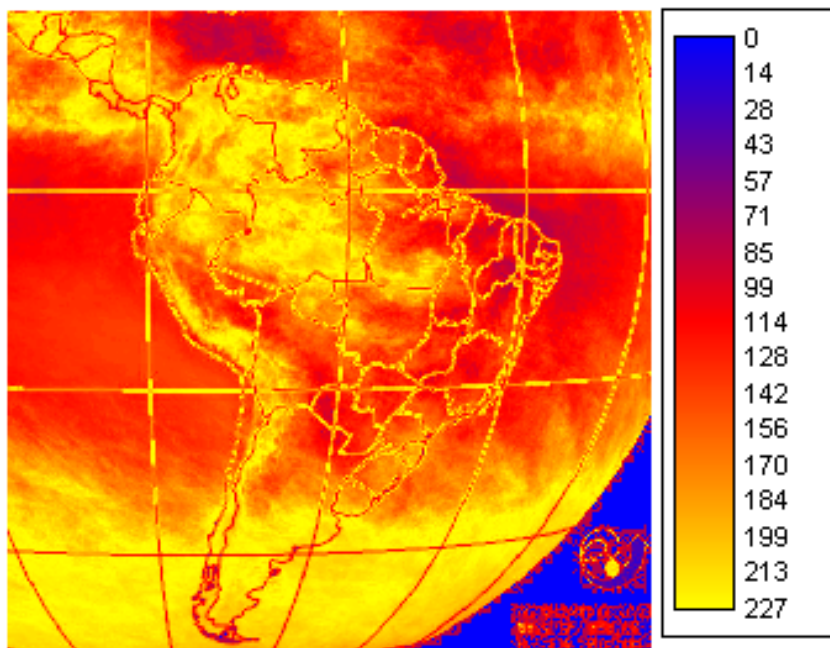
Ano	Mês	Nº de imagens	Satélite
1995	Agosto	29	Meteosat-5
1995	Setembro	23	Meteosat-5
1998	Outubro	30	Goes-8
1998	Novembro	30	Goes-8
1998	Dezembro	30	Goes-8
1999	Janeiro	29	Goes-8
1999	Fevereiro	28	Goes-8
1999	Março	31	Goes-8
1999	Abril	30	Goes-8
1999	Maiο	31	Goes-8
1999	Junho	28	Goes-8

A implementação dos cálculos dos *pixels* médios que constituem a imagem-resultado foi efetuada automaticamente através do *software* IDRISI, versão 3.2, produto resultante do *The Idrisi Project* do *Clark Labs*, centro de pesquisa conjunto do *George Perkins Marsh Institute* e *Clark University*. Utilizou-se, especificamente, a sub-rotina *Analysis/Mathematical Operators/Image Calculator*.

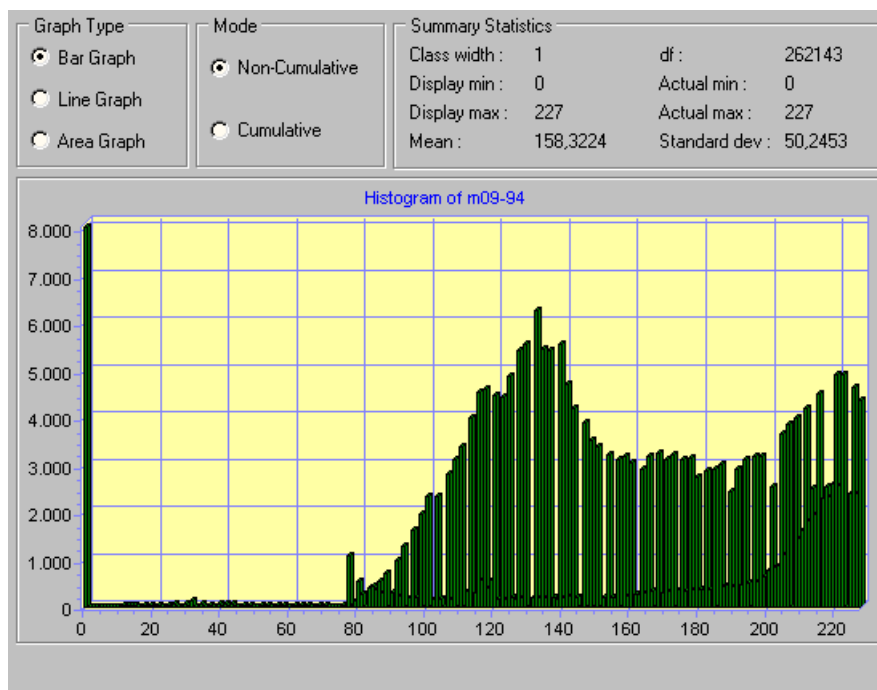
#### IV.2 – IMAGENS-RESULTADO OBTIDAS – ESCALA CONTINENTAL

As Figuras IV.1 a IV.37, ímpares, expressam a média da cobertura de nuvens em escala continental, mês a mês, no período analisado. Cada imagem é acompanhada do seu respectivo histograma, representado nas Figuras IV.2 a IV.38, pares.

## Setembro 1994

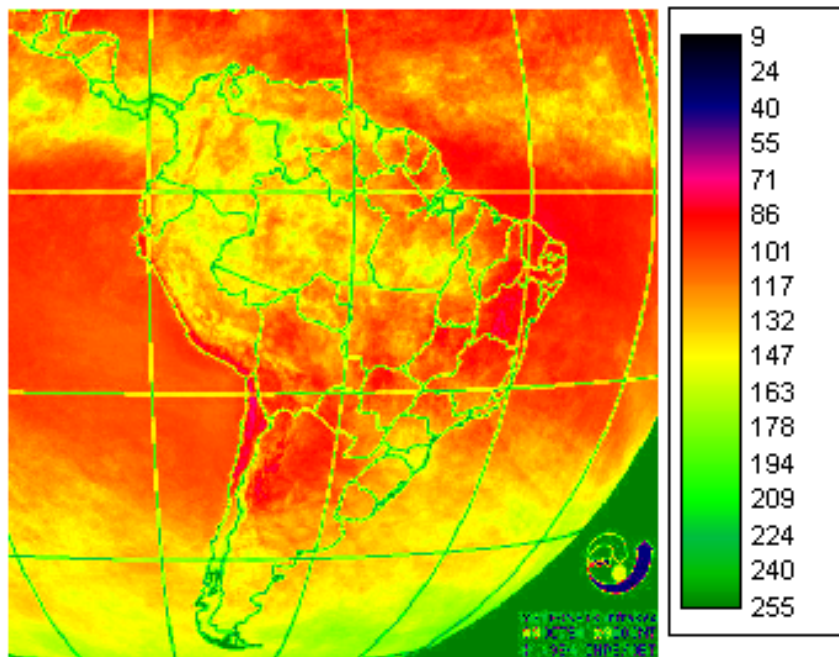


**Figura IV.1 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de setembro/1994**

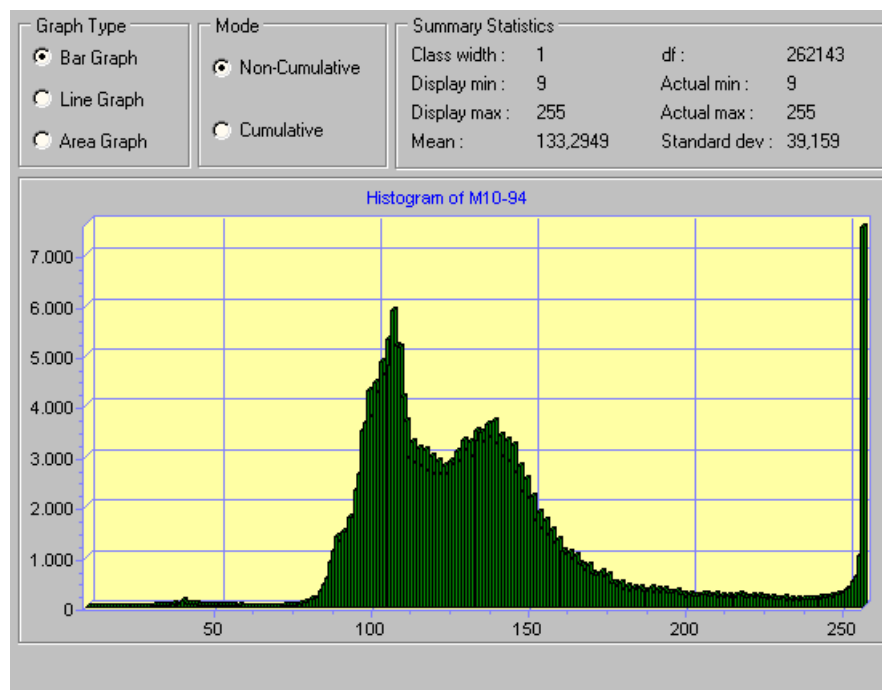


**Figura IV.2 – Histograma da imagem resultante de setembro/1994**

## Outubro 1994

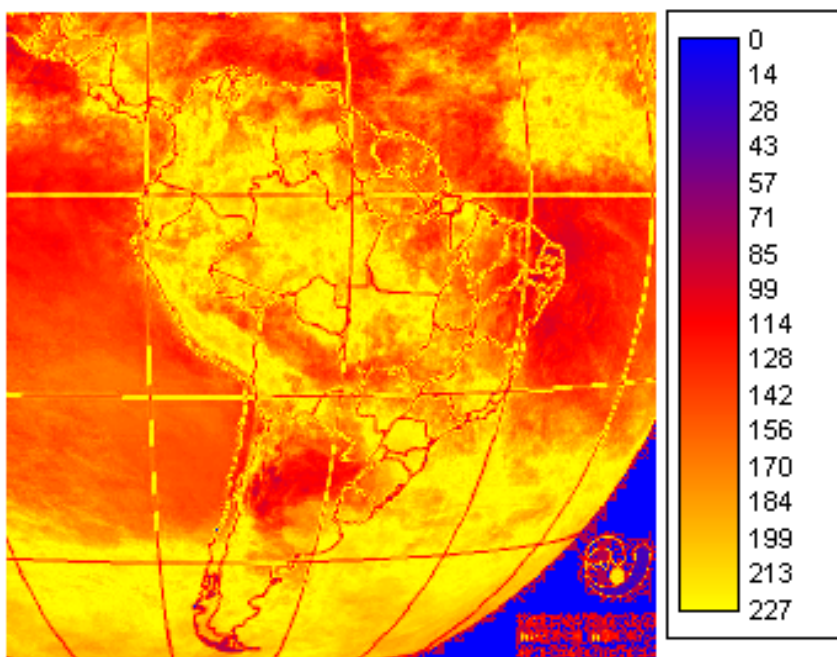


**Figura IV.3 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de outubro/1994**

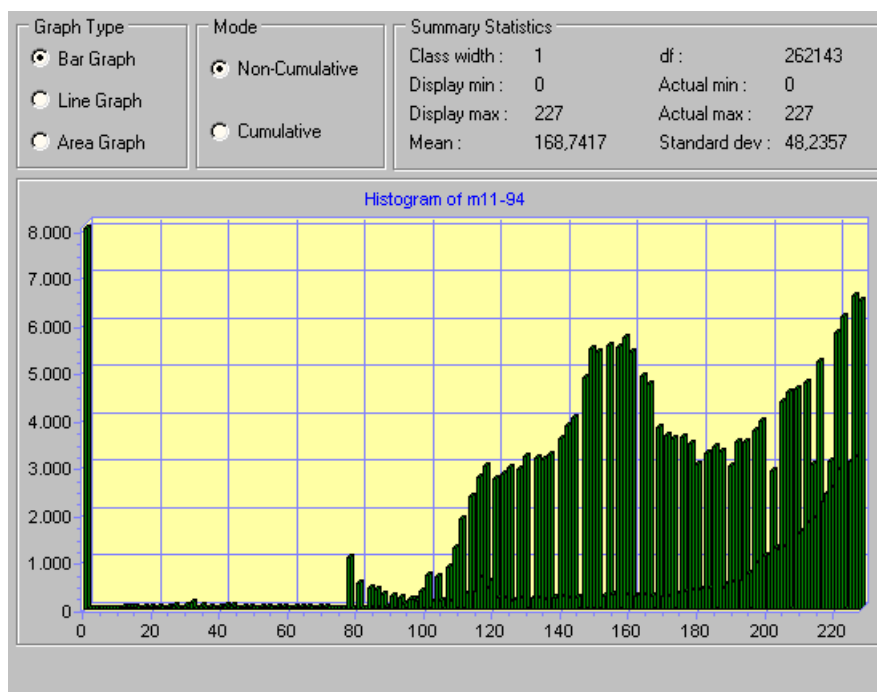


**Figura IV.4 – Histograma da imagem resultante de outubro/1994**

## Novembro 1994



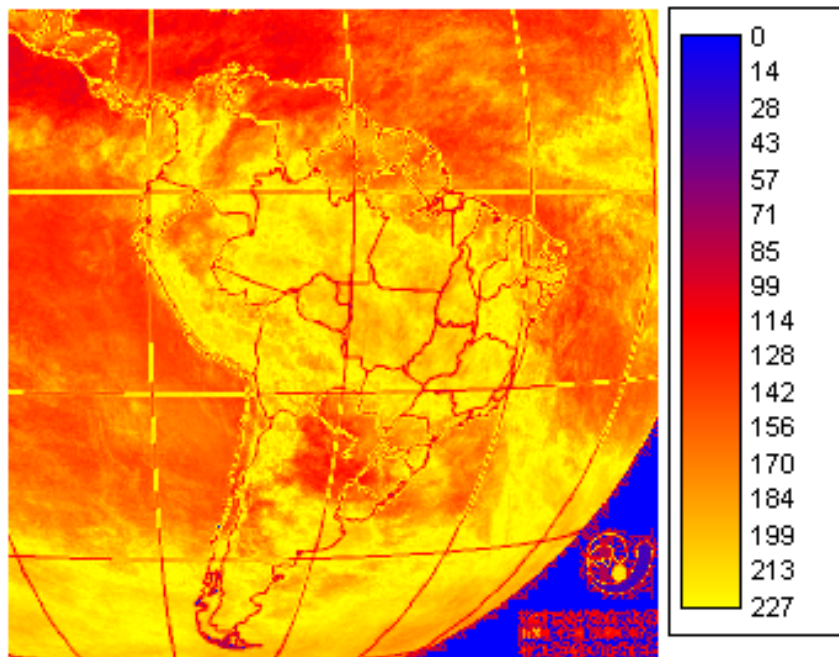
**Figura IV.5 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de novembro/1994**



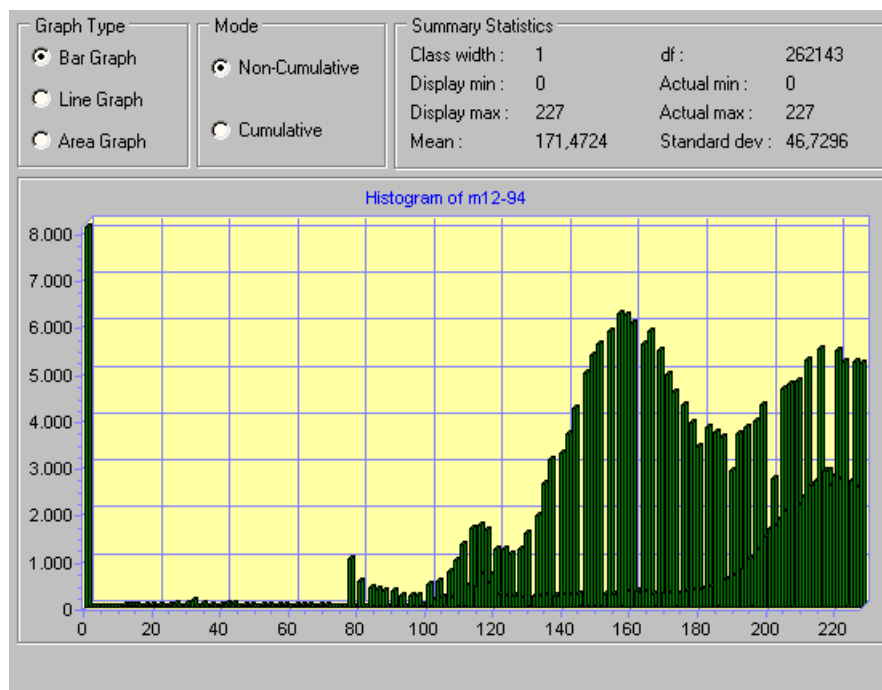
**Figura IV.6 – Histograma da imagem resultante de novembro/1994**



### Dezembro 1994



**Figura IV.7 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de dezembro/1994**



**Figura IV.8 – Histograma da imagem resultante de dezembro/1994**

## Março 1995

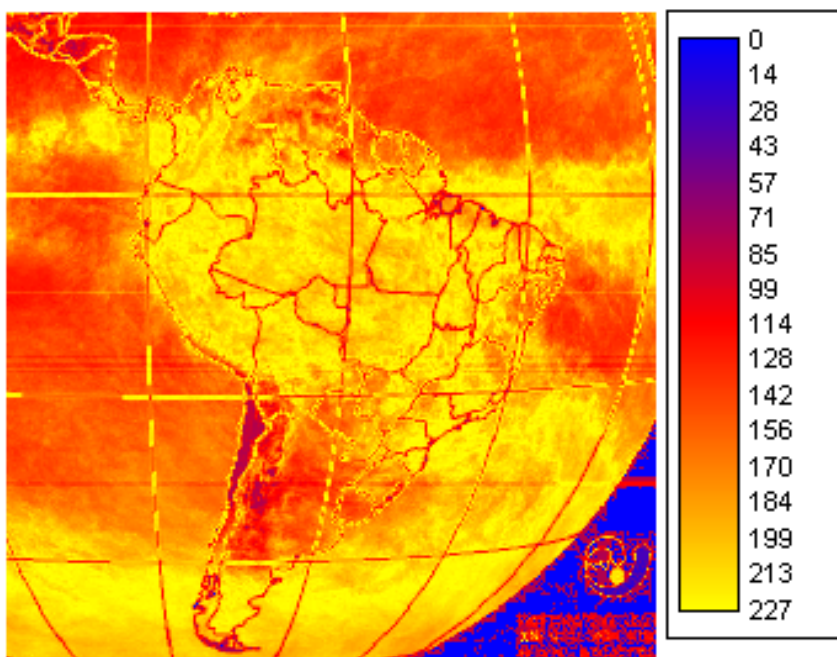


Figura IV.9 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de março/1995

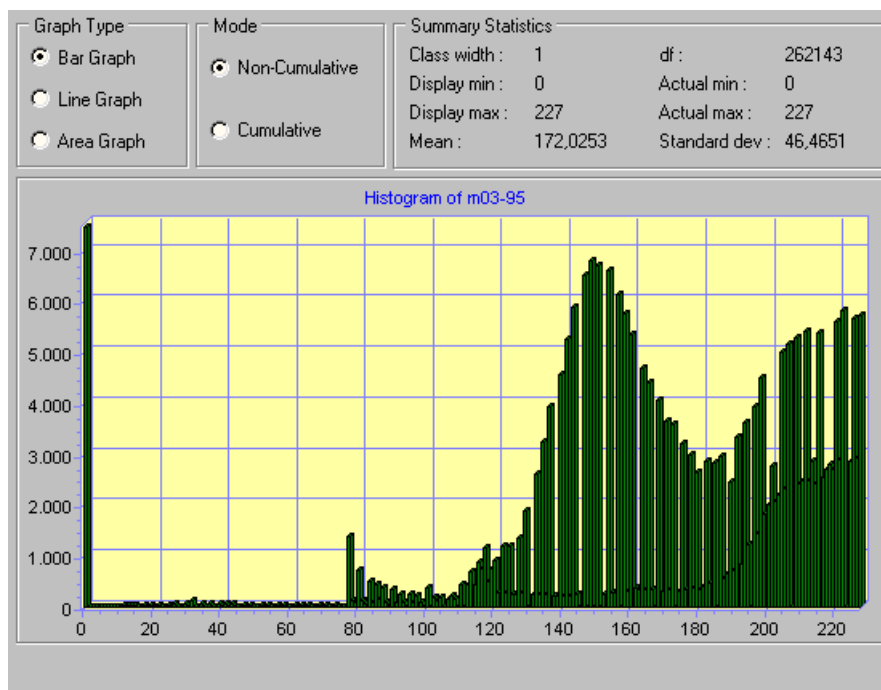
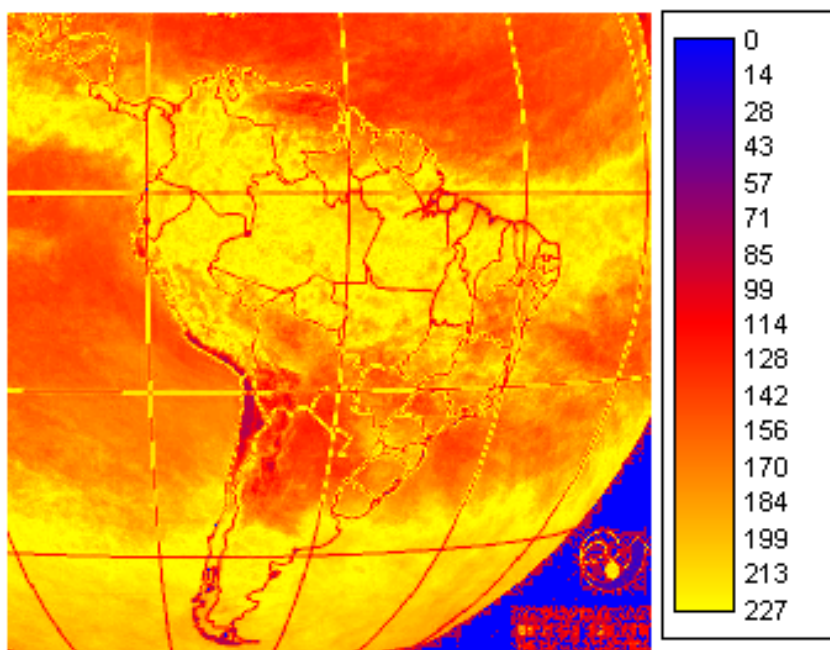
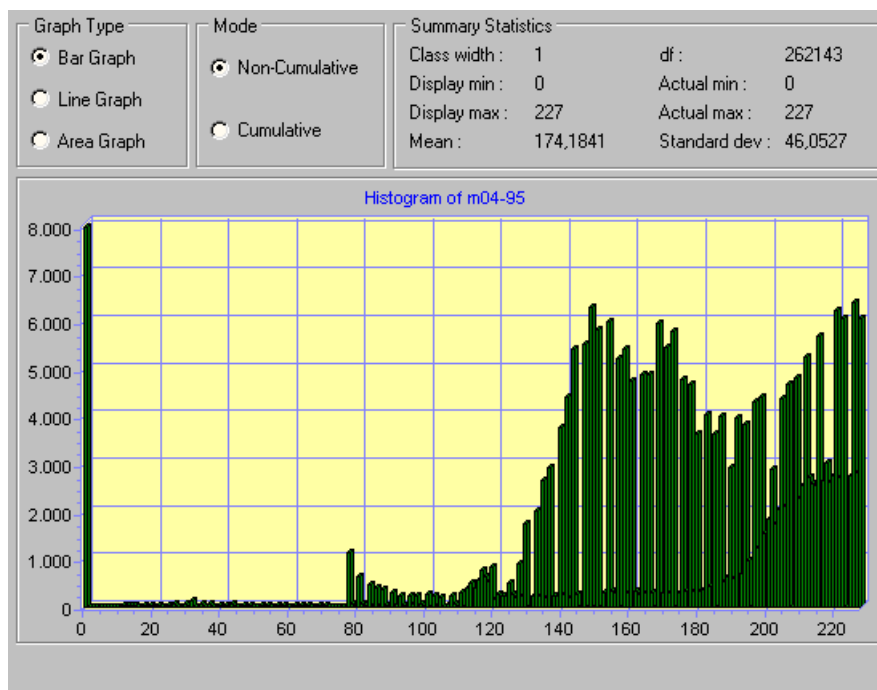


Figura IV.10 – Histograma da imagem resultante de março/1995

**Abril 1995**

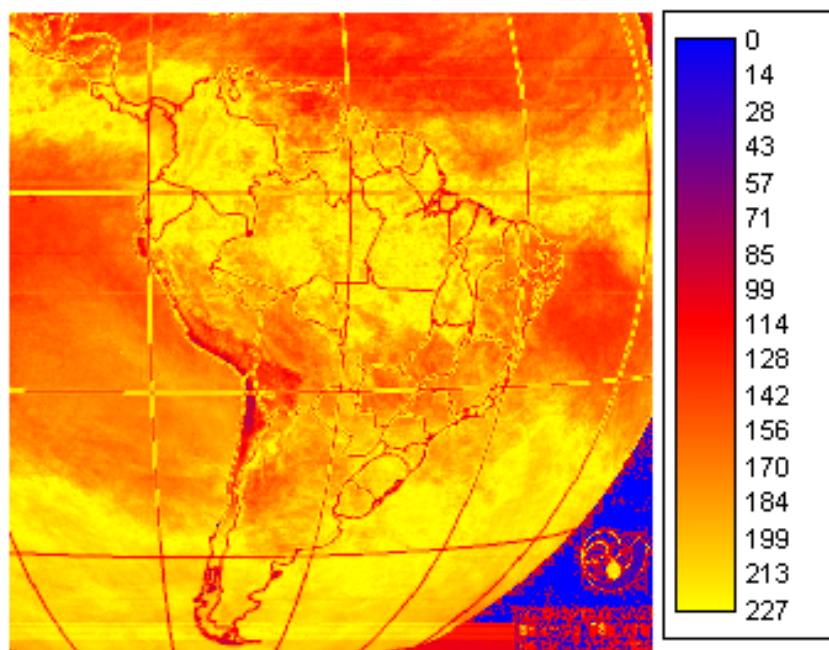


**Figura IV.11 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de abril/1995**

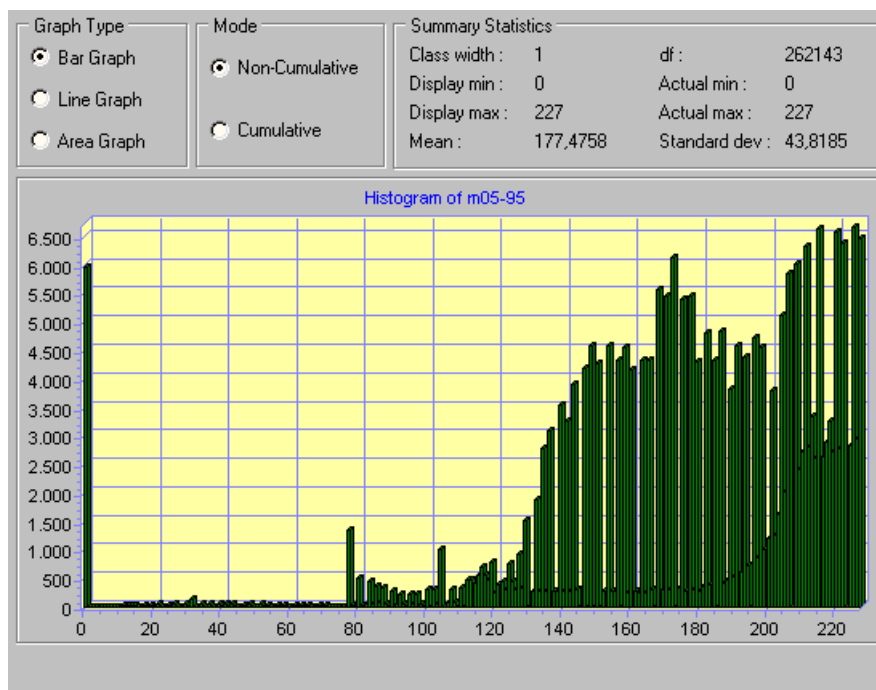


**Figura IV.12 – Histograma da imagem resultante de abril/1995**

## Maio 1995



**Figura IV.13 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de maio/1995**



**Figura IV.14 – Histograma da imagem resultante de maio/1995**

Julho 1995

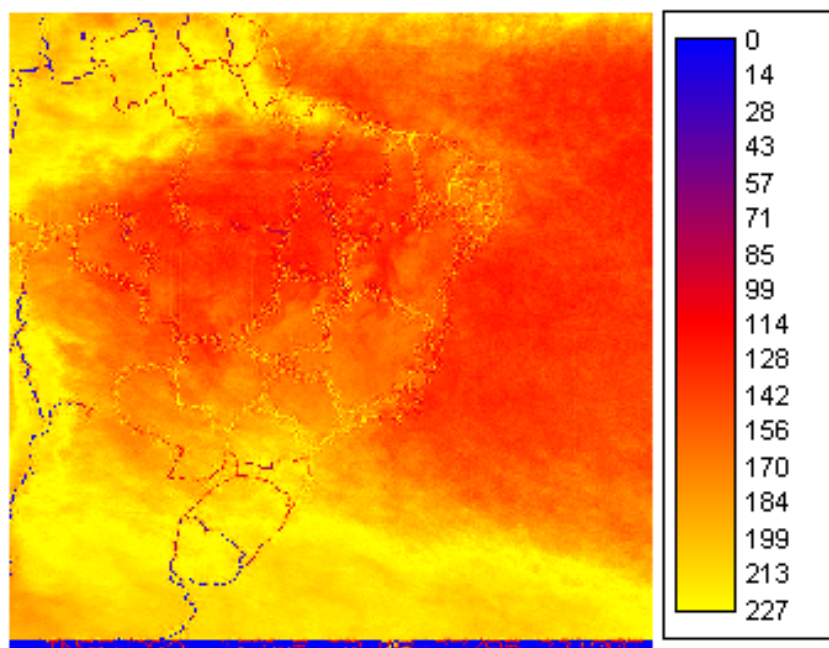


Figura IV.15 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de julho/1995

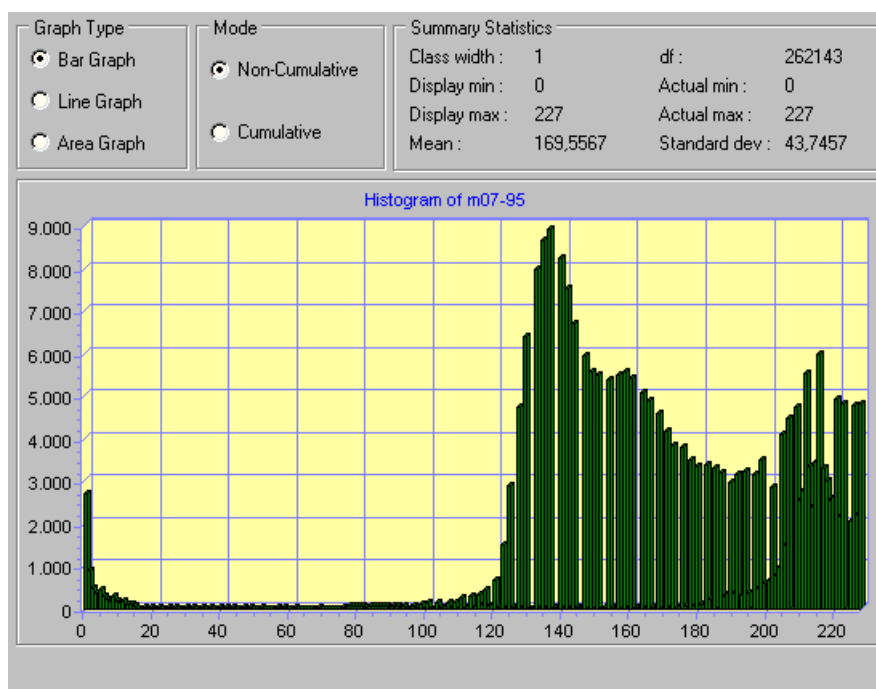
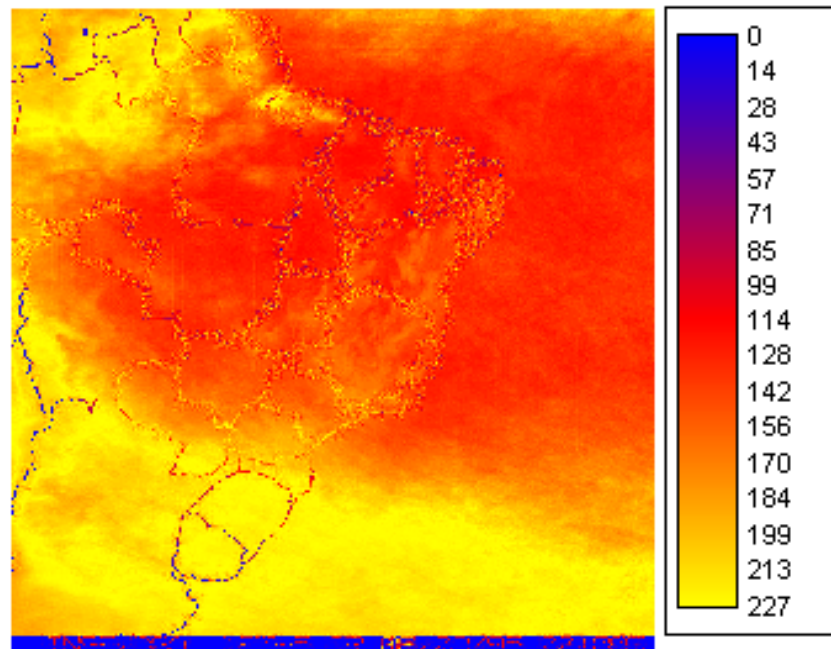
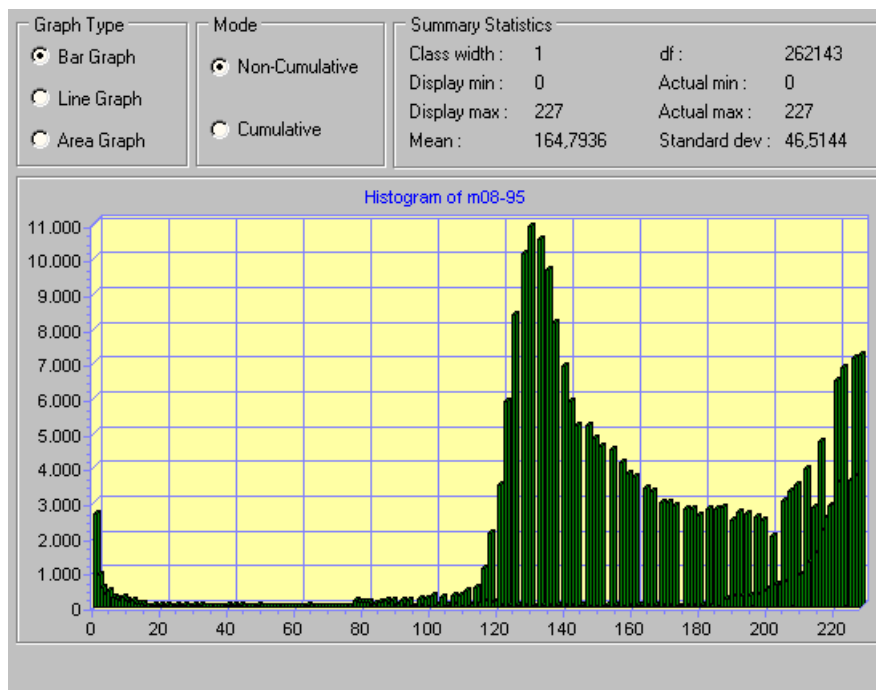


Figura IV.16 – Histograma da imagem resultante de julho/1995

## Agosto 1995

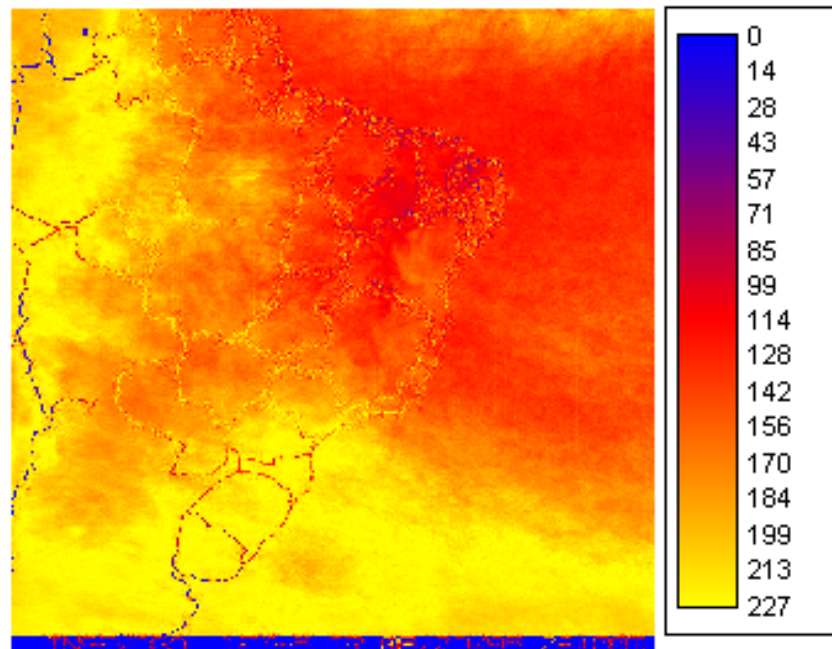


**Figura IV.17 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de agosto/1995**

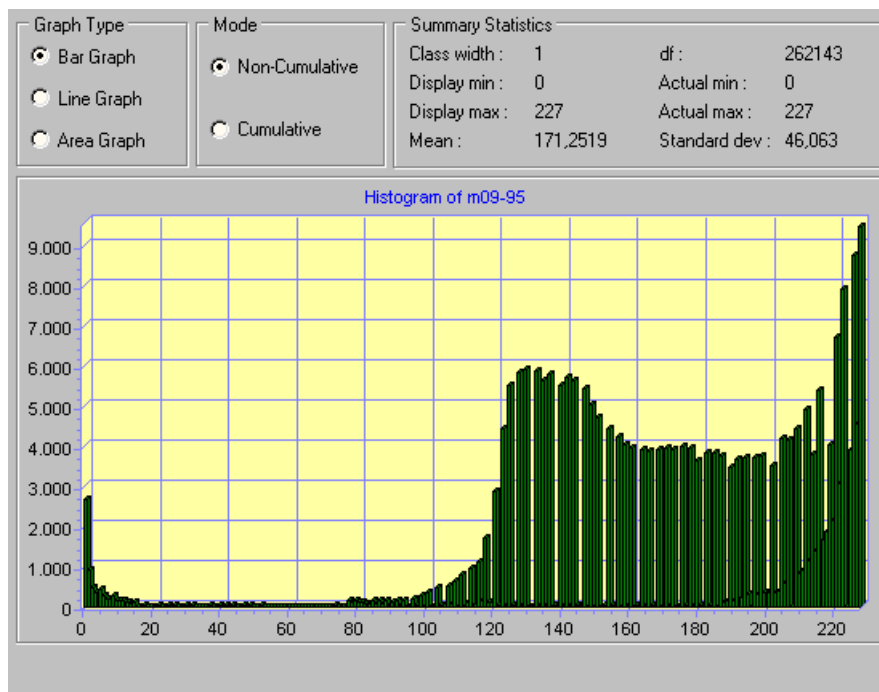


**Figura IV.18 – Histograma da imagem resultante de agosto/1995**

## Setembro 1995



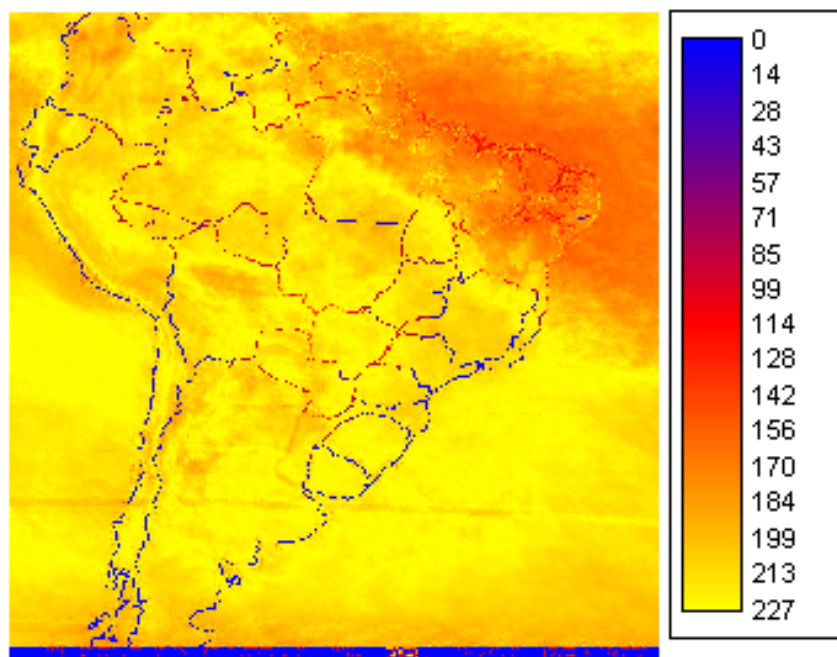
**Figura IV.19 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - setembro/1995**



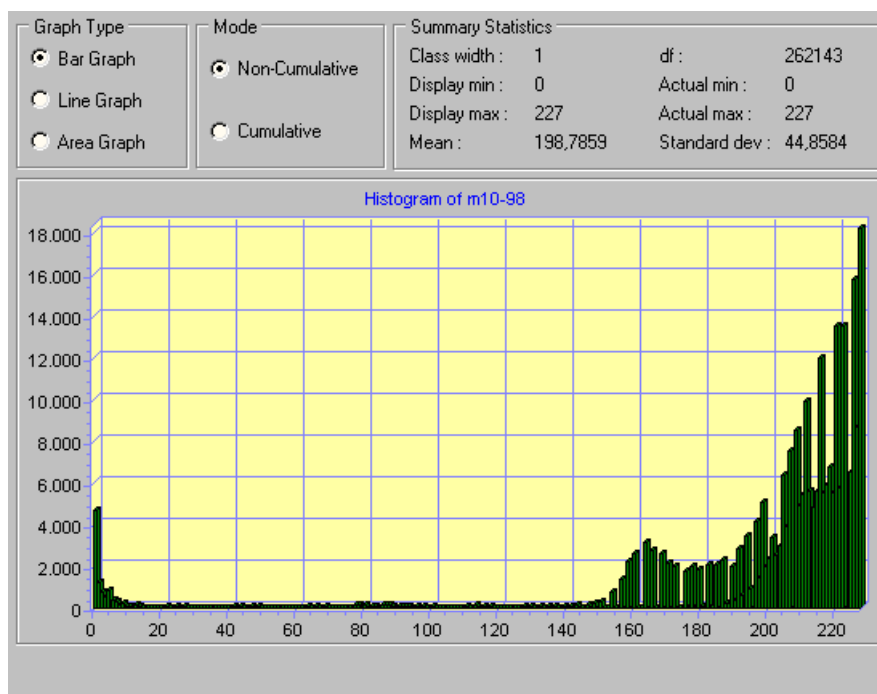
**Figura IV.20 – Histograma da imagem resultante de setembro/1995**



## Outubro 1998



**Figura IV.21 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - outubro/1998**



**Figura IV.22 – Histograma da imagem resultante de outubro/1998**



## Novembro 1998

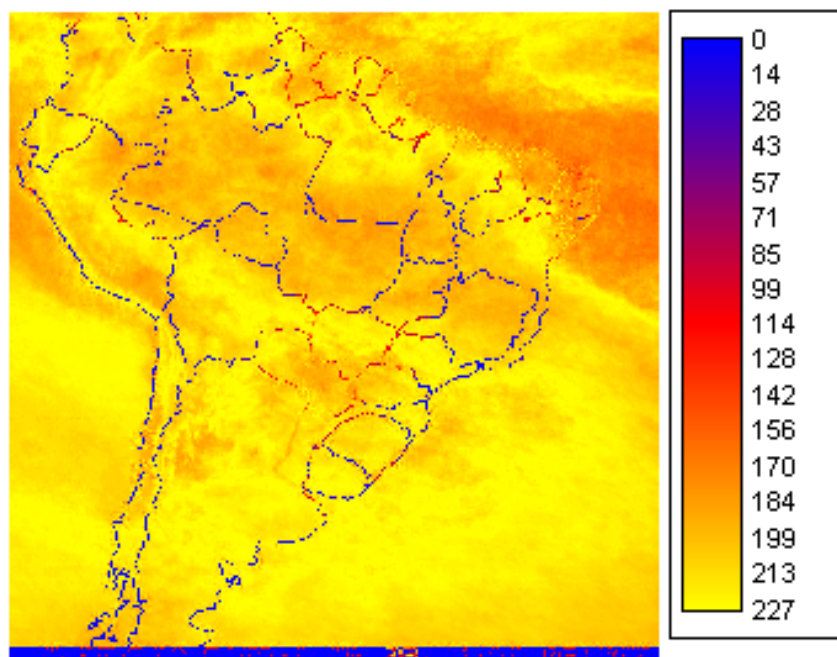


Figura IV.23 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - novembro/1998

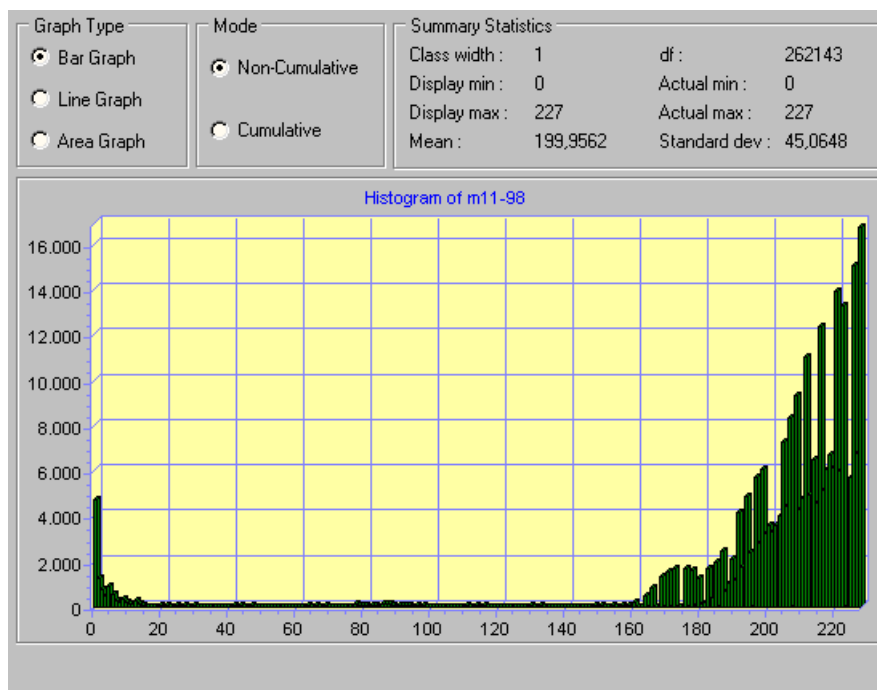


Figura IV.24 – Histograma da imagem resultante de novembro/1998

### Dezembro 1998

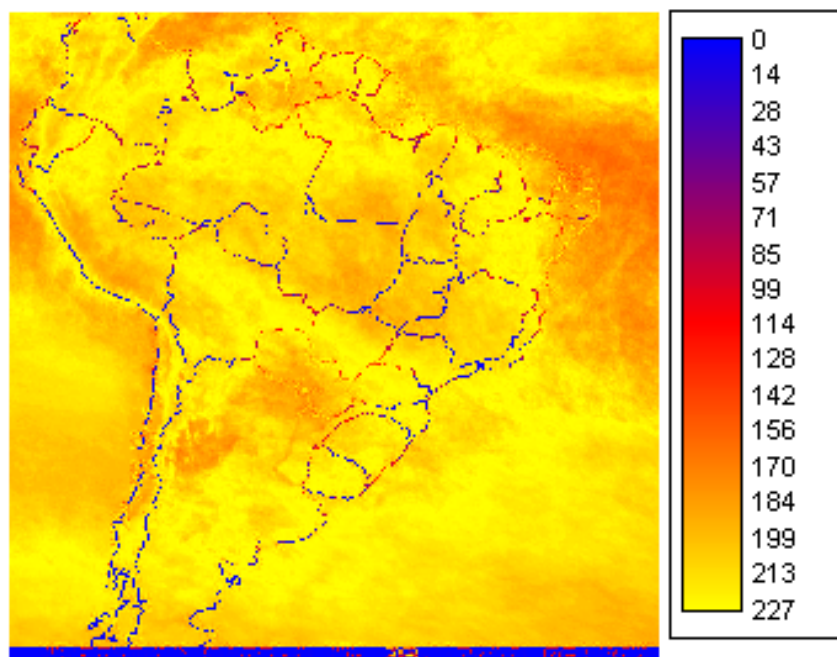


Figura IV.25 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - dezembro/1998

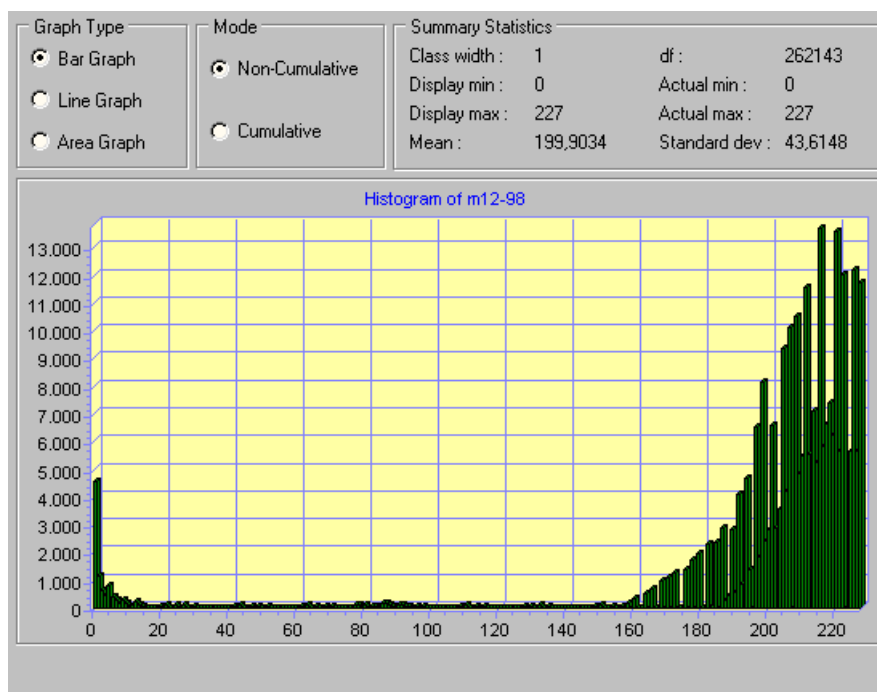


Figura IV.26 – Histograma da imagem resultante de dezembro/1998

## Janeiro 1999

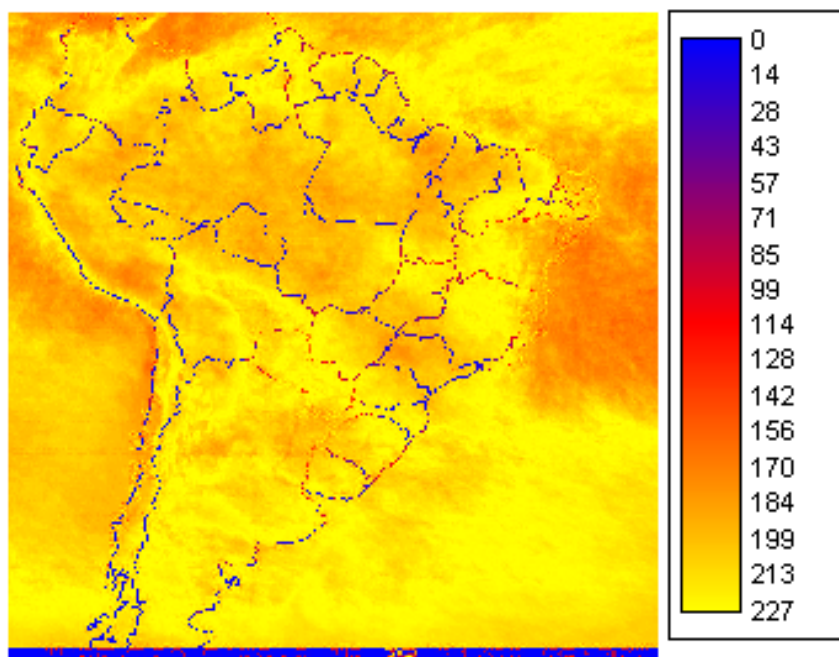


Figura IV.27 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - janeiro/1999

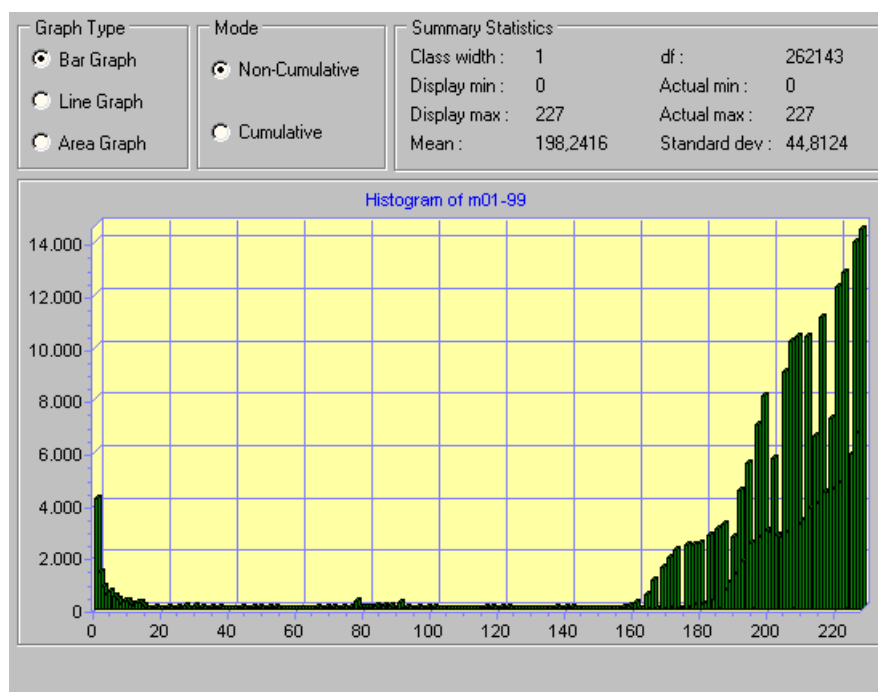
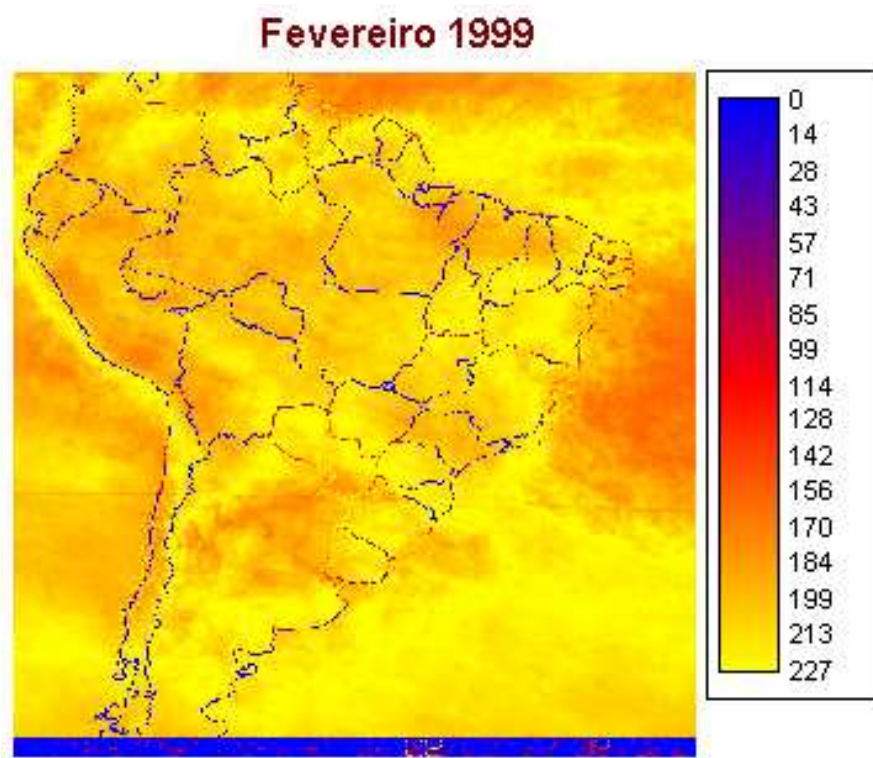
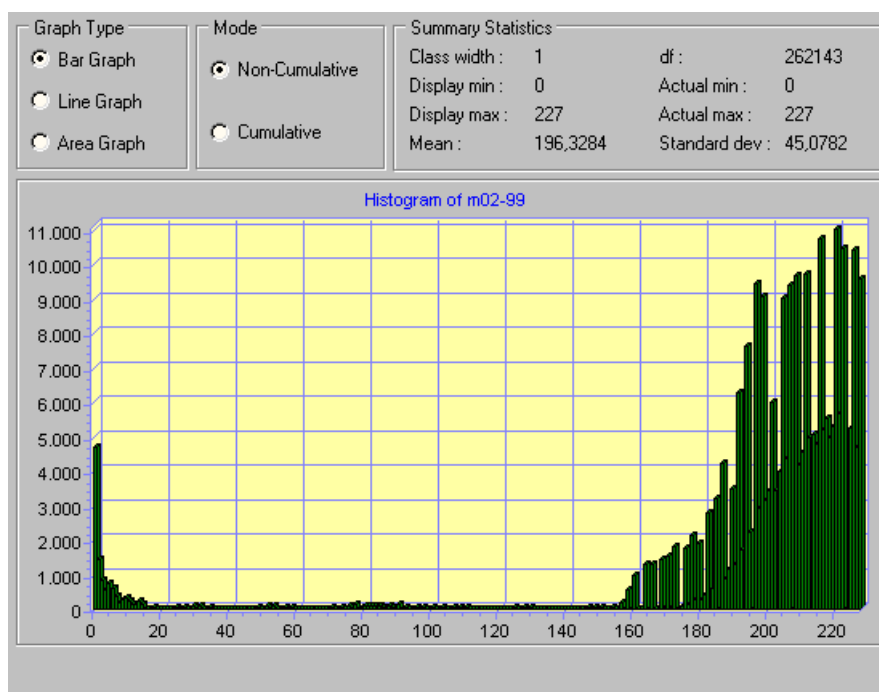


Figura IV.28 – Histograma da imagem resultante de janeiro/1999



**Figura IV.29 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens - fevereiro/1999**



**Figura IV.30 – Histograma da imagem resultante de fevereiro/1999**

## Março 1999

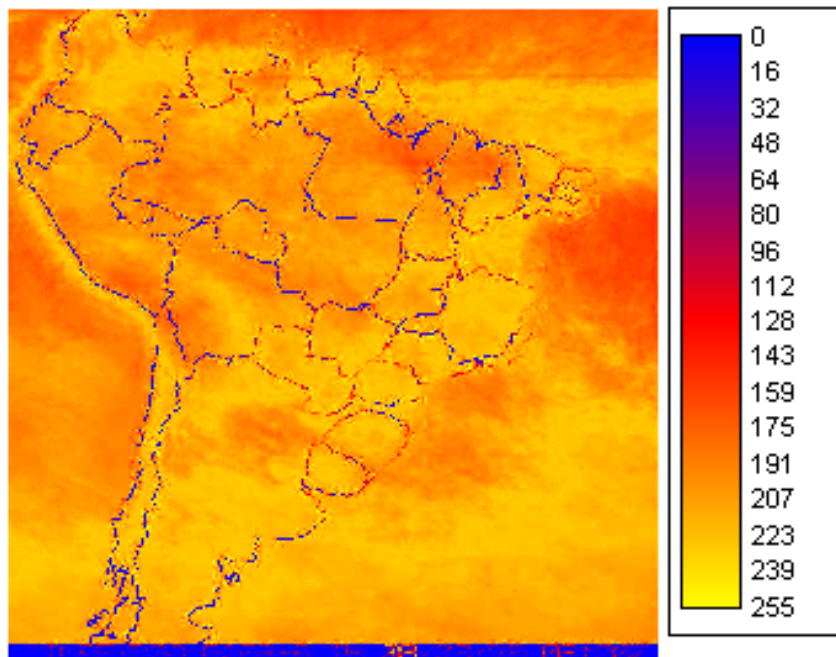


Figura IV.31 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de março/1999

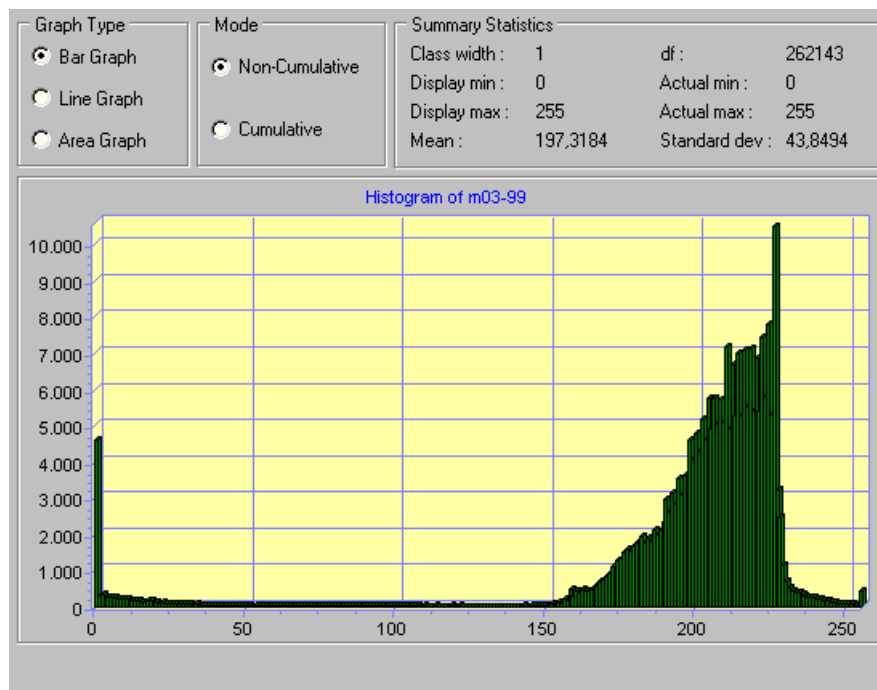
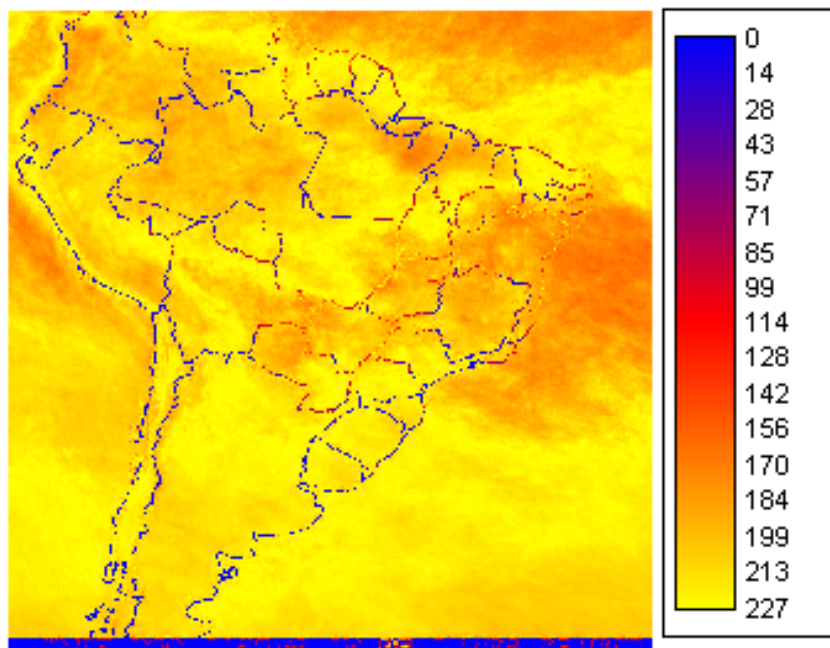
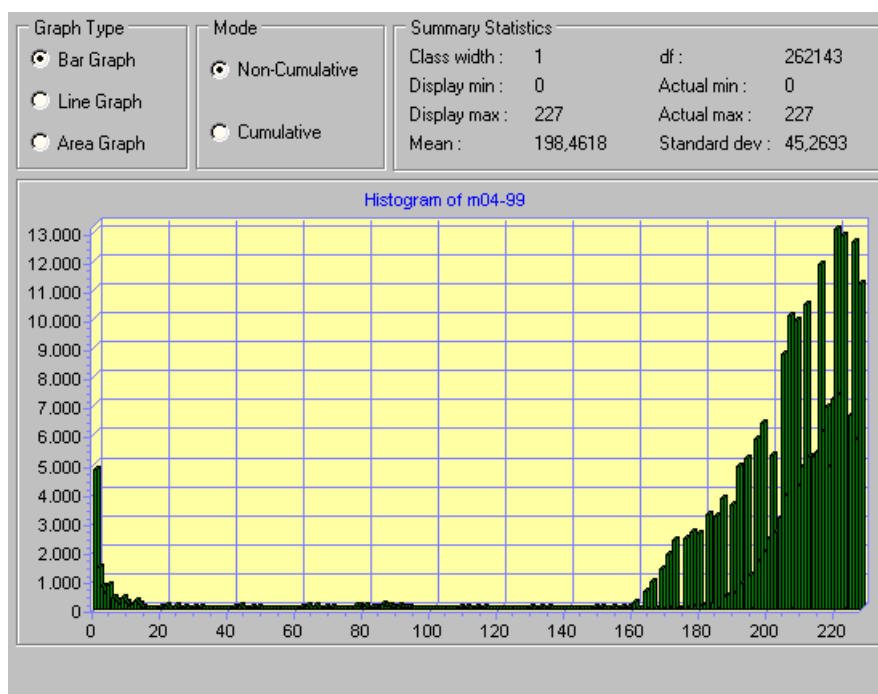


Figura IV.32 – Histograma da imagem resultante de março/1999

**Abril 1999**



**Figura IV.33 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de abril/1999**



**Figura IV.34 – Histograma da imagem resultante de abril/1999**

## Maio 1999

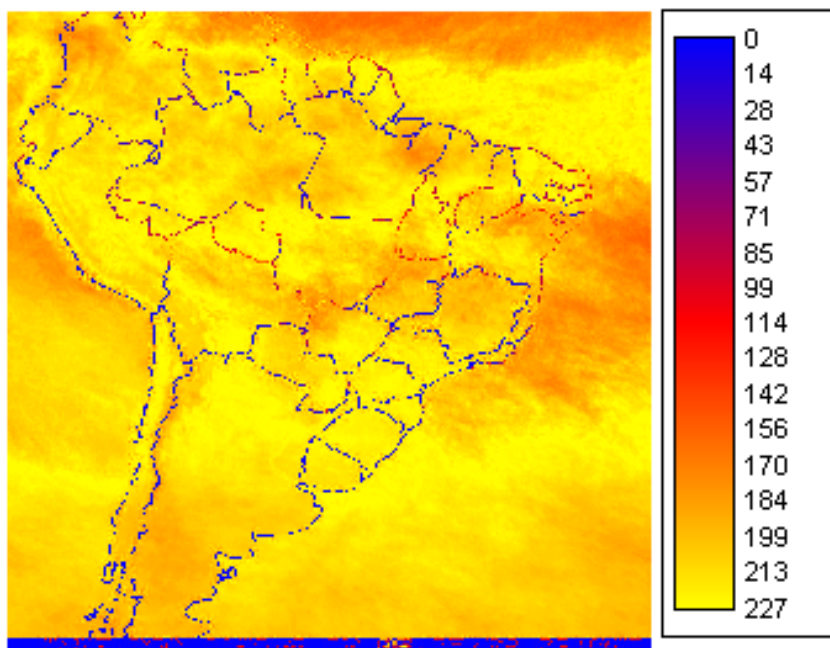


Figura IV.35 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de maio/1999

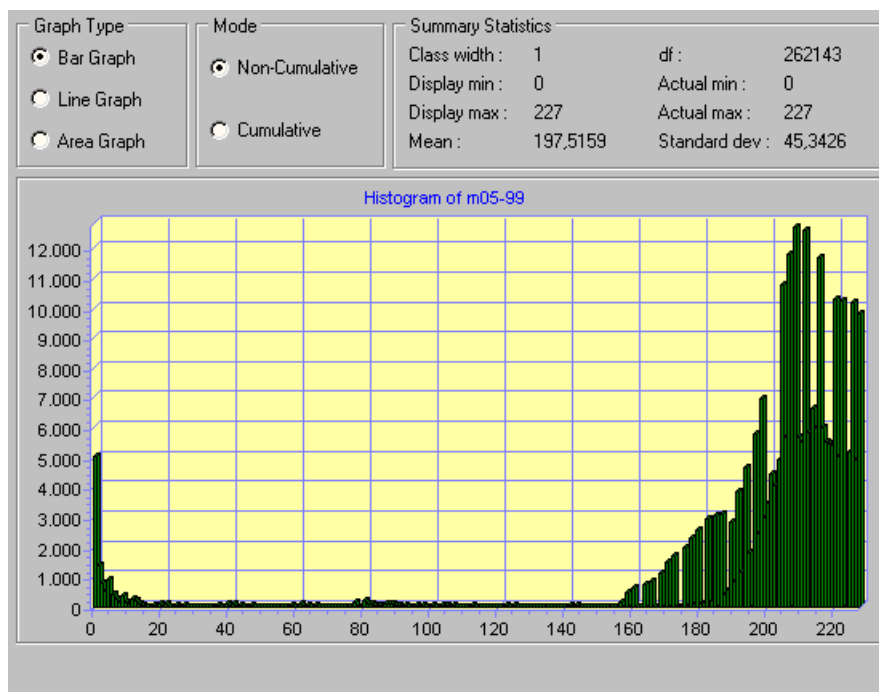


Figura IV.36 – Histograma da imagem resultante de maio/1999



Junho 1999

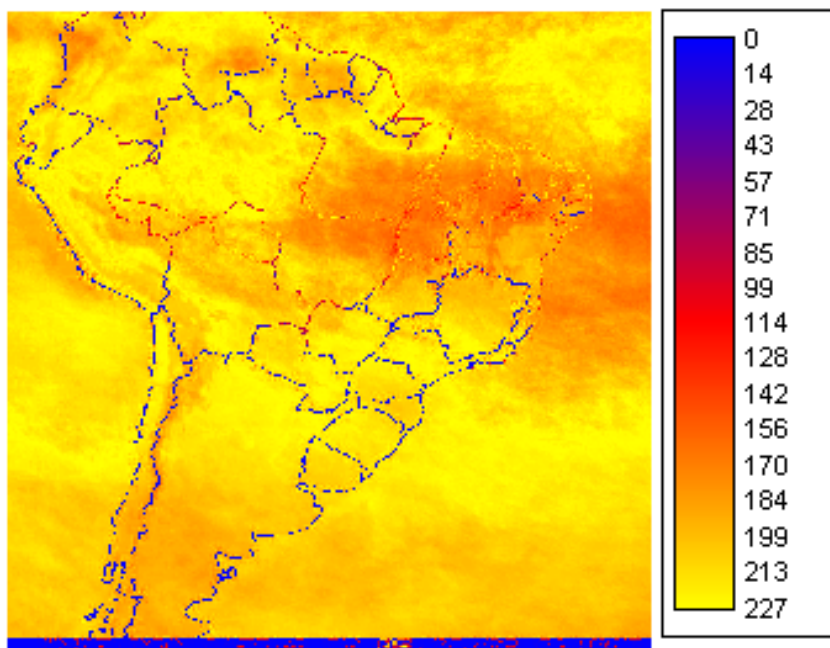


Figura IV.37 – Imagem resultante da média da cobertura de nuvens de junho/1999

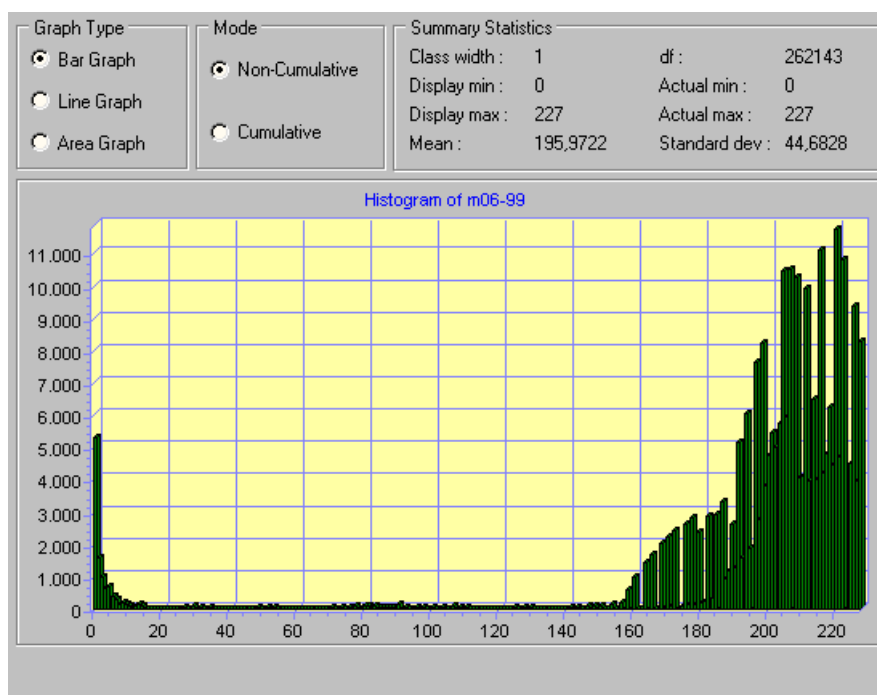


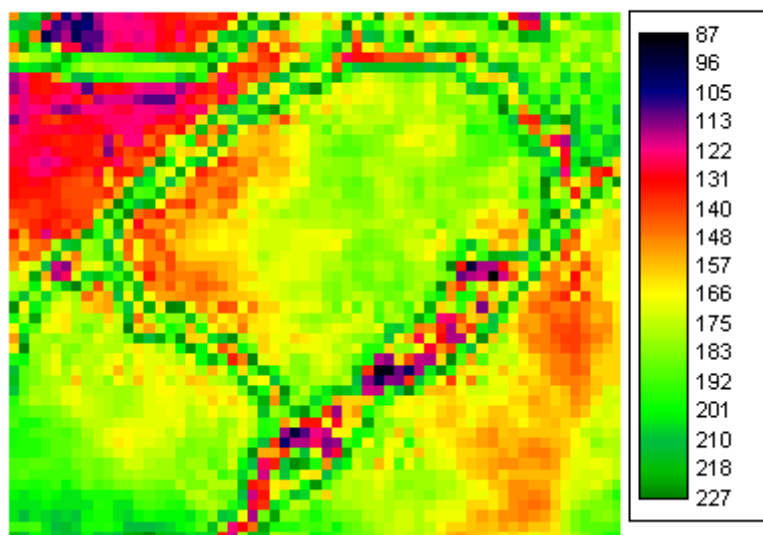
Figura IV.38 – Histograma da imagem resultante de junho/1999



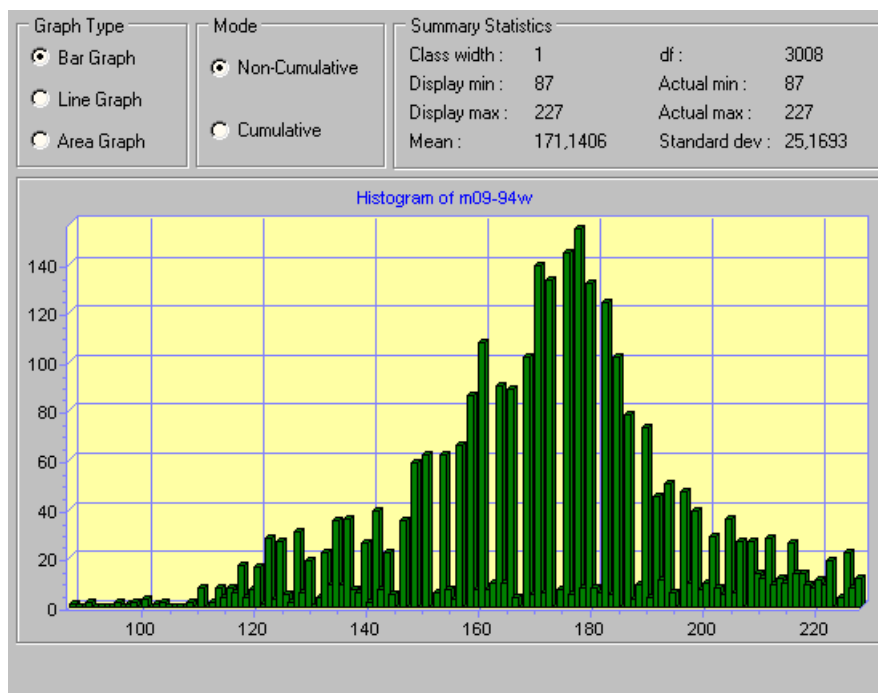
### IV.3 – IMAGENS RESULTANTES – ESCALA REGIONAL

As figuras IV.39 a IV.76 mostram as imagens resultado em escala regional, bem como, seus respectivos histogramas.

**Window from m09-94 c: 264 r: 348 to c: 322 r: 398**



**Figura IV.39 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - setembro/1994**



**Figura IV.40 – Histograma da área ampliada - setembro/1994**

Window from m10-94 c: 264 r: 348 to c: 322 r: 398

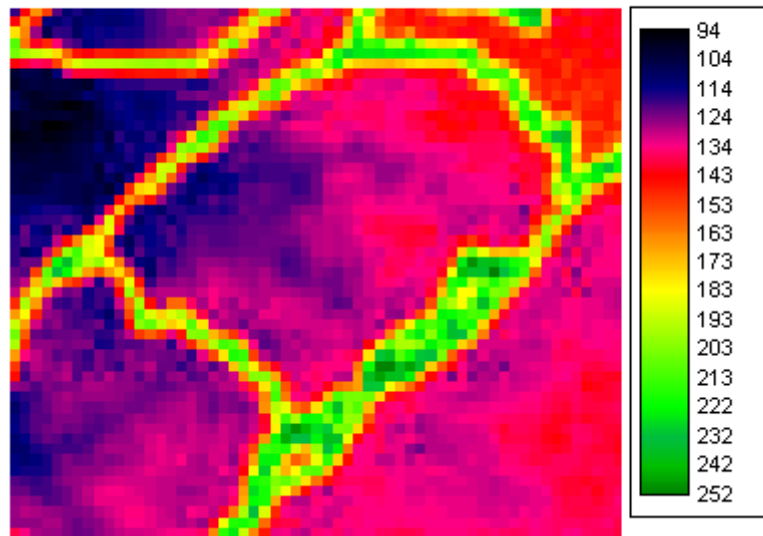


Figura IV.41 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - outubro/1994

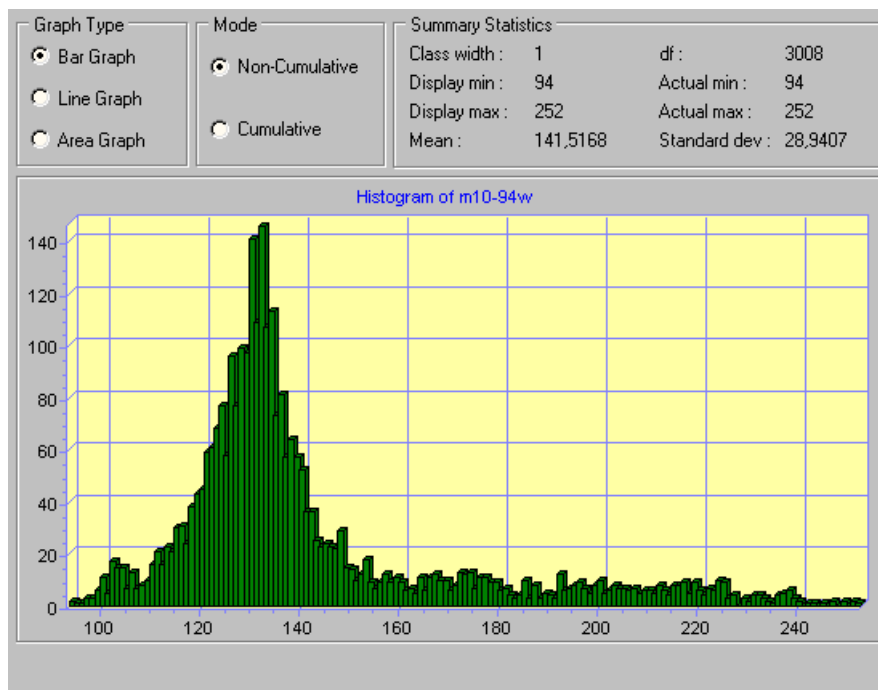


Figura IV.42 – Histograma da área ampliada - outubro/1994

Window from m11-94 c: 264 r: 348 to c: 322 r: 398

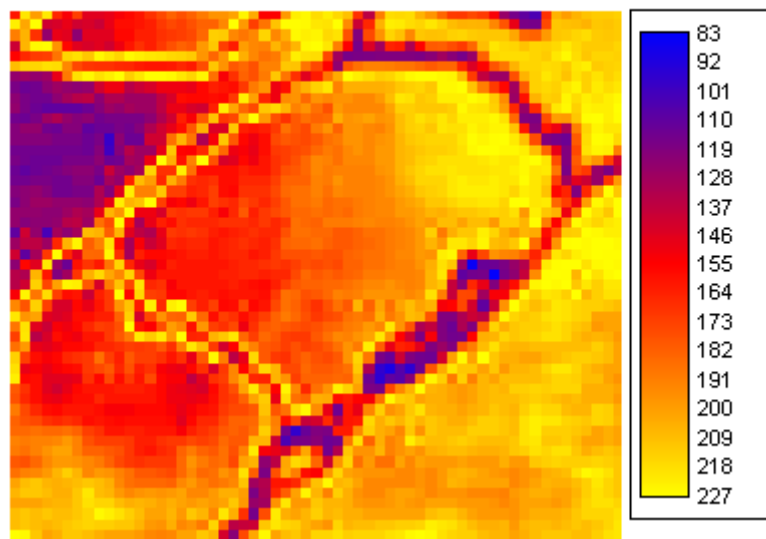


Figura IV.43 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - novembro/1994

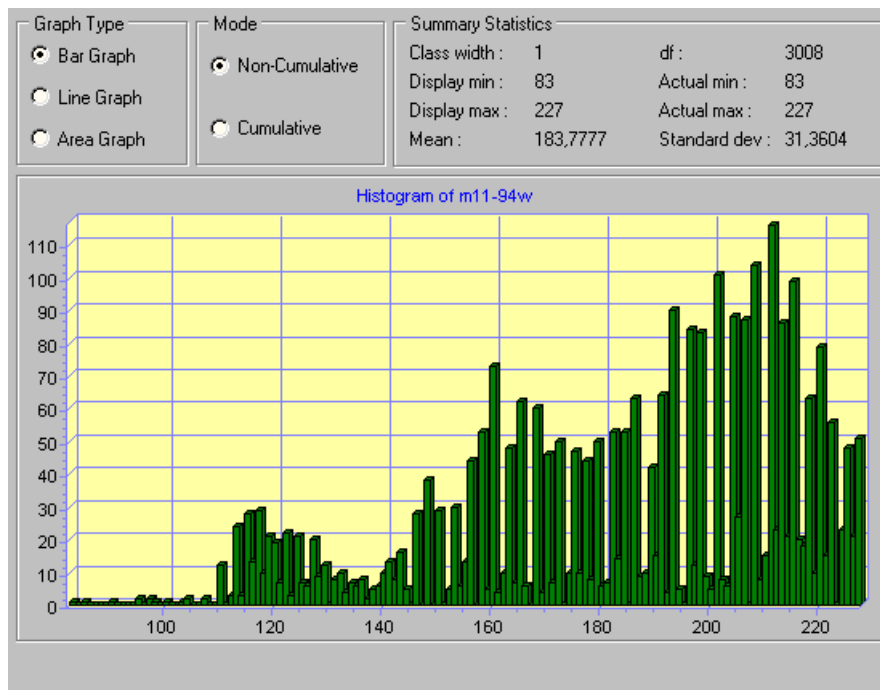


Figura IV.44 – Histograma da área ampliada - novembro/1994

Window from m12-94 c: 264 r: 348 to c: 322 r: 398

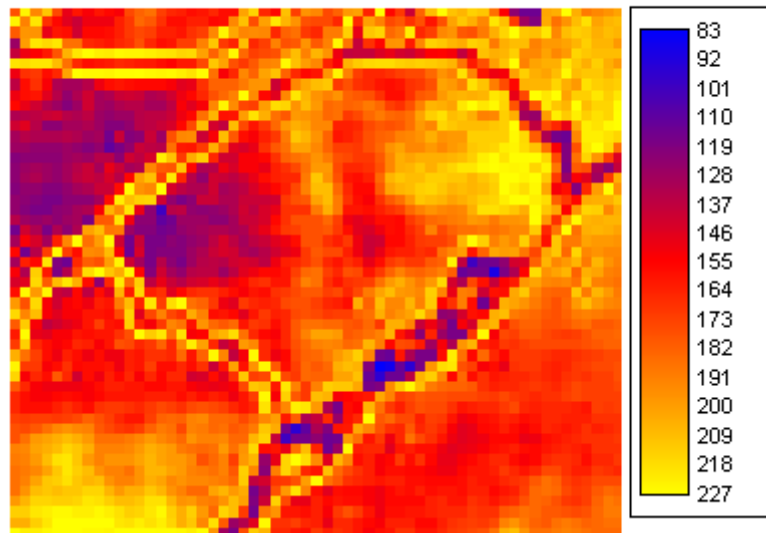


Figura IV.45 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - dezembro/1994

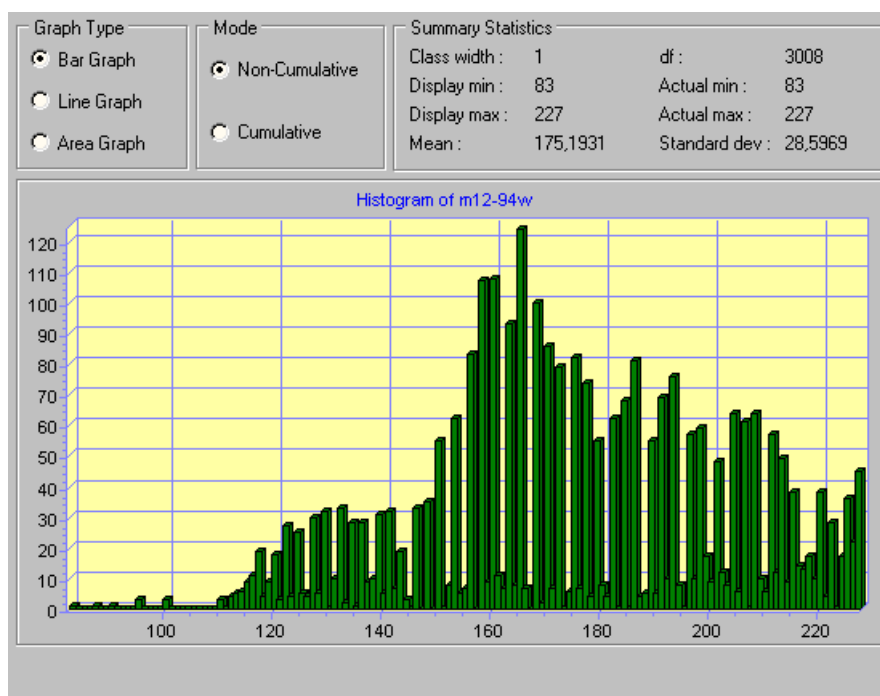


Figura IV.46 – Histograma da área ampliada - dezembro/1994

Window from m03-95 c: 264 r: 348 to c: 322 r: 398

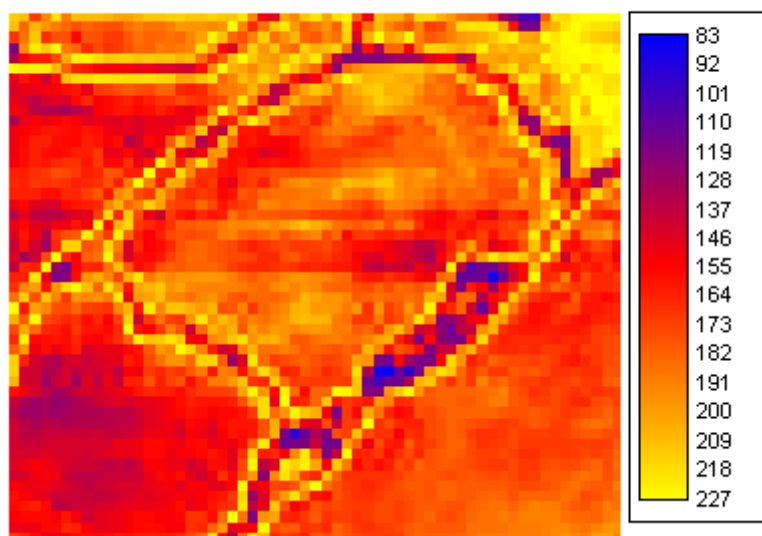


Figura IV.47 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - março/1995

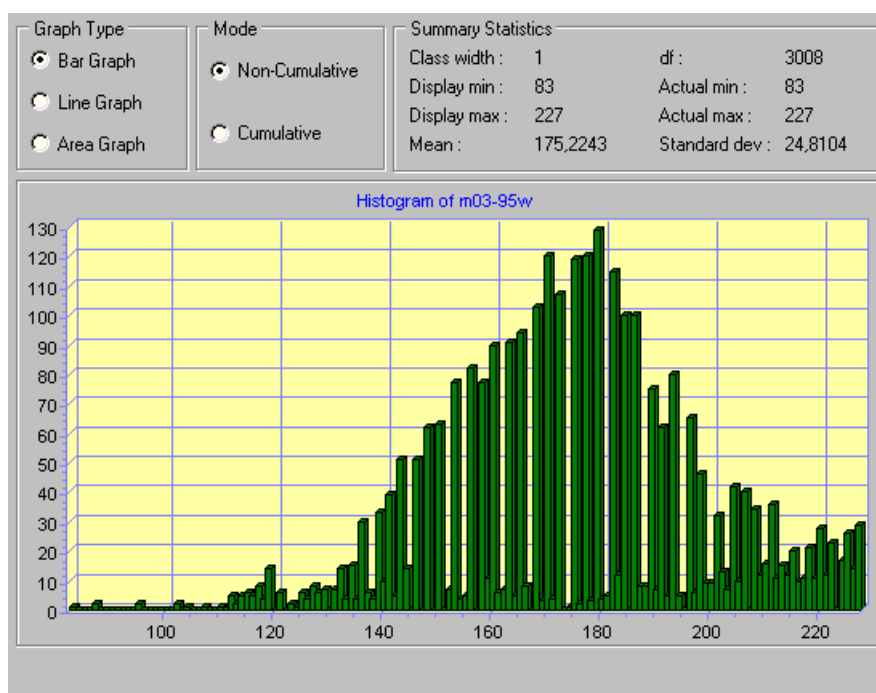


Figura IV.48 – Histograma da área ampliada - março/1995

Window from m04-95 c: 264 r: 348 to c: 322 r: 398

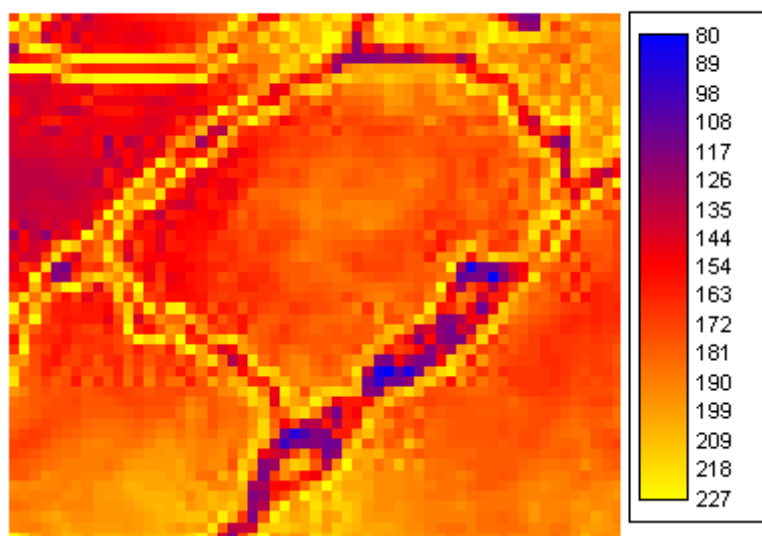


Figura IV.49 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - abril/1995

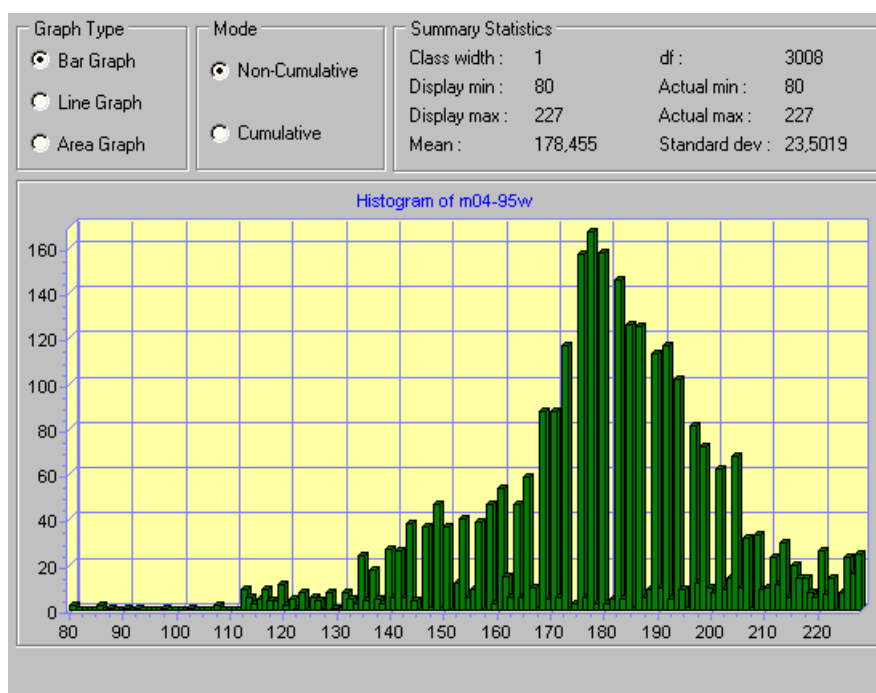


Figura IV.50 – Histograma da área ampliada - abril/1995

Window from m05-95 c: 264 r: 348 to c: 322 r: 398

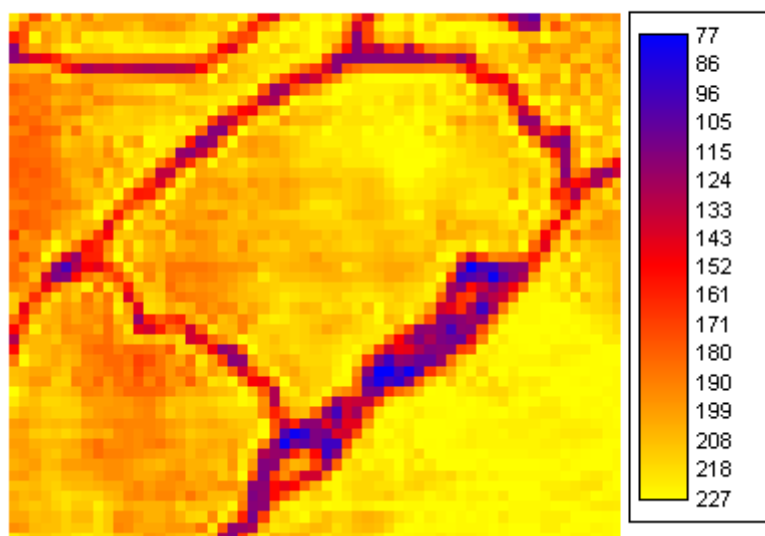


Figura IV.51 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - maio/1995

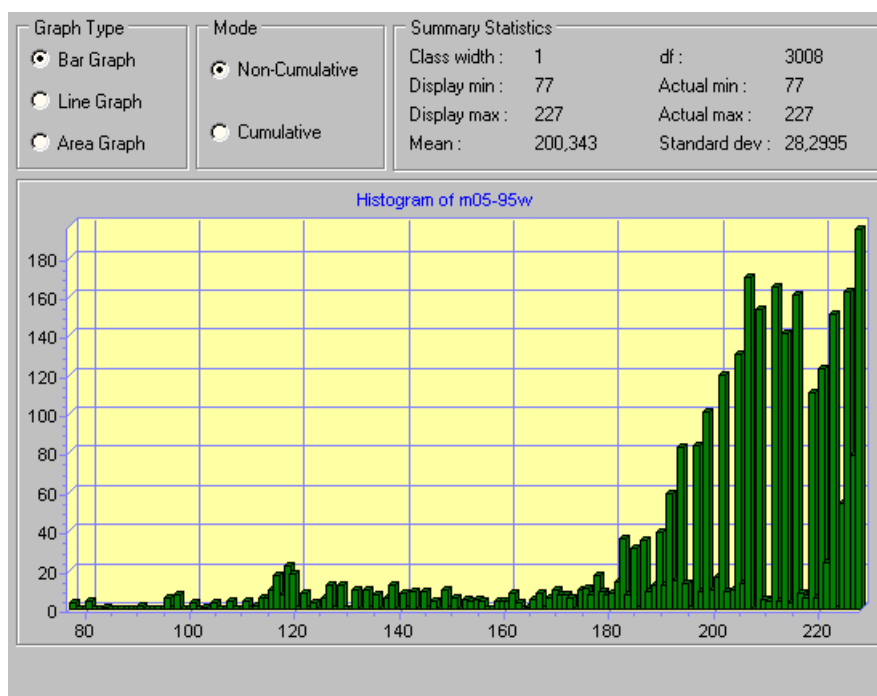


Figura IV.52 – Histograma da área ampliada - maio/1995

Window from m07-95 c: 133 r: 366 to c: 230 r: 445

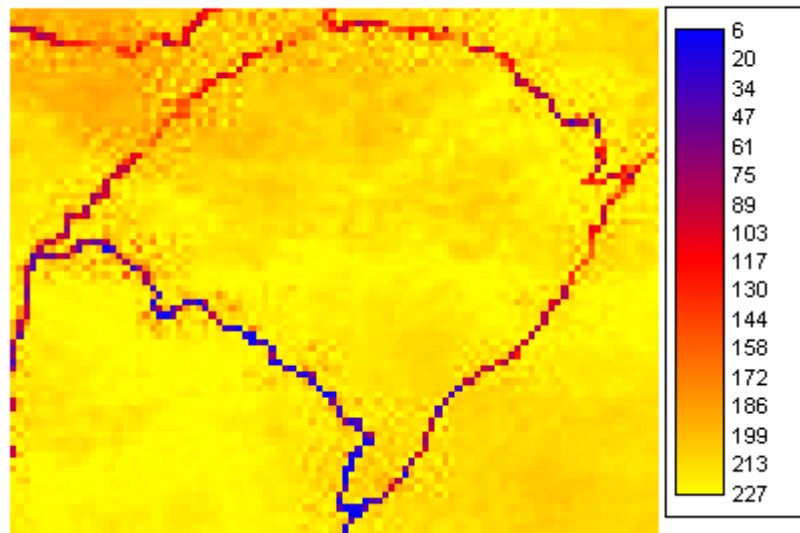


Figura IV.53 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - julho/1995

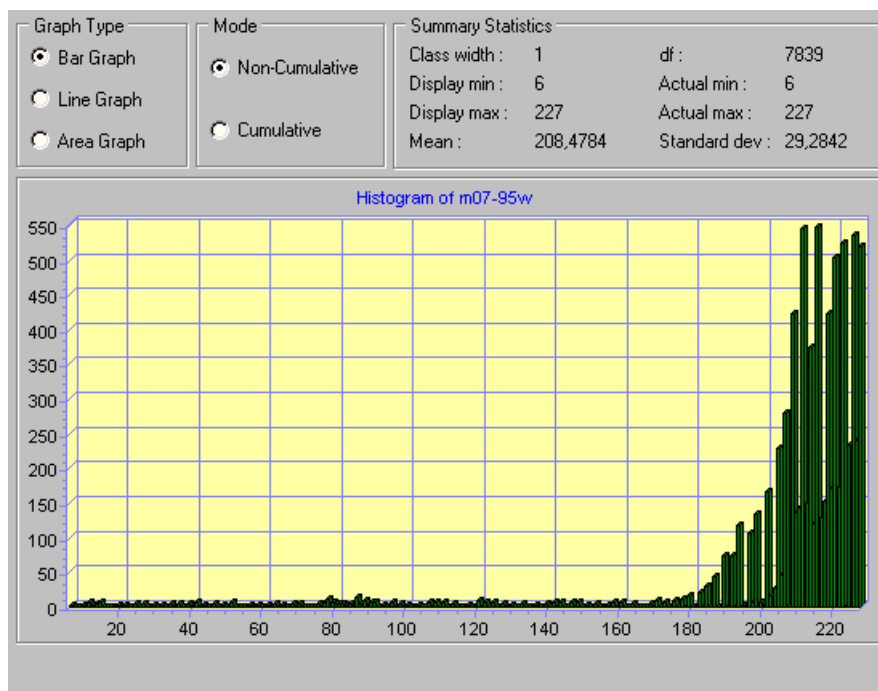


Figura IV.54 – Histograma da área ampliada - julho/1995



Window from m08-95 c: 133 r: 366 to c: 230 r: 445

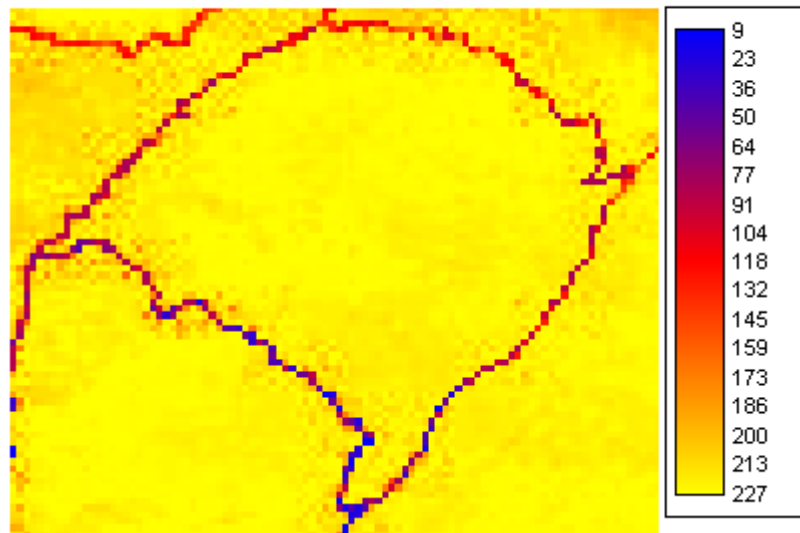


Figura IV.55 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - agosto/1995

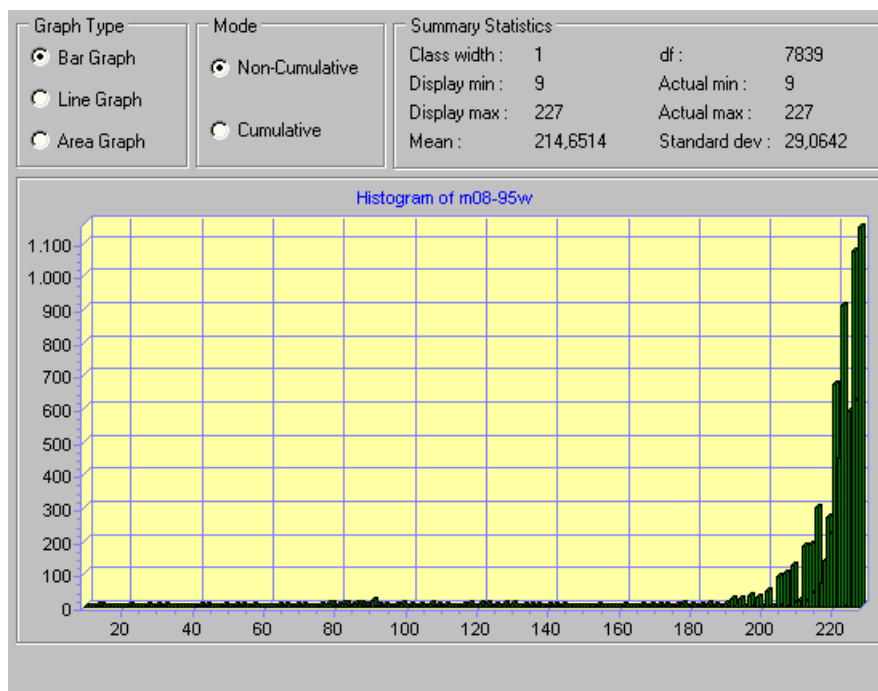


Figura IV.56 – Histograma da área ampliada - agosto/1995

Window from m09-95 c: 133 r: 366 to c: 230 r: 445

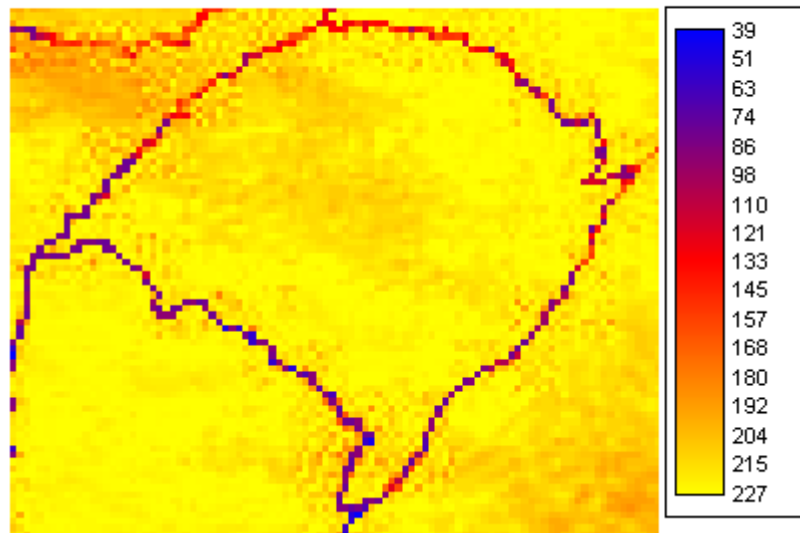


Figura IV.57 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - setembro/1995

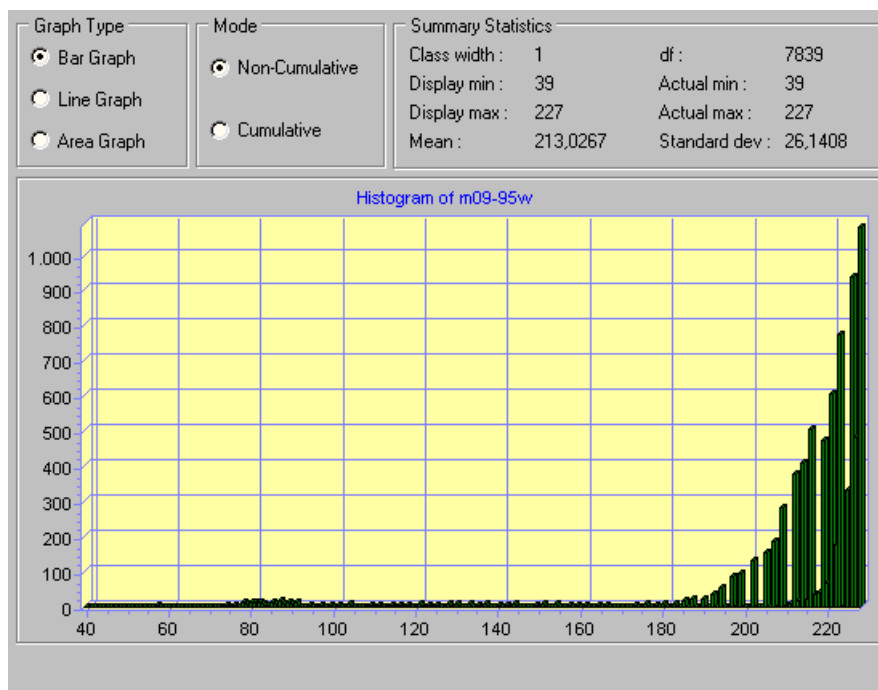


Figura IV.58 – Histograma da área ampliada - setembro/1995

Window from m10-98 c: 238 r: 315 to c: 317 r: 379

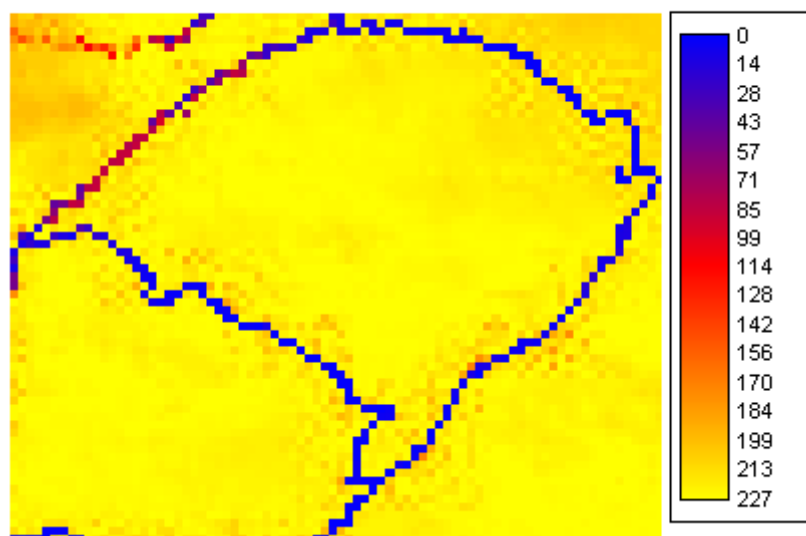


Figura IV.59 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - outubro/1998

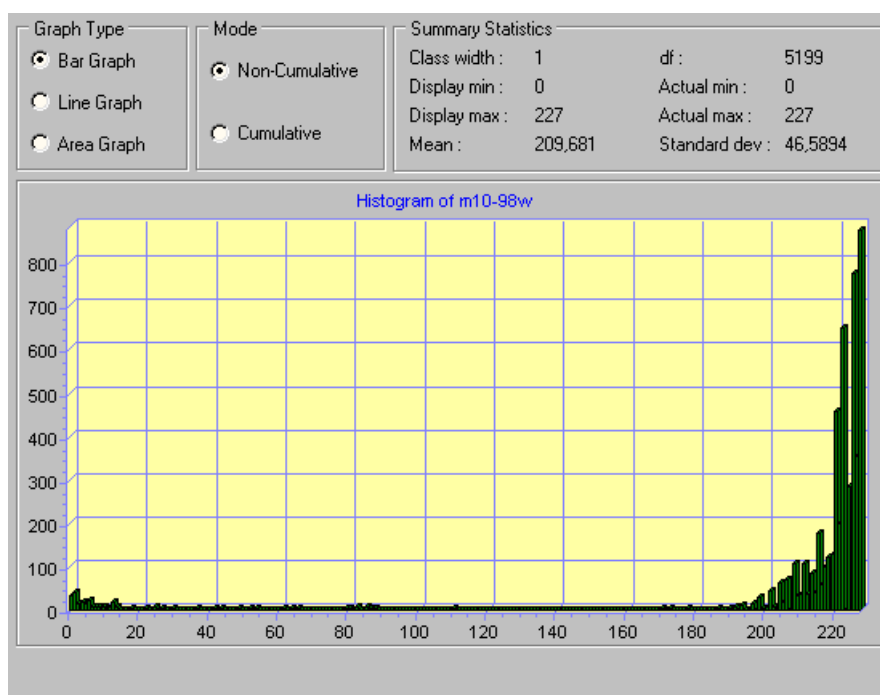


Figura IV.60 – Histograma da área ampliada - outubro/1998

Window from m11-98 c: 238 r: 315 to c: 317 r: 379

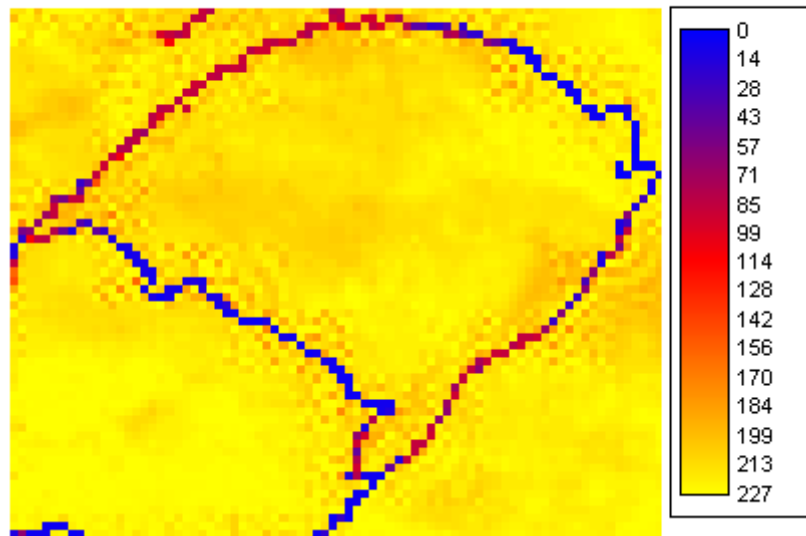


Figura IV.61 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - novembro/1998

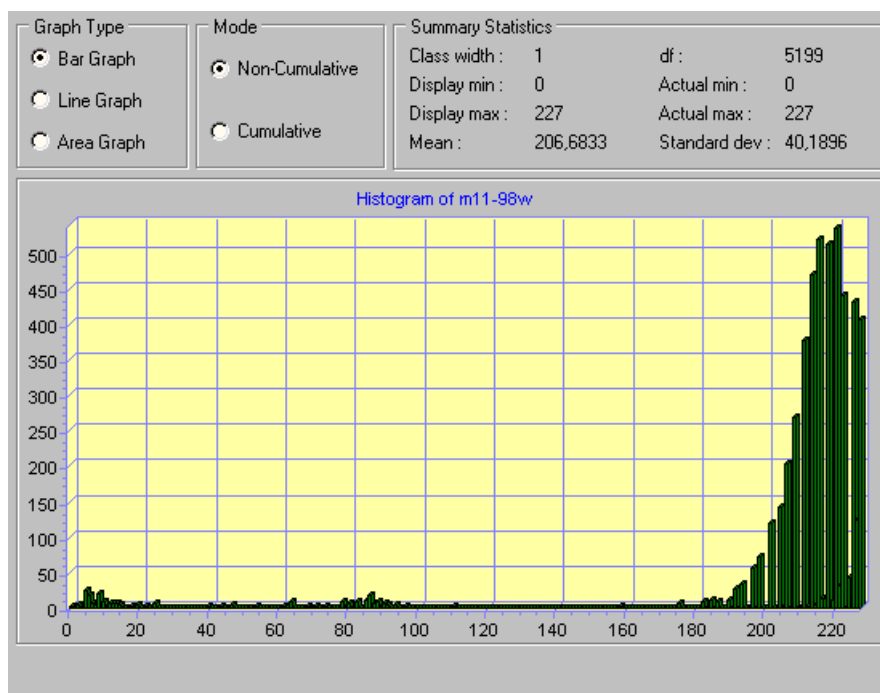


Figura IV.62 – Histograma da área ampliada - novembro/1998

Window from M12-98 c: 238 r: 315 to c: 317 r: 379

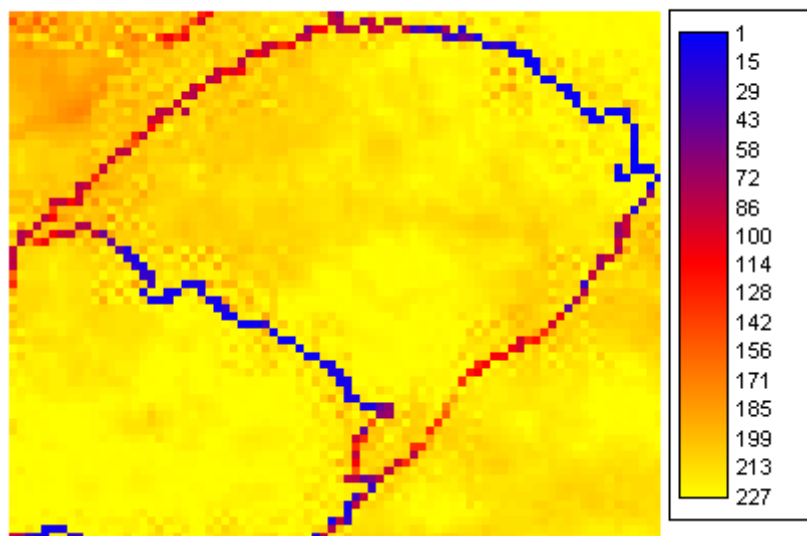


Figura IV.63 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - dezembro/1998

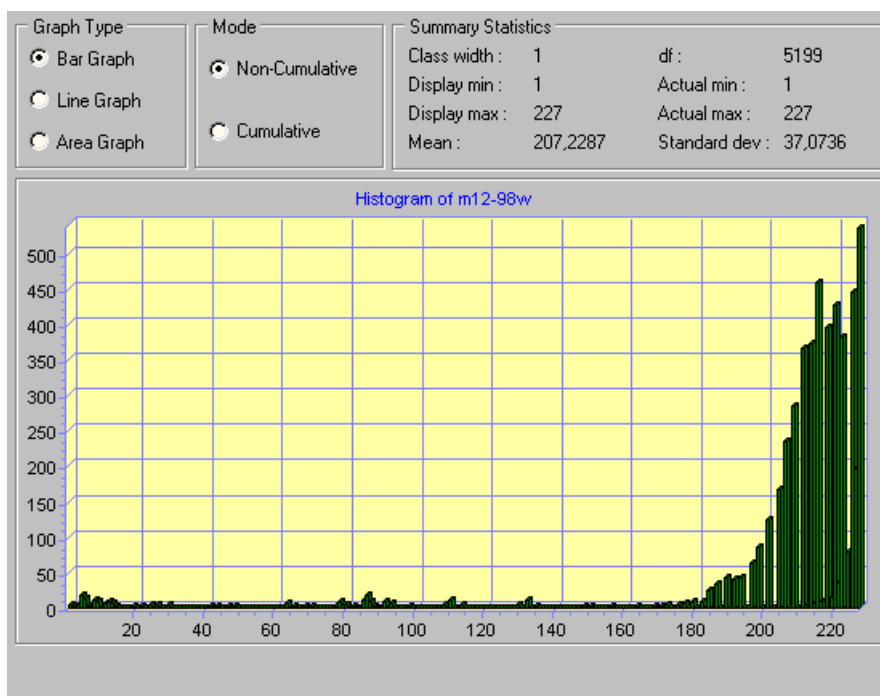


Figura IV.64 – Histograma da área ampliada - dezembro/1998

Window from M01-99 c: 238 r: 315 to c: 317 r: 379

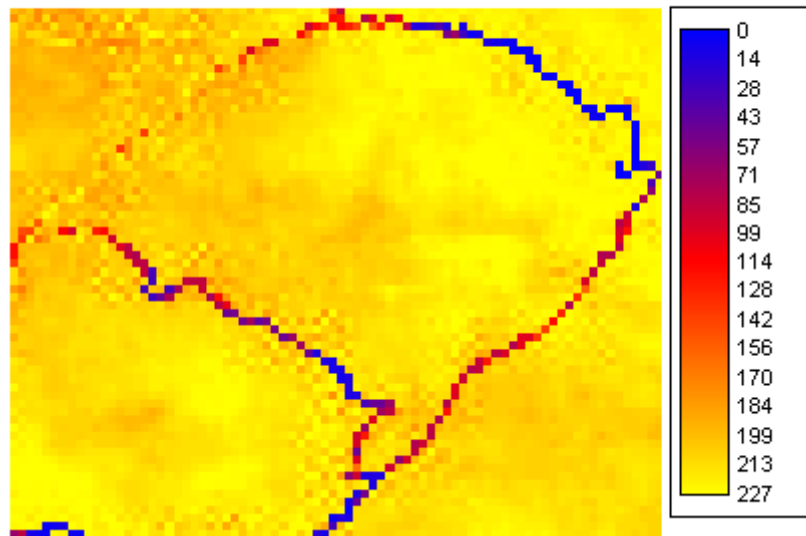


Figura IV.65 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - janeiro/1999

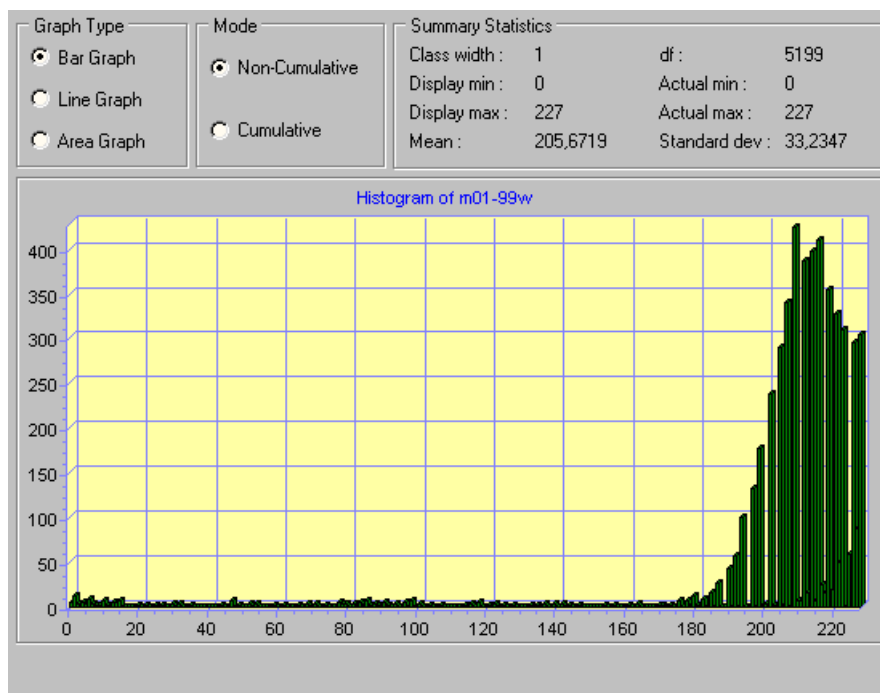


Figura IV.66 – Histograma da área ampliada - janeiro/1999

Window from M02-99 c: 238 r: 315 to c: 317 r: 379

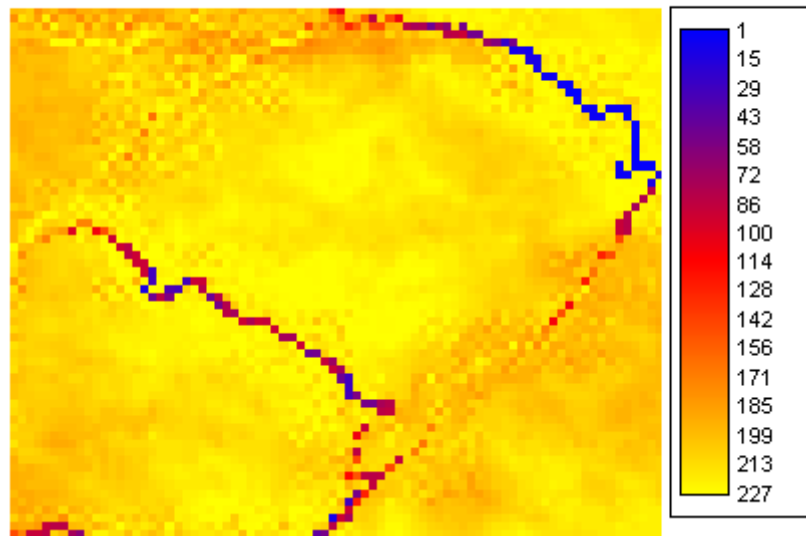


Figura IV.67 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - fevereiro/1999

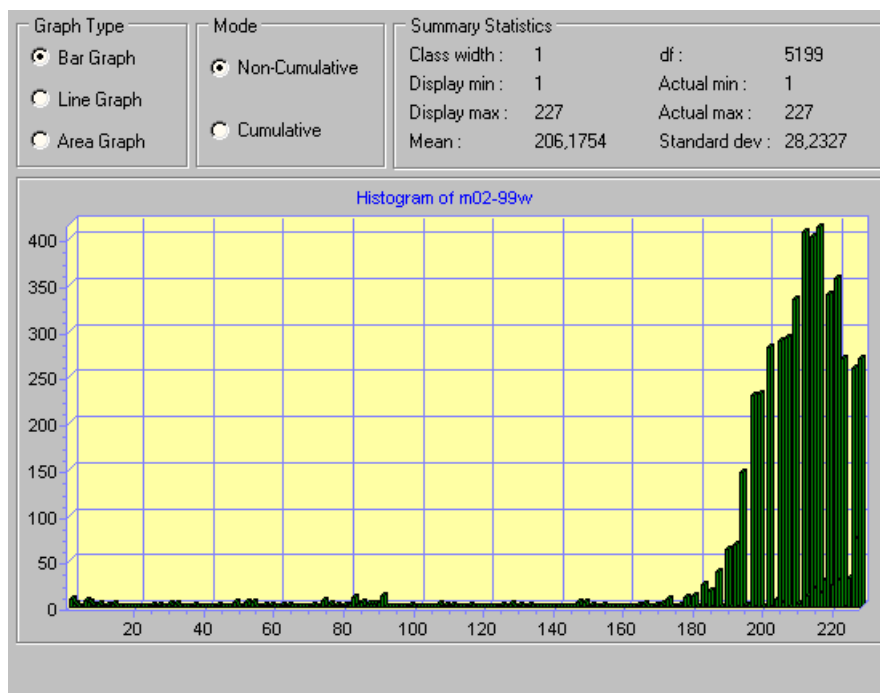


Figura IV.68 – Histograma da área ampliada - fevereiro/1999

Window from M03-99 c: 238 r: 315 to c: 317 r: 379

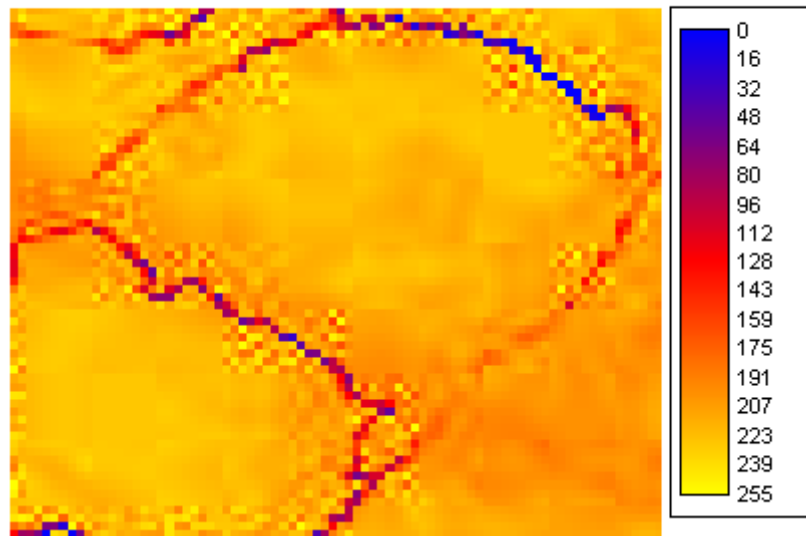


Figura IV.69 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - março/1999

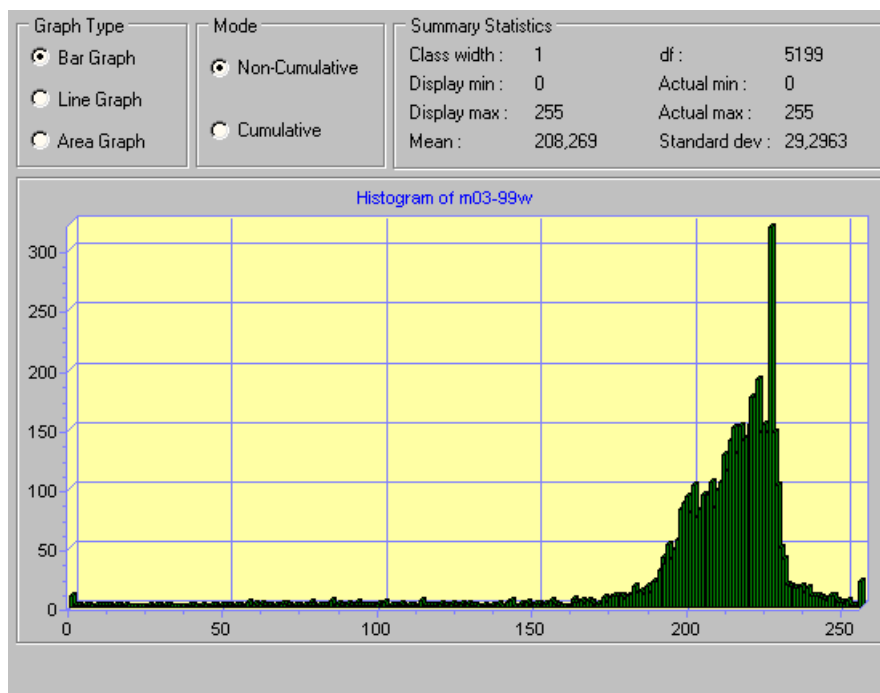


Figura IV.70 – Histograma da área ampliada - março/1999



Window from M04-99 c: 238 r: 315 to c: 317 r: 379

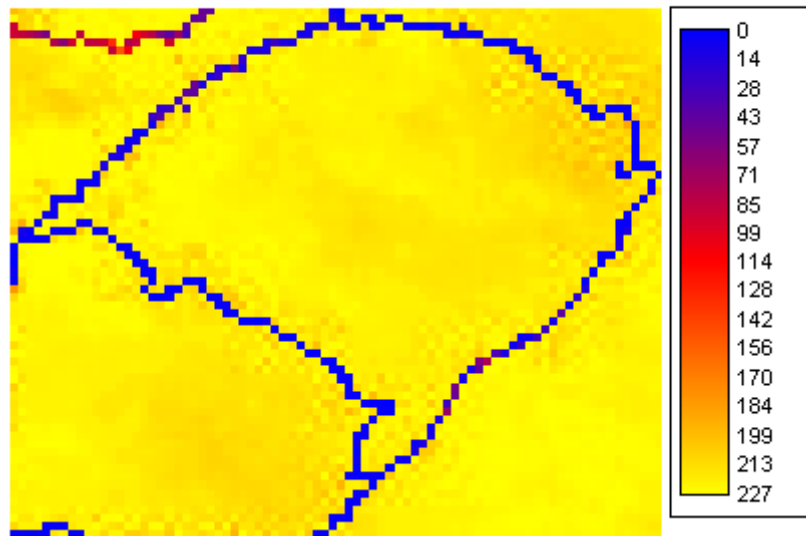


Figura IV.71 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - abril/1999

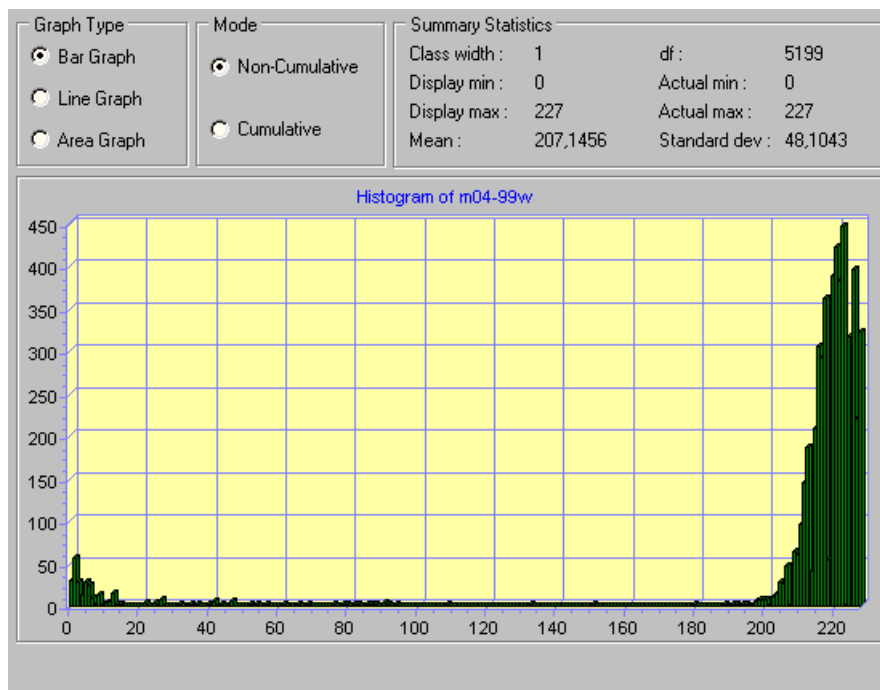


Figura IV.72 – Histograma da área ampliada - abril/1999

Window from M05-99 c: 238 r: 315 to c: 317 r: 379

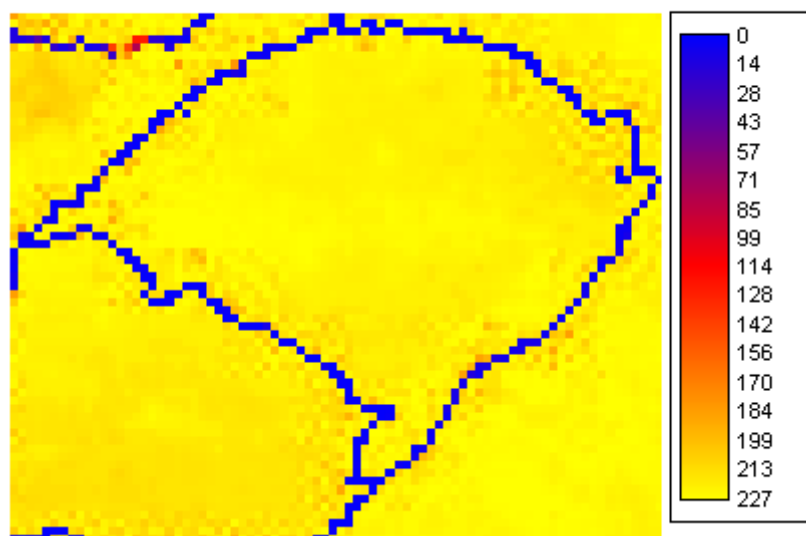


Figura IV.73 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - maio/1999

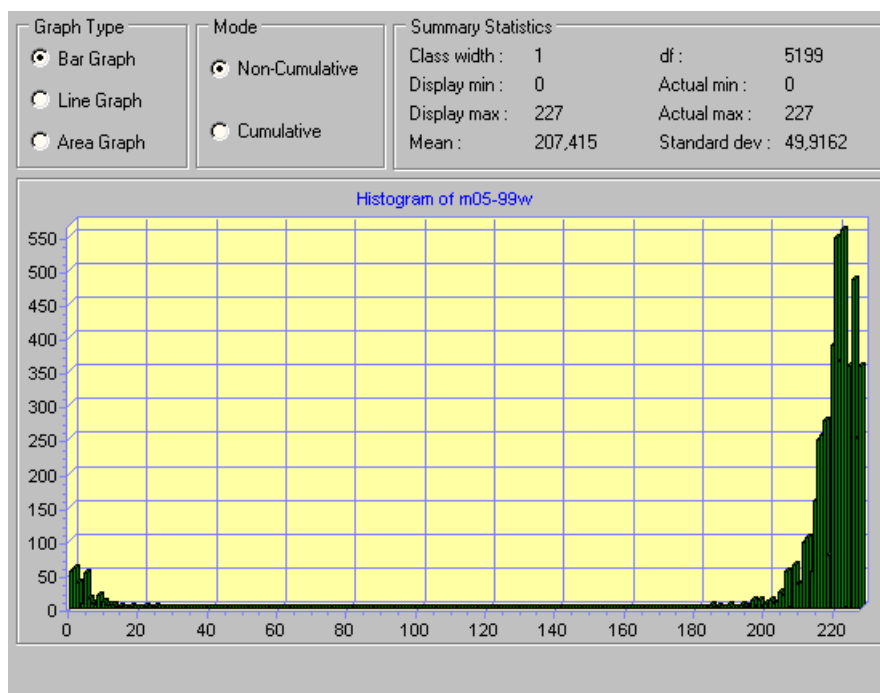


Figura IV.74 – Histograma da área ampliada - maio/1999

Window from M06-99 c: 238 r: 315 to c: 317 r: 379

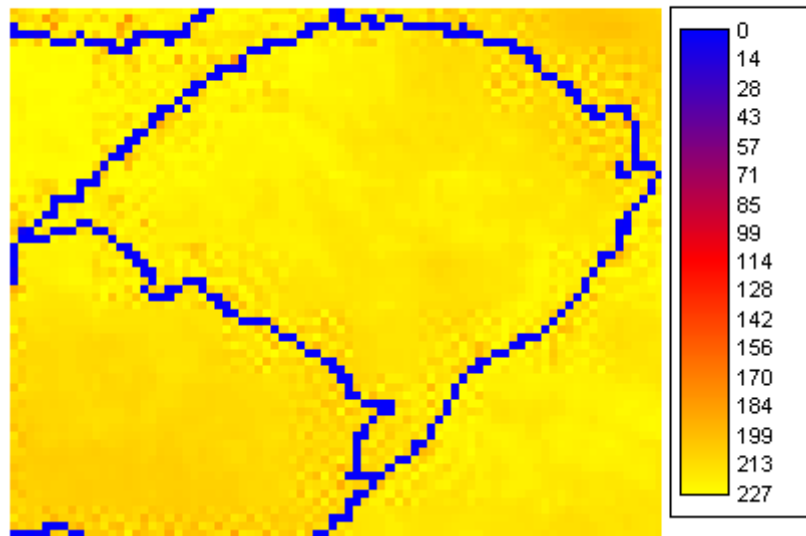


Figura IV.75 – Zoom sobre a área do Rio Grande do Sul - junho/1999

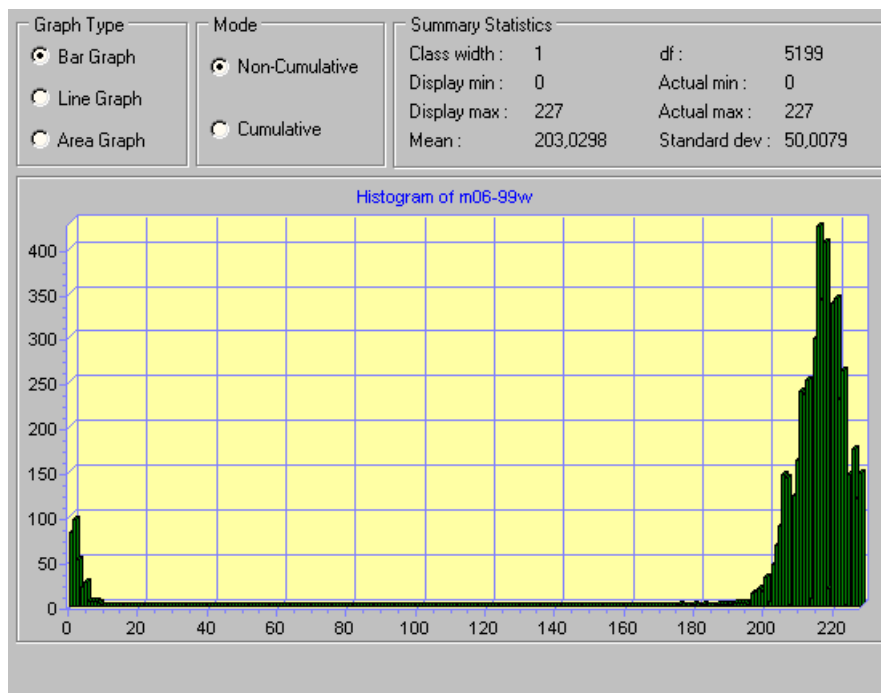


Figura IV.76 – Histograma da área ampliada - junho/1999

#### IV.4 – ANÁLISE DA MÉDIA DA COBERTURA DE NUVENS EM ALGUNS SÍTIOS ASTRONÔMICOS DO RIO GRANDE DO SUL

Neste trabalho, chamou-nos a atenção a baixa média de cobertura de nuvens que apresentou a região sudoeste do estado, relativamente às demais regiões da área alvo de nossos estudos, especialmente as regiões no entorno das cidades de Alegrete, Uruguaiana e Itaqui. Contudo, haja vista a ausência de estudos que considerem outros fatores relevantes para a escolha de um sítio astronômico, adicionado ao nosso conhecimento prévio das baixas altitudes que predominam naquelas regiões, optamos por focar nossa atenção em locais tradicionalmente dissecados na astrometeorologia do Rio Grande do Sul, como Bom Jesus, Vacaria e Caçapava do Sul. Como parâmetro de comparação analisamos, também, a região de Brasópolis, local em que se encontra o sítio astronômico mais importante do país, o Observatório do Pico dos Dias.

As Tabelas IV.2 a IV.5 informam-nos a leitura dos *pixels* nos pontos correspondentes as regiões referidas (destacado em negrito), assim como, a distribuição gaussiana dos *pixels* que circunscreviam tais pontos. Salientamos que, tanto as leituras de *pixels*, como a navegação nas imagens, foram implementadas no *software* SPRING, versão 3.6, desenvolvido e distribuído gratuitamente pelo INPE.

**Tabela IV.2 – Leitura de *Pixels* para Bom Jesus (28<sup>o</sup>45’S, 50<sup>o</sup>25’W)**

<b>Imagem</b>	<b>Coordenadas Coluna, linha</b>	<b>Contagem radiométrica</b>				
Setembro/1994	(315, 363)	196	213	209	170	128
		182	182	198	200	133
		184	179	<b>206</b>	211	123
		191	182	227	188	144
		198	186	225	171	180

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Outubro/1994	(315, 363)	141	153	217	217	208
		141	153	217	217	208
		134	142	<b>185</b>	185	206
		134	142	185	185	206
		127	169	167	167	141
Novembro/1994	(315, 363)	222	209	183	148	119
		225	227	220	176	119
		225	220	<b>221</b>	188	117
		226	220	214	172	128
		222	220	210	156	164
Dezembro/1994	(315, 363)	217	210	186	153	119
		226	227	216	176	119
		225	215	<b>224</b>	188	118
		224	227	212	171	125
		217	225	202	152	158
Março/1995	(315, 363)	182	218	205	165	125
		175	189	206	196	121
		186	186	<b>211</b>	204	119
		208	182	222	188	146
		196	186	222	170	180
Abril/1995	(315, 363)	193	201	215	176	137
		182	172	189	210	142
		189	172	<b>191</b>	221	128
		189	177	213	197	152
		191	184	215	177	187
Maio/1995	(315, 363)	220	225	199	161	119
		211	213	220	187	119
		215	206	<b>218</b>	202	116
		218	201	222	183	131
		222	213	216	160	166
Julho/1995	(218, 388)	206	222	222	224	204
		221	208	225	227	225
		226	219	<b>213</b>	220	226
		208	224	222	224	225
		221	211	213	222	216

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Agosto/1995	(218, 388)	225	225	221	222	222
		221	225	220	215	212
		222	214	<b>225</b>	222	219
		225	225	220	225	221
		222	206	221	220	226
Setembro/1995	(218, 388)	224	222	226	225	204
		224	222	227	222	209
		226	219	<b>220</b>	225	221
		224	211	221	217	204
		219	215	222	225	224
Outubro/1998	(311, 333)	227	220	210	208	217
		205	210	215	221	206
		217	224	<b>220</b>	211	219
		216	212	202	1	209
		212	212	220	1	1
Novembro/1998	(311, 333)	206	222	224	217	213
		216	219	227	215	216
		226	220	<b>220</b>	227	226
		226	226	212	2	227
		224	224	222	0	2
Dezembro/1998	(311, 333)	211	222	221	220	227
		216	215	227	218	216
		227	227	<b>222</b>	221	222
		222	226	211	5	219
		225	226	220	1	1
Janeiro/1999	(311, 333)	208	220	219	226	225
		212	212	225	227	220
		222	225	<b>222</b>	220	226
		225	222	209	1	221
		225	225	225	0	1
Fevereiro/1999	(311, 333)	206	218	219	222	227
		217	219	227	225	217
		225	225	<b>218</b>	227	222
		222	227	215	5	225
		225	218	225	5	5

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Março/1999	(311, 333)	183	194	224	193	202
		225	236	206	204	206
		207	210	<b>178</b>	194	226
		201	209	234	162	211
		213	193	189	147	184
Abril/1999	(311, 333)	219	214	206	199	215
		197	202	206	212	202
		209	219	<b>210</b>	203	215
		208	209	197	1	203
		205	204	214	1	2
Maio/1999	(311, 333)	222	220	214	204	221
		204	209	210	219	205
		215	227	<b>221</b>	210	219
		216	217	200	1	210
		210	208	222	0	2
Junho/1999	(311, 333)	222	214	209	196	214
		199	202	208	220	205
		211	221	<b>212</b>	203	220
		212	212	197	1	205
		205	203	220	0	2

Tabela IV.3 – Leitura de *Pixels* para Vacaria (28<sup>0</sup>32'S, 50<sup>0</sup>57'W)

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Setembro/1994	(313, 362)	189	196	218	204	148
		189	184	196	213	209
		182	172	<b>182</b>	182	198
		172	177	184	179	206
		172	177	191	182	227
Outubro/1994	(313, 362)	140	139	139	145	227
		136	141	141	153	217
		136	141	<b>141</b>	153	217
		135	134	134	142	185
		135	134	134	142	185

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Novembro/1994	(313, 362)	227	221	209	176	119
		225	225	222	209	183
		220	220	<b>225</b>	227	220
		220	222	225	220	221
		220	220	226	220	214
Dezembro/1994	(313, 362)	213	225	216	180	131
		222	224	217	210	186
		219	226	<b>226</b>	227	216
		225	224	225	215	224
		227	227	224	227	212
Março/1995	(313, 362)	191	198	222	199	137
		182	182	182	218	205
		193	193	<b>175</b>	189	206
		184	186	186	186	211
		179	179	208	182	222
Abril/1995	(313, 362)	175	184	213	208	155
		179	182	193	201	215
		179	175	<b>182</b>	172	189
		182	189	189	172	191
		186	175	189	177	213
Maio/1995	(313, 362)	208	206	227	196	133
		208	218	220	225	199
		215	206	<b>211</b>	213	220
		213	211	215	206	218
		213	211	218	201	222
Julho/1995	(212, 384)	214	225	201	220	227
		218	222	226	221	215
		222	222	<b>227</b>	227	222
		222	220	225	227	225
		220	218	220	225	225
Agosto/1995	(212, 384)	224	220	211	208	225
		201	224	227	227	220
		225	227	<b>225</b>	227	227
		225	225	225	226	226
		227	225	222	227	227



Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Setembro/1995	(212, 384)	227	225	222	222	213
		226	224	222	224	218
		227	226	<b>224</b>	221	221
		227	225	227	225	222
		226	225	225	225	222
Outubro/1998	(305, 331)	216	221	210	215	224
		215	216	219	214	216
		215	215	<b>226</b>	219	206
		217	217	215	220	220
		216	215	211	216	219
Novembro/1998	(305, 331)	222	206	222	222	211
		225	225	225	225	218
		225	225	<b>211</b>	225	216
		225	222	227	222	225
		225	227	222	227	225
Dezembro/1998	(305, 331)	225	218	222	227	220
		220	225	225	227	227
		215	222	<b>206</b>	220	219
		220	218	222	222	220
		222	220	227	225	215
Janeiro/1999	(305, 331)	222	227	212	221	218
		224	219	220	221	226
		226	219	<b>218</b>	225	210
		227	226	225	224	226
		226	226	219	222	220
Fevereiro/1999	(305, 331)	227	215	217	226	213
		222	227	225	227	227
		218	225	<b>211</b>	222	215
		215	213	222	220	220
		213	213	220	220	215
Março/1999	(305, 331)	226	207	245	214	198
		226	222	240	222	204
		226	221	<b>210</b>	226	241
		226	226	226	232	219
		226	236	236	230	205

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Abril/1999	(305, 331)	208	215	199	205	219
		210	205	212	209	210
		210	205	<b>216</b>	210	199
		208	214	206	210	211
		209	206	203	211	209
Maio/1999	(305, 331)	216	226	209	216	224
		216	214	217	211	217
		216	211	<b>226</b>	215	203
		215	217	214	220	219
		215	214	206	219	222
Junho/1999	(305, 331)	209	219	202	209	215
		210	208	212	208	209
		211	208	<b>220</b>	208	197
		212	216	211	212	214
		215	211	206	215	215

Tabela IV.4 – Leitura de *Pixels* para Caçapava do Sul (30<sup>0</sup>29'S, 53<sup>0</sup>28'W)

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Setembro/1994	(293, 374)	170	170	172	177	177
		170	170	172	179	182
		175	175	<b>175</b>	182	184
		175	172	172	182	184
		170	168	170	177	186
Outubro/1994	(293, 374)	123	123	123	123	123
		129	124	124	121	121
		130	130	<b>130</b>	131	131
		130	130	130	131	131
		128	131	131	132	132
Novembro/1994	(293, 374)	172	177	175	177	175
		175	184	179	182	179
		179	182	<b>182</b>	184	184
		184	177	179	184	191
		182	175	168	177	186

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Dezembro/1994	(293, 374)	165	170	177	165	160
		172	184	186	172	165
		177	191	<b>186</b>	168	160
		175	179	179	172	175
		177	177	172	165	163
Março/1995	(293, 374)	168	163	165	163	160
		196	196	193	191	186
		191	196	<b>193</b>	184	182
		193	206	201	196	196
		204	206	198	198	196
Abril/1995	(293, 374)	179	179	182	184	184
		179	179	182	182	184
		179	179	<b>177</b>	179	182
		175	175	175	177	179
		168	170	175	175	179
Maio/1995	(293, 374)	204	204	201	201	204
		208	208	206	204	204
		215	213	<b>213</b>	211	211
		218	215	215	213	211
		211	206	208	218	215
Julho/1995	(184, 408)	222	220	222	224	225
		224	222	222	224	225
		220	220	<b>221</b>	226	224
		221	224	221	224	221
		219	220	221	222	217
Agosto/1995	(184, 408)	226	226	225	227	227
		225	227	222	227	226
		227	227	<b>227</b>	227	227
		224	224	227	226	222
		221	221	226	225	221
Setembro/1995	(184, 408)	227	226	220	220	220
		220	222	220	225	227
		227	227	<b>227</b>	227	226
		227	227	226	226	222
		225	226	227	225	226

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Outubro/1998	(282, 346)	220	222	225	225	227
		222	222	225	225	227
		225	225	<b>225</b>	227	226
		227	227	225	227	226
		225	225	227	227	225
Novembro/1998	(282, 346)	208	213	213	213	215
		206	211	213	215	218
		208	213	<b>215</b>	220	218
		213	215	213	218	220
		220	215	211	220	222
Dezembro/1998	(282, 346)	225	227	226	226	226
		225	227	227	226	226
		225	227	<b>227</b>	227	226
		220	222	225	227	226
		220	220	220	227	226
Janeiro/1999	(282, 346)	204	206	206	206	211
		201	206	206	206	208
		206	204	<b>204</b>	208	206
		208	206	204	208	208
		208	206	208	211	208
Fevereiro/1999	(282, 346)	215	215	211	213	213
		218	220	218	215	215
		222	225	<b>222</b>	218	218
		225	225	222	222	225
		222	220	222	227	227
Março/1999	(282, 346)	223	221	218	215	214
		226	224	221	219	218
		228	227	<b>225</b>	223	222
		227	226	225	224	223
		222	222	222	222	221
Abril/1999	(282, 346)	216	215	215	215	216
		216	215	216	216	216
		217	216	<b>217</b>	216	216
		219	217	219	219	217
		219	217	219	220	219

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Maio/1999	(282, 346)	221	220	220	221	222
		220	220	220	221	222
		219	219	<b>220</b>	221	222
		219	219	220	221	222
		220	220	220	221	221
Junho/1999	(282, 346)	215	216	219	219	219
		214	215	217	219	217
		215	214	<b>215</b>	216	216
		216	214	215	215	216
		216	215	216	216	217

**Tabela IV.5 – Leitura de *Pixels* para Brasópolis (22<sup>o</sup>32'S, 45<sup>o</sup>35'W)**

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Setembro/1994	(355, 315)	146	150	153	139	127
		143	129	134	150	146
		143	146	<b>150</b>	160	146
		143	163	160	150	141
		143	165	198	201	225
Outubro/1994	(355, 315)	120	120	123	123	123
		139	139	137	172	172
		187	187	<b>188</b>	188	188
		187	187	188	188	188
		166	166	154	126	126
Novembro/1994	(355, 315)	189	191	196	193	191
		182	170	172	191	206
		170	172	<b>175</b>	204	208
		179	182	175	177	177
		184	182	213	222	216
Dezembro/1994	(355, 315)	208	211	219	222	224
		215	215	219	215	217
		217	221	<b>221</b>	219	215
		222	227	222	224	221
		225	224	203	196	190

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Março/1995	(355, 315)	221	226	221	215	216
		216	220	219	219	217
		210	209	<b>216</b>	215	212
		209	211	215	217	211
		210	203	192	186	180
Abril/1995	(355, 315)	189	179	177	179	170
		193	177	170	175	172
		191	179	<b>172</b>	177	182
		179	172	168	163	170
		182	189	220	215	222
Maio/1995	(355, 315)	186	177	175	168	163
		189	177	177	182	175
		196	184	<b>179</b>	186	175
		189	191	186	175	172
		186	204	226	226	215
Julho/1995	(273, 309)	179	172	170	175	172
		175	182	182	182	175
		179	182	<b>182</b>	177	172
		186	177	175	170	168
		182	182	179	172	170
Agosto/1995	(273, 309)	184	182	177	172	170
		175	177	177	175	170
		172	175	<b>177</b>	177	172
		182	179	177	177	177
		177	175	172	175	175
Setembro/1995	(273, 309)	179	170	175	175	175
		179	175	177	177	175
		172	175	<b>175</b>	172	172
		175	175	177	177	175
		179	175	182	184	184
Outubro/1998	(357, 273)	209	209	211	212	212
		208	216	206	221	209
		221	210	<b>227</b>	203	221
		204	204	216	217	210
		210	217	219	216	222

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica				
Novembro/1998	(357, 273)	214	210	209	212	215
		211	219	210	219	210
		225	216	<b>225</b>	208	221
		210	215	220	221	212
		224	222	220	221	227
Dezembro/1998	(357, 273)	208	212	212	210	214
		208	214	206	214	209
		221	210	<b>220</b>	199	214
		206	205	212	211	205
		215	216	214	215	216
Janeiro/1999	(357, 273)	200	200	199	196	197
		198	203	193	199	197
		208	194	<b>206</b>	192	198
		198	196	203	199	193
		198	202	199	198	203
Fevereiro/1999	(357, 273)	202	200	204	205	200
		199	203	196	206	202
		211	198	<b>217</b>	191	208
		203	202	205	206	203
		209	210	208	204	208
Março/1999	(357, 273)	221	220	220	221	222
		216	251	201	233	214
		201	202	<b>235</b>	197	241
		218	235	176	248	197
		237	184	255	198	237
Abril/1999	(357, 273)	213	213	213	213	206
		225	218	227	196	220
		191	206	<b>191</b>	215	201
		225	226	215	211	225
		206	220	222	211	213
Maio/1999	(357, 273)	225	225	225	225	222
		221	227	227	213	227
		204	225	<b>196</b>	215	213
		219	220	227	227	225
		220	227	220	213	213

Imagem	Coordenadas Coluna, linha	Contagem radiométrica
Junho/1999	(357, 273)	227 227 225 225 227
		220 227 221 218 227
		215 226 <b>204</b> 214 220
		219 219 224 224 225
		225 225 226 222 225

#### IV.5 – ESTUDOS COMPARATIVOS DA CONTAGEM RADIOMÉTRICA NOS SÍTIOS ASTRONÔMICOS PESQUISADOS

No gráfico apresentado na Figura IV.77 estão assinalados os valores médios do contador digital para os sítios astronômicos em que centramos nossa atenção, enquanto a Tabela IV.6 mostra um quadro comparativo destes valores.

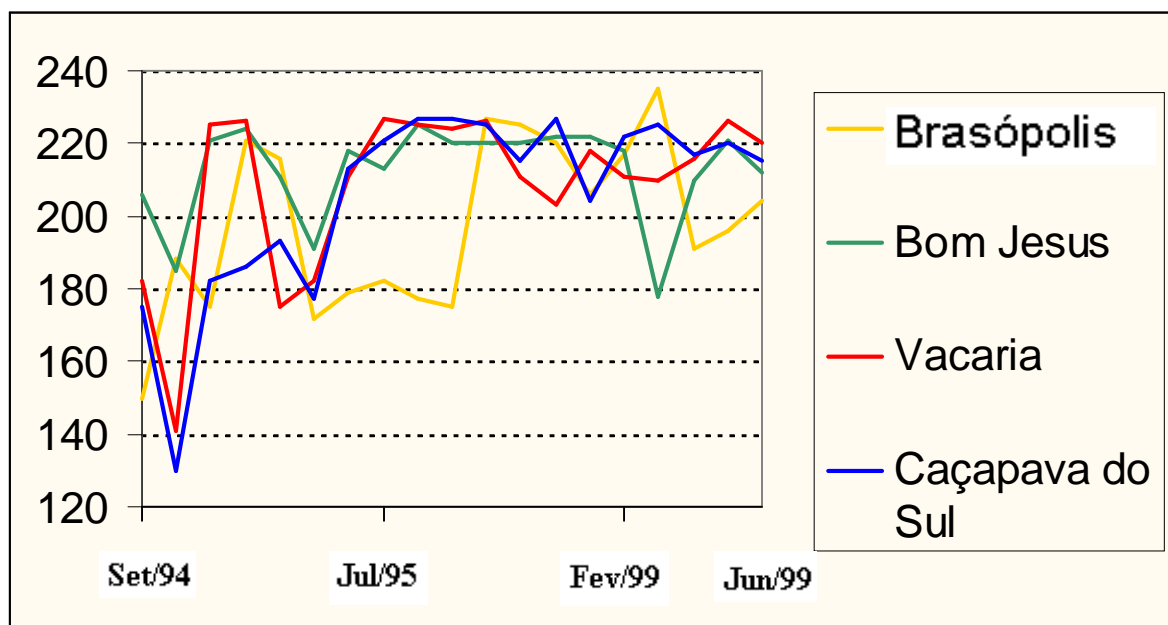


Figura IV.77 – Gráfico da contagem radiométrica média nas regiões estudadas



**Tabela IV.6 – Tabela comparativa da contagem radiométrica média**

<b>Imagem</b>	<b>Contagem Radiométrica Média</b>			
	<b>Brasópolis</b>	<b>Bom Jesus</b>	<b>Vacaria</b>	<b>Caçapava do Sul</b>
Setembro/1994	150	206	182	175
Outubro/1994	188	185	141	130
Novembro/1994	175	221	225	182
Dezembro/1994	221	224	226	186
Março/1995	216	211	175	193
Abril/1995	172	191	182	177
Maió/1995	179	218	211	213
Julho/1995	182	213	227	221
Agosto/1995	177	225	225	227
Setembro/1995	175	220	224	227
Outubro/1998	227	220	226	225
Novembro/1998	225	220	211	215
Dezembro/1998	220	222	203	227
Janeiro/1999	206	222	218	204
Fevereiro/1999	217	218	211	222
Março/1999	235	178	210	225

Imagem	Contagem Radiométrica Média			
	Brasópolis	Bom Jesus	Vacaria	Caçapava do Sul
Abril/1999	191	210	216	217
Maio/1999	196	221	226	220
Junho/1999	204	212	220	215

A análise do gráfico da Figura IV.77 mostra claramente que a cobertura de nuvens apresenta menores índices médios para a região de Brasópolis nos meses de outono e de inverno, enquanto nos meses de primavera e de verão são as regiões do sul do país que apresentam menor média de nebulosidade. Tal fato confirma as afirmativas de Leitão (1993) e, de certa forma, já era do conhecimento da comunidade científica. Nos meses de abril de 1995 a setembro de 1995, Brasópolis destaca-se nitidamente das outras localidades analisadas, seu contador radiométrico é bem menor do que as demais cidades do Rio Grande do Sul, cujos contadores digitais são bem próximos, indicando que tais sítios possuem baixíssimas quantidades de noites fotométricas e/ou úteis. No mês de outubro de 1994, Caçapava do Sul e Vacaria apresentam contadores digitais menores que as demais localidades, sugerindo possuírem maior quantidade de noites fotométricas que as outras regiões, fato que se repete com Caçapava do Sul, em dezembro daquele ano, e com Bom Jesus, em março de 1999. Nos demais períodos analisados, a média da cobertura de nuvens nos sítios estudados mostrou-se muito semelhante, alternando-se o valor de menor contador digital entre Brasópolis e as cidades gaúchas, conforme a estação do ano. Entre os sítios estudados, no Rio Grande do Sul, verificamos que a média da cobertura de nuvens, em termos quantitativos e no período considerado, foi discretamente menor em Caçapava do Sul.

## CAPÍTULO V

### DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

---

#### V.1 – ANÁLISE DO MÉTODO UTILIZADO

O método implementado neste trabalho revelou-se simples e de grande potencialidade, mostrando-se eficaz na busca dos fins a que se propunha, estando, portanto, apto a ser aplicado em trabalhos congêneres.

Resumidamente, tal método consiste na coleta de imagens geradas por plataformas espaciais, no nosso caso satélites meteorológicos, a soma “*pixel a pixel*” destas imagens, o cálculo do “*pixel médio*” deste grupo de imagens, utilizando-se nestas etapas *softwares* como o IDRISI, SPRING ou similares, e a análise da imagem resultante com vistas a identificar regiões com baixa cobertura de nuvens, as quais elegemos como potenciais candidatas a sediar observatórios astronômicos. Assim, as regiões escolhidas, teoricamente, teriam sua utilização maximizada, quando consideradas sob os aspectos de “noite fotométrica” e de “noite útil”, já definidos nesta dissertação.

Um ponto crítico do método refere-se à imagem “resultante”, a qual carrega obviamente a média da nebulosidade das imagens que representa, tendendo

rapidamente, por esta razão, a apagar feições geográficas que poderiam ser reconhecidas por inspeção visual num possível georeferenciamento através de pontos de controle.

Outra questão relevante é a análise dos *pixels* da imagem-resultado. Pelos critérios especificados neste trabalho, sabemos que valores de contador digital maiores que 94, para imagens meteorológicas na faixa do infravermelho, consideradas individualmente, referem-se a áreas com cobertura de nuvens acima de 30%, portanto inapropriadas para observações astronômicas. Contudo, como o *pixel* da imagem-resultado é a média aritmética do *pixel* correspondente de várias imagens, não podemos interpretá-lo deste modo. Nesta dissertação, a solução adotada foi apresentar um estudo comparativo dos *pixels* da imagem-resultado, apontando aqueles de menor valor de contador digital, que, portanto, representam as áreas cuja média da cobertura de nuvens foi menor, em contraposição àqueles de maior cd, que, por conseqüência, correspondem às áreas de média maior de cobertura de nuvens, suscetíveis, pois, de possuírem menor quantidade de noites fotométricas e, assim, considerados menos aptos a abrigar observatórios astronômicos.

Também, o “registro” entre as imagens é de relevante importância, uma vez que devemos ter certeza que os *pixels* médios que compõem a imagem resultante correspondam as mesmas regiões geográficas representadas pelos *pixels* das imagens envolvidas na operação. Convém ressaltar que o registro entre imagens pode se tornar uma operação laboriosa e de intrincada implementação, dependendo do banco de imagens utilizado, bem como, da formatação dos dados que as compõem. Todavia, em nosso trabalho, o “registro” das imagens não se constituiu em empecilho, pois as imagens por nós utilizadas eram previamente registradas pelo INPE.

Observamos, por fim, que a apresentação das imagens resultantes, apesar de não oferecer dificuldades em termos computacionais, mostrou-se inapropriada à visão. Os

tons de cinza que compõem as imagens médias tendem, naturalmente, a valores muito próximos entre si, o que, por dificuldades humanas em lidar com baixos níveis de contraste, inerentes ao nosso sistema de visão, forçou-nos a introdução de “falsa cor” na representação gráfica dos resultados, embora todo o trabalho computacional considere tão somente “tons de cinza”.

## V.2 – ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos, apesar de pobres em termos de resolução espacial, mas condizentes com os objetivos inicialmente traçados, apresentaram-se coerentes com o que se conhece da astrometeorologia do Brasil e, em especial, do Rio Grande do Sul. No período estudado, entre os locais em que focamos nossa atenção, verificamos que o sítio que apresentava menor nebulosidade alternava-se, conforme a estação do ano, conseqüência direta do regime de chuvas da região em que se situava. A região de Brasópolis, em Minas Gerais, consoante as Figuras IV.1 a IV.38, que mostram as imagens resultantes em escala continental e seus respectivos histogramas, e a Tabela IV.5, que apresenta a leitura de *pixels* para esta localidade, tomada como referência por ser sede do mais importante observatório astronômico em solo brasileiro e por sua sabida excelência quanto aos aspectos astrometeorológicos, destacou-se nos meses do outono e do inverno, como pode ser visto no gráfico da Figura IV.77 e na Tabela IV.6, enquanto nos meses relativos à primavera e ao verão, as regiões do Rio Grande do Sul mostraram-se propensas a menor nebulosidade, de acordo com as Figuras IV.39 a IV.75, que apresentam as imagens resultantes, e seus respectivos histogramas, em escala regional (zoom sobre a área do Rio Grande do Sul). Entre as cidades gaúchas, veja-se as Tabelas IV.2 a IV.4, em que se explicitam a leitura de *pixels* para estas localidades, constatamos índices próximos de nebulosidade entre Bom Jesus, Vacaria e Caçapava do

Sul, com pequena vantagem, quantitativamente, em favor de Caçapava do Sul, conforme expressa o gráfico da Figura IV.77 e a Tabela IV.6, comparativa de contagem radiométrica. Observamos que os resultados obtidos nesta Dissertação apresentam plena concordância com os resultados a que chegou Leitão (1993), ratificando, deste modo, aquele trabalho. Vale ressaltar, ainda, que as regiões no entorno das cidades de Alegrete, Uruguaiana e Itaqui apresentaram baixos, e por isto promissores, índices de nebulosidade, relativamente às demais regiões do sul do país. Contudo, as altitudes destas localidades são baixas para a maioria dos projetos observacionais em Astronomia.

Destacamos, também, que a informação sobre nebulosidade está diretamente vinculada àquela da insolação, a qual tem relevância para aplicações em outras áreas, como a agricultura ou a geração de energia solar. Por exemplo, sabe-se que no verão 1998-1999, em especial nos meses de janeiro a março de 1999, houve grande seca no Estado, refletindo-se na excelente qualidade dos vinhos gaúchos e na baixa produtividade agrícola. Coincidentemente, o gráfico da Figura IV.77 mostra uma acentuada queda na contagem radiométrica (178, conforme a Tabela IV.6) para a região no entorno da cidade de Bom Jesus, um dos locais eleitos para estudo neste trabalho e situado próximo a serra gaúcha, sabidamente região celeiro da vitivinicultura no país. Tal coincidência sucinta pertinente questionamentos e sugere verificar se, nas palavras do Dr. Jorge Ducati, orientador desta dissertação, “(...) *o que é bom para a Astronomia também é bom para o vinho*” e vice-versa.

Em conclusão, constatamos que o uso de uma base de dados formada por imagens meteorológicas coletadas por longos períodos fornece informações valiosas para estudos em muitas outras aplicações, as quais extrapolam os objetivos iniciais deste trabalho.

### V.3 – DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A potencialidade da metodologia aplicada nesta dissertação mostrou-se eficiente e eficaz, além de apresentar baixíssimo custo, descortinando possibilidades de aplicação extremamente promissoras, entre as quais destacamos:

- a) Estudo em micro-escala das regiões de Bom Jesus, Vacaria e Caçapava do Sul, visando aumentar a resolução espacial obtidas nesta dissertação;
- b) Estudo em micro-escala no sudoeste do Rio Grande do Sul, objetivando indicar possíveis locais candidatos a sediar observatório astronômico;
- c) Estender o método aqui aplicado às imagens geradas pelo satélite NOAA, captadas pela antena instalada no CEPSRM;
- d) Elaboração de um banco de imagens do satélite NOAA, com a finalidade de viabilizar a implementação das diretrizes explicitadas nos itens anteriores;
- e) Integrar a presente dissertação a trabalhos semelhantes desenvolvidos no CEPSRM;
- f) Desenvolver estudos *in situ* nos locais aqui apontados, com o intuito consolidar estatisticamente a relação entre contador digital e a nebulosidade;
- g) Implementar estudos visando verificar, e se possível estender, a aplicação do método desenvolvido nesta dissertação a outras áreas do conhecimento, tais como a agricultura e, em especial, a vitivinicultura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, L. M. *Anteprojeto de Observatório Astrofísico no Brasil - XXIII Reunião Anual da SBPC*. In **Ciência e Cultura**, **23**, (supl. 1), p. 31. São Paulo: SBPC, 1971.

BREGANHOLA, Marcelo. *Diretório de Observatórios Brasileiros*. In: **Anais Expoastro 1998 - Astronomia: Educação e Cultura**. Coordenador Geral: Carlos Aparecido Kantor. Editado pela SAAD – Sociedade de Astronomia e Astrofísica de Diadema. Agosto de 1998. p. 104-114.

CERRO TOLOLO INTER-AMERICAN OBSERVATORY. **Facilities Manual**. Prepared by the CTIO Staff and edited by James E. Hesser. 2.ed. October, 1977. p. 7.1-7.2.

CERRO TOLOLO INTER-AMERICAN OBSERVATORY. **Cerro Tololo Inter-American Observatory – Home Page**. Disponível em: <<http://www.ctio.noao.edu/>>. Acesso em: 31 ago. 1999.

CORNELL ATACAMA TELESCOPE. **Cornell Site Survey Campaign – Home Page**. Disponível em: <<http://astrosun.tn.cornell.edu/>>. Acesso em: 06 set. 1999.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: Unicamp, 1993.

EUROPEAN ORGANISATION FOR THE EXPLOITATION OF METEOROLOGICAL SATELLITES. **The Meteosat System**. Revision 4. Eumetsat: november, 2000.

EUROPEAN ORGANISATION FOR THE EXPLOITATION OF METEOROLOGICAL SATELLITES (EUMETSAT). **EUMETSAT Home Page**. Disponível em: <<http://www.eumetsat.int/>>. Acesso em: 01 jul. 1999.

EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY. **User Manual**. Editor Anthony C. Danks. April, 1983. p. 1-2.

EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY. **La Silla Observatory Home Page**. Disponível em: <<http://www.ls.eso.org/index.html>>. Acesso em: 20 jun. 2002.



EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY. **Paranal Observatory Home Page**. Disponível em: <<http://www.hq.eso.org/paranal/>>. Acesso em: 20 jun. 2002.

FEIJÓ, E.S. **Transparência e Turbulência Atmosférica no Infravermelho**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GAMOW, G. **Biografia da Terra**. Tradução por Ruth Lobato e Monteiro Lobato. 5. ed. Porto Alegre: Globo, 1973. 250 p. Tradução de: A Planet Called Earth.

GRAEF, G. L. *A close look at GIF, TIFF and other attempts at a universal image format*. (Graphics Formats). In **Byte**. p. 305-10. U.S.A.: sept./1989.

HOFFMANN, G. R. **Rio Grande do Sul: Aspectos da Geografia**. Porto Alegre: Martins Livreiro, 1990.

HARWIT, M. **Astrophysical Concepts**. New York: Wiley, 1983.

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS. **Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo**. Disponível em: <<http://www.iac.es/proyect/optc/>>. Acesso em: 10 mai. 1999.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos**. Página principal – Internet. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso diário de 01 de setembro de 1994 até 01 de agosto de 1999.

INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION. **Protection of Observatory Sites**. Trans B, Vol XIX, Nº B6. Delhi, 1985. Disponível em: <<http://www.iau.org>>. Acesso em: 10 jan. 1999.

KLEIBER, J. **Física**. Tradução por Álvaro Magalhães. 4. ed. Porto Alegre: Globo, 1959. 342 p. Vol. II. Tradução de: Lehrbuch Der Physik.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ASTROFÍSICA. **Observatório do Pico dos Dias – OPD**. Página principal - Internet. Disponível em: <<http://www.lna.br/opd/opd.html>>. Acesso em: 10 set. 1999.

LEITÃO, R. S. **Astrometeorologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1993. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 58 p.

MAGRO, F.H.S.; DUCATI, J.R.; LEITÃO, R.S. *Posicionamento em imagens digitais do sistema GOES*. In **Revista Pesquisa em Geociências**. Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 114-8, 1993.

MARQUES, J.R.Q. **Classificação de nuvens através de imagens Meteosat**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 101 p.

MAZZUCA JUNIOR, J. **Localização de sítios astronômicos através de imagens dos satélites NOAA's**. Porto Alegre: UFRGS, 1999. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 40 p.

MELLO, F. S. **Escolha de sítio para o Observatório Astrofísico Brasileiro**. Rio de Janeiro: CNPq, Observatório Nacional, 1982.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **GOES Project Science**. Disponível em: <<http://rsd.gsfc.nasa.gov/goes/goesproject.html>>. Acesso em: 31 out. 1999.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. **GOES I-M DataBook**. Publicação on-line. Disponível em: <<http://rsd.gsfc.nasa.gov/goes/text/goes.databook.html>>. Acesso em: 20 out. 1999.

NETO, J. F. **Compressão Sem Perdas de Imagens Digitais**. Aracaju: Universidade Tiradentes, 1999. Disponível em: <<http://www.unitnet.com.br/usr/jfonseca>>. Acesso em: 11 mar. 2000.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308 p.

OSÓRIO, F. S. **Um Estudo Sobre Conhecimento Visual de Caracteres, Através de Redes Neurais**. Porto Alegre: UFRGS, 1991. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RICHARDS, J.A. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Berlin: Springer-Verlang, 1981.

RODDIER, F. *The Effects of Atmospheric Turbulence in Optical Astronomy*. In **Progress in Optics**. North Holland, E. Wolf ed., 1981, p 281-376, vol. XIX.

RODDIER, F. *Guidelines For a Site Testing Campaign and the LASSCA Experience*. In **ESO Conference and Workshop Proceedings**, 24, (11). Edited by D'Odorico and J.-P. Swings. Venice: 1986.

RONAN, C. A. **História Ilustrada da Ciência da Universidade de Cambridge**. Tradução por Jorge Enéas Fortes. São Paulo: Círculo do Livro, 1987. 4 v. V. 1: Das Origens à Grécia. Tradução de: The Cambridge Illustrated History of the World's Science.

SARAZIN, Marc. *ESO VLT Evaluation II*. In **ESO Conference and Workshop Proceedings**, 24 (11). Edited by D'Odorico and J.-P. Swings. Venice: 1986.

SCHILDT, H. **Linguagem C – Guia do Usuário**. Tradução: Lars Gustav Erik Unonius. Revisão técnica: João Hajime Takeda. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

SCHNUR, G.F.O.; MATTILA, K. **Astron. Ges.** 45, 196. Mitt: 1979.

SORENSEN, Anders Meier. *Meteosat-5 Relocation*. In **Image**, 8 (5), Eumesat, 1998. Disponível em: < [http://www.eumetsat.de/en/area2/image/PDF/image08\\_e.pdf](http://www.eumetsat.de/en/area2/image/PDF/image08_e.pdf)>. Acesso em: 25 jul.1999.

WALKER, M. F. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, 83, p. 401, 1971.

WALKER, M. F. *Light Pollution in California and Arizona*. In **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, 85, (11), p. 508-19, 1973.

ZAGO, Lorenzo. **The Effect of the Local Atmospheric Environment on Astronomical Observations**. PhD Thesis, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1995. Disponível em: <[http://www.eso.org/gen-fac/pubs/astclim/papers/lz-thesis/h\\_thesis.html](http://www.eso.org/gen-fac/pubs/astclim/papers/lz-thesis/h_thesis.html)>. Acesso em: 15 dez. 1998.