



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS




INPE-2534-TDL/101

**Um estudo climatológico da zona de convergência intertropical (ZCIT)
e sua influência sobre a nordeste do Brasil.**

Paulo Roberto Valgas Lobo.


Dissertação de Mestrado em Meteorologia, orientada por Verson E. Kousky, aprovada
em 18 de fevereiro de 1982.

INPE
São José dos Campos
1982

1. Publicação nº INPE-2534-TDL/101	2. Versão	3. Data Set., 1982	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem DRH-DME	Programa FRH/MET		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) IMAGENS DE SATÉLITE CARTAS DE NEBULOSIDADE ZCIT - ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL			
7. C.D.U.: 551.577.3 (812/814)			
8. Título UM ESTUDO CLIMATOLÓGICO DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT) E SUA INFLUÊNCIA SOBRE O NORDESTE DO BRASIL		INPE-2534-TDL/101	10. Páginas: 93
			11. Última página: C.4
9. Autoria Paulo Roberto Valgas Lobo			12. Revisada por  Vernon E. Kousky
 Assinatura responsável			13. Autorizada por  Nelson de Jesus Parada Diretor
14. Resumo/Notas <i>Estudou-se a relação entre a variabilidade sazonal e interanual da ZCIT e a ocorrência de anomalias de precipitação na parte norte da região do Nordeste do Brasil, através da utilização de imagens de satélite, e dados de precipitação. As cartas de brilho obtidas permitem a análise do comportamento da nebulosidade no Nordeste e no oceano Atlântico. Identificou-se um desempenho inverso do brilho, em regiões afastadas da costa do Nordeste nos anos de 1974 (chuvoso) e de 1976 (seco), o que vem corroborar a hipótese de que a precipitação no Nordeste pode ser influenciada por mecanismos dinâmicos de grande escala. Verifica-se também que a ZCIT posicionou-se mais ao sul em 1974 do que em 1976. As cartas de brilho retratam ainda a ZCIT mais ao norte e mais intensa no verão, e no outono ela aparece mais ao sul e mais fraca. Constata-se que na estação chuvosa (março, abril), quando aumenta a atividade convectiva no Nordeste, ocorre um simultâneo enfraquecimento da ZCIT. Isto pode estar relacionado com alterações na posição e na intensidade da circulação de Walker.</i>			
15. Observações Dissertação de Mestrado em Meteorologia, aprovada em 18 de fevereiro de 1982.			

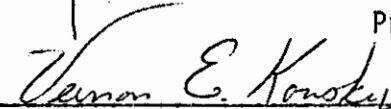
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Meteorologia

Dr. Antonio Divino Moura



Presidente

Dr. Vernon Edgar Kousky



Orientador

Comte. Eugênio José Ferreira Neiva, MSc.



Membro da Banca
-convidado-

Fís. Marlene Elias, MSc.



Membro da Banca

Dr. V. B. Rao



Membro da Banca

Candidato: Paulo Roberto Valgas Lobo

São José dos Campos, 18 de fevereiro de 1982

*Somente chega
quem caminha.*

ABSTRACT

A study on the relation between the seasonal and interannual variability of the ITCZ and the occurrence of rainfall anomalies in the northern part of Northeast Brazil has been carried out by means of satellite imagery and precipitation data. Brightness charts were used to analyse the cloudiness distribution over Northeast Brazil and the South Atlantic. Different distributions were detected for the rainy (1974) and dry (1976) years, in regions far from the Northern Coast. This corroborates the hypothesis that rainfall over the Northeast may be influenced by large scale dynamic mechanisms. It is also noted that the ITCZ had a more southward position in 1974 than in 1976. Brightness charts show a more northward and more active ITCZ in summer, and a more southward and less active ITCZ in autumn. It is observed that in the wet period (March-April), when the convective activity is stronger over the Northeast, there is a simultaneous weakening of the ITCZ. This may be related to the variation in the position and intensity of the Walker circulation.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Vernon Edgar Kouksy, PhD., pela de
dicação e permanente interesse com que acompanhou a realização desta dis
sertação.

Aos pesquisadores do Departamento de Meteorologia deste
Instituto pela fidalga atenção e exemplo durante todas as fases do curso.

Aos colegas de pós-graduação em Meteorologia pela sol
dariedade e estímulo em todos os momentos.

À Diretoria de Hidrografia e Navegação pelo apoio.

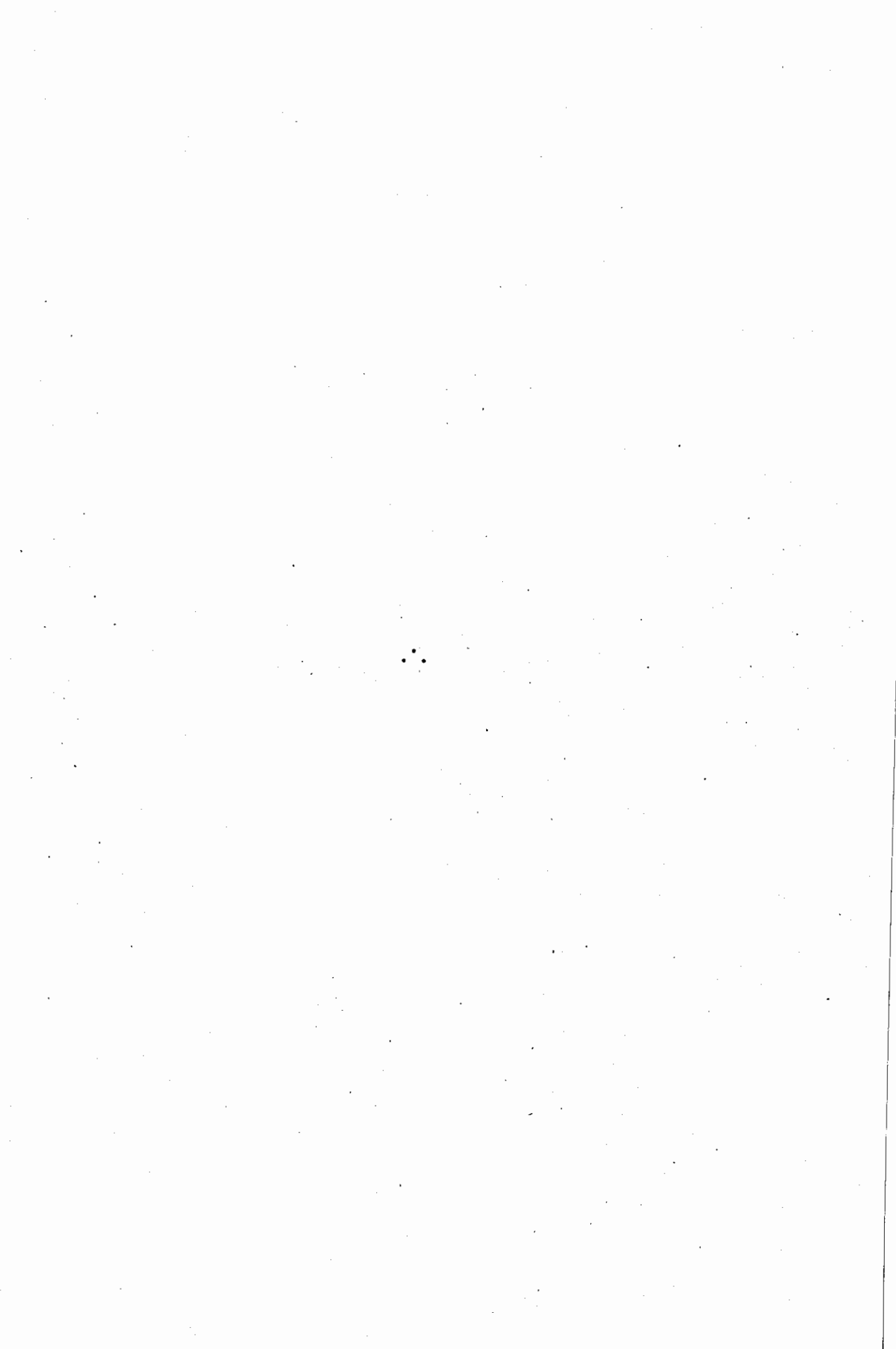
Ao Centro Técnico Aeroespacial pelo apoio e fornecimento de
dados.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia pelo pronto forne
cimento de dados.

Ao companheiro de tantos caminhos, Lucimar Luciano de Oli
veira, pelo cotidiano testemunho de fê.

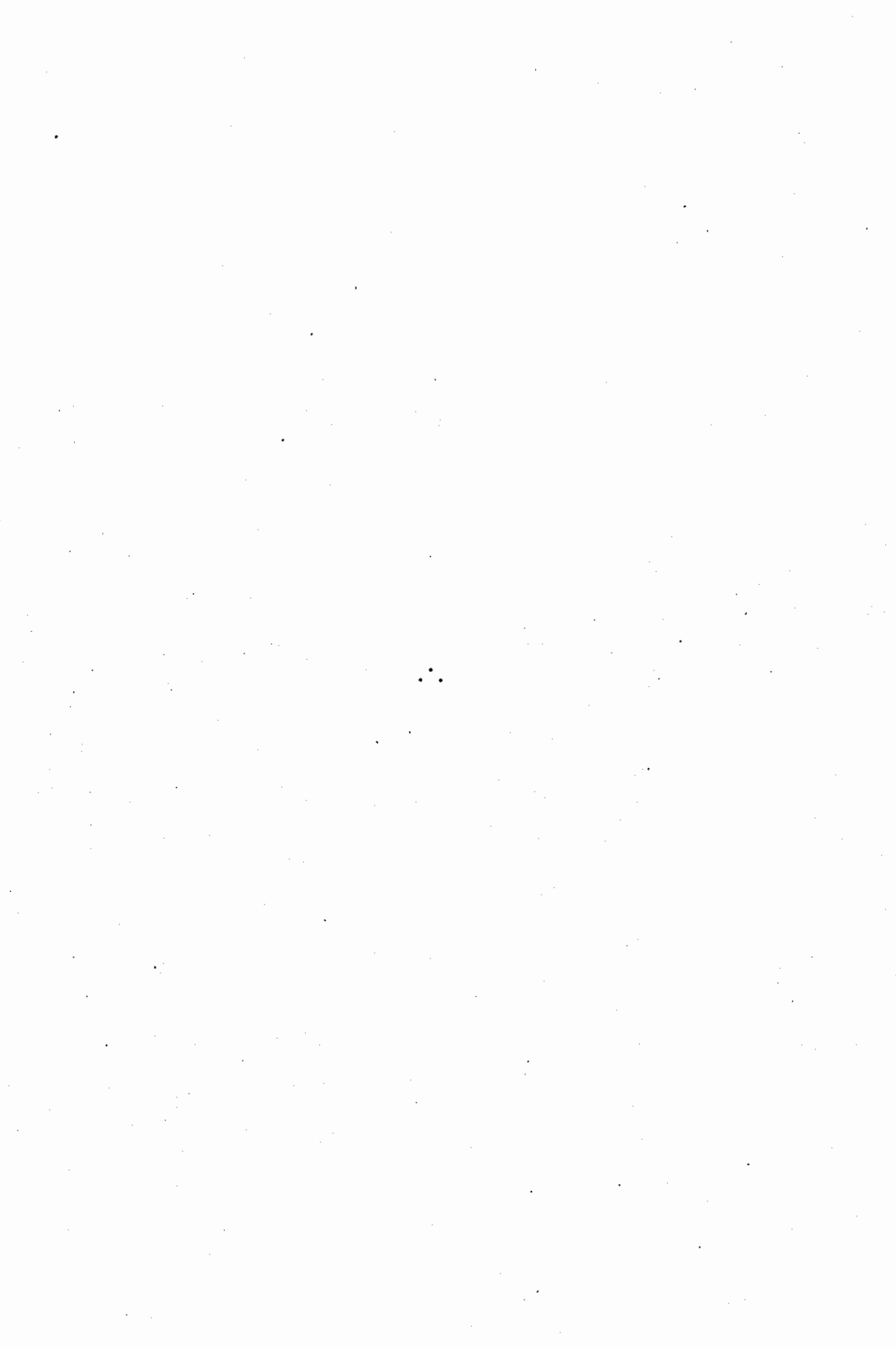
Ao fraterno amigo Carlos Ferreira da Silva, pelo apoio a
meus familiares distantes, proporcionando-me tranquilidade necess
ária pa
ra conduzir este trabalho.

À minha família pela paciência, abnegação e compreensão.



SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>xiii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xv</i>
LISTA DE SIGLAS	<i>xvii</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Regime de chuvas no Nordeste	1
1.2 - Variabilidade interanual da precipitação no Nordeste	3
1.3 - Variabilidade interanual global	10
1.4 - Variabilidade dos ventos alísios	12
1.5 - Objetivos	16
<u>CAPÍTULO 2 - DADOS E METODOLOGIA</u>	19
2.1 - Dados de nebulosidade	19
2.2 - Cartas de brilho médio	21
2.3 - Variações de curto prazo de nebulosidade e de precipitação ..	22
2.4 - Correlação	22
<u>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS</u>	25
3.1 - Cartas climatológicas de nebulosidade	25
3.2 - Cartas de frequência relativa de brilho	27
3.3 - Cartas médias mensais de nebulosidade	30
3.4 - Cartas de desvios de brilho	31
3.5 - Cartas de diferença de brilho	39
3.6 - Variações de curto prazo	43
<u>CAPÍTULO 4 - SUMÁRIO E CONCLUSÕES</u>	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE A - TABELA DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	
APÊNDICE B - CARTAS COM VALORES DE BRILHO MÉDIO MENSAL	
APÊNDICE C - CARTAS DE DIVERGÊNCIA, MOVIMENTO VERTICAL E BRILHO MÉDIO.	



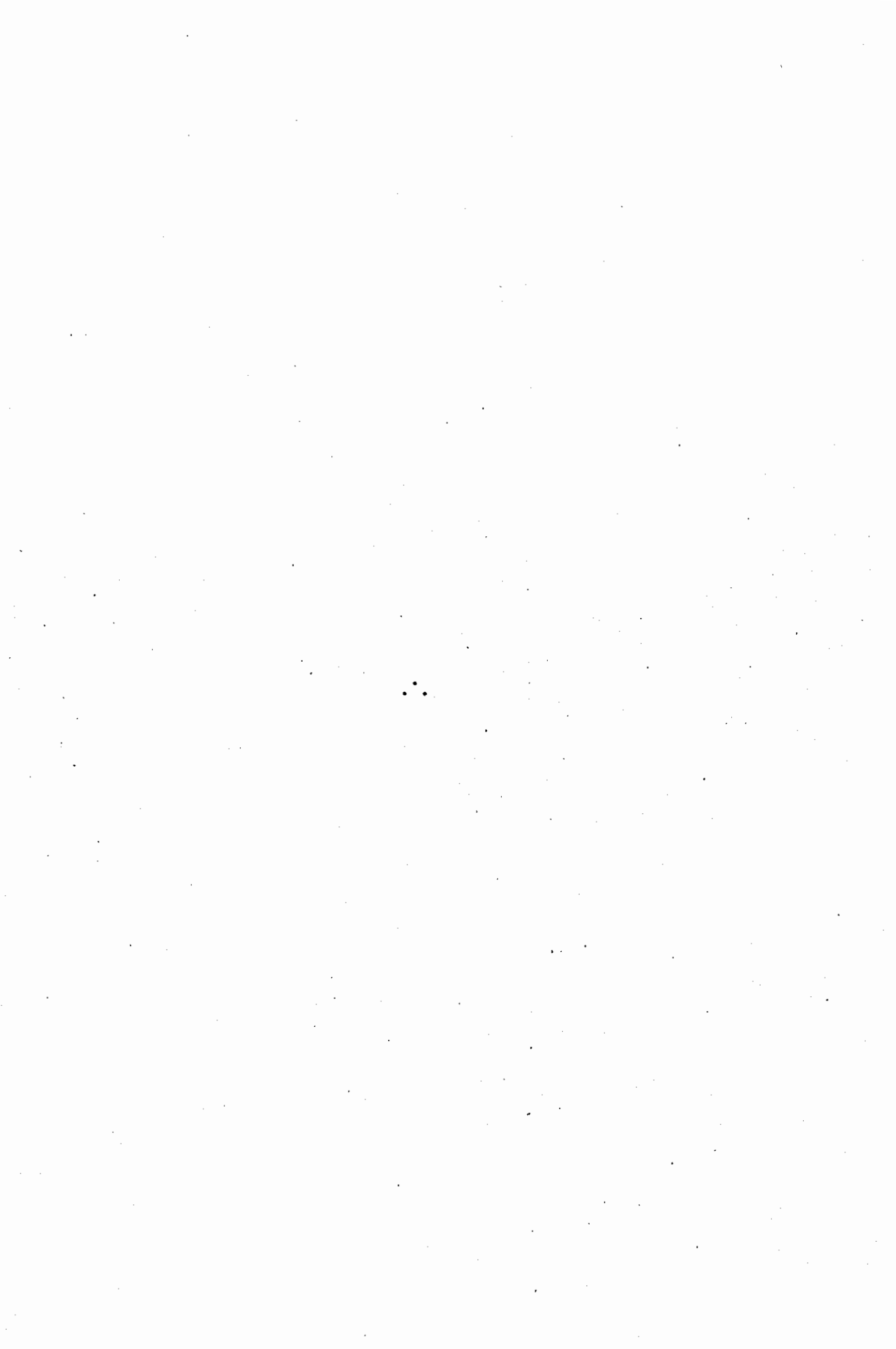
LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Precipitação média anual no Nordeste do Brasil em 10^2 mm ...	3
1.2 - Distribuição em área dos meses de máxima precipitação no Nordeste	4
1.3 - Precipitação em Quixeramobim, Ceará ($5^{\circ}12'S$, $39^{\circ}18'W$)	6
1.4 - Correlação entre anomalias de pressão à superfície e anomalias de Djakarta	13
1.5 - Desvios de médias mensais da componente meridional dos ventos alísios	14
1.6 - Anomalias das componentes meridionais dos ventos alísios e índice de precipitação para as ilhas Line	15
1.7 - A intensidade do vetor "vento médio" (ms^{-1}) sobre os domínios de ventos alísios de nordeste ($10-30^{\circ}N$, $20-50^{\circ}W$) e de sudeste ($10^{\circ}S-10^{\circ}N$, $5-35^{\circ}W$)	15
1.8 - Número de onda 7 (modo de 14 dias) para os dois sistemas de ventos alísios	16
2.1 - Área de trabalho, com imagens de satélite	19
3.1 - Cartas climatológicas de brilho, período de 1971 a 1977, em oitavos de céu coberto	26
3.2 - Cartas de frequência de forte nebulosidade (6, 7 e 8 oitavos), em percentagens, no período de 1971 a 1977	28
3.3 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de dezembro, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977	32
3.4 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de janeiro, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977	33
3.5 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de fevereiro, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977	34
3.6 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de março, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977	35
3.7 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de abril, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977	36
3.8 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de maio, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977	37
3.9 - Cartas de brilho mensal e normal do mês de junho, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977	38
3.10 - Cartas de desvios do brilho (média mensal menos a média climatológica) para o mês de abril, em oitavos de céu coberto .	40
3.11 - Cartas de diferença de nebulosidade (média mensal de 1974 menos a média mensal de 1976), em oitavos de céu coberto	44
3.12 - Esquema da seção vertical de um sistema de vórtice ciclônico, adaptação de Kousky and Alonso (1981)	45

	<u>Pág.</u>
3.13 - Modo esquemático de interação da ZCIT com as zonas de convergência no outono	45
3.14 - Séries nebulosidade versus tempo, dezembro/1973 a junho/1974, para os seguintes quadrados de Marsden: a) 005 1; b) 004 2; c) 304 1; e d) 303 2	47
3.15 - Séries precipitação versus tempo, dezembro/1973 a junho/1974	48
3.16 - Série nebulosidade versus tempo, dezembro/1975 a junho/1976, para os seguintes quadrados de Marsden: a) 005 1; b) 004 2; c) 304 1; e d) 303 2	49
3.17 - Séries precipitação versus tempo, dezembro/1975 a junho/1976	50
C.1 - Isolinhas de divergência e movimento vertical (janeiro) ...	
C.2 - Isolinhas de divergência e movimento vertical (abril)	
C.3 - Cartas de brilho (janeiro)	
C.4 - Cartas de brilho (abril)	

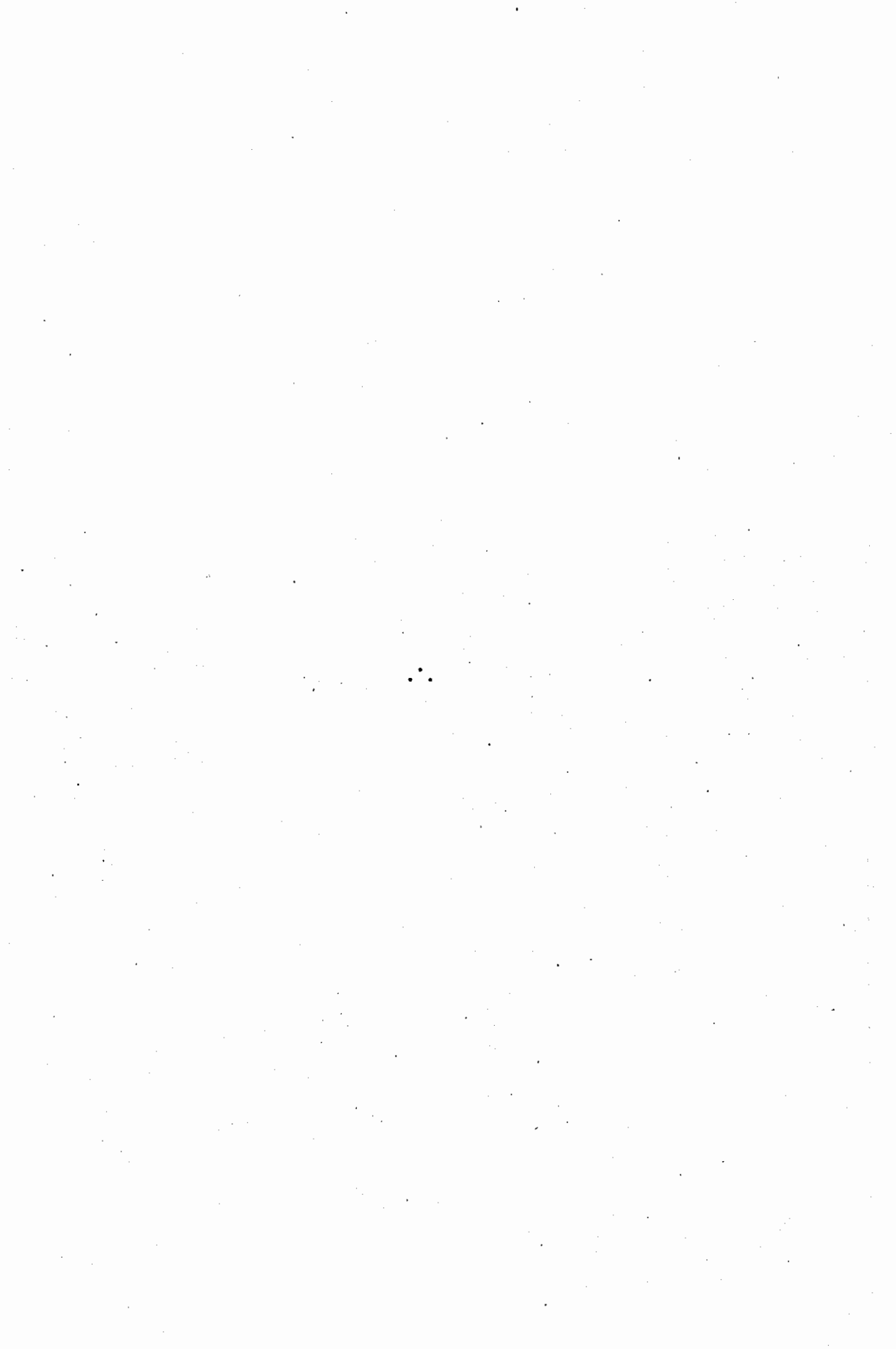
LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Precipitação média mensal para Quixeramobim (1947 a 1970) ..	2
1.2 - Precipitação mensal em Quixeramobim (1971 a 1977)	5
B.1 - Cartas com valores de brilho médio (dezembro)	B.1
B.2 - Cartas com valores de brilho médio (janeiro)	B.2
B.3 - Cartas com valores de brilho médio (fevereiro)	B.3
B.4 - Cartas com valores de brilho médio (março)	B.4
B.5 - Cartas com valores de brilho médio (abril)	B.5
B.6 - Cartas com valores de brilho médio (maio)	B.6
B.7 - Cartas com valores de brilho médio (junho)	B.7



LISTA DE SIGLAS

- CIT - Confluência Intertropical
- DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação
- GARP - Global Atmospheric Research Program
- GATE - Garp Atlantic Tropical Experiment
- HML - Hora Média Local
- HN - Hemisfério Norte
- HS - Hemisfério Sul
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
- NCC - National Climatic Center
- OS - Oscilação do Sul
- PNM - Pressão atmosférica ao nível do mar
- TSM - Temperatura do ar úmido à superfície do mar
- ZCIT - Zona de convergência intertropical



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - REGIME DE CHUVAS NO NORDESTE

As secas ocasionais na área do Nordeste são certamente um dos problemas meteorológicos mais sérios do Brasil, principalmente por causa das desastrosas conseqüências sociais e econômicas para o País. O nordestino convive normalmente com variações sazonais de precipitação bem acentuadas e variações interanuais que eventualmente assumem proporções drásticas. A contribuição do segundo semestre para o balanço hidrológico anual é insignificante, visto que, no período de agosto a novembro, os índices pluviométricos são, sistematicamente, extremamente baixos. Como exemplo, pode-se observar os dados de uma estação típica (Tabela 1.1), Quixeramobim, que apresenta correlação superior a 0,7 com outras estações do Nordeste (Markham, 1967).

Além das variações sazonais de precipitação no Nordeste, observam-se também variações espaciais (Figura 1.1). A distribuição da precipitação mensal no decorrer do ano sugere que mais de um fator relevante é envolvido na sua produção em todo o Nordeste. A chuva atinge um máximo mensal na área do Ceará, oeste do Rio Grande do Norte, e seções interiores da Paraíba e Pernambuco durante março e abril (Figura 1.2). O interior sul da Bahia apresenta um máximo em dezembro, enquanto as seções costeiras do leste do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia apresentam um máximo de maio a julho. Conforme constatado por Kousky (1979) e por Strang (1972), existem regiões com superposição de períodos de máxima precipitação, tais como a parte central e nordeste da Bahia (dezembro e março) e a parte costeira da Bahia (dezembro e maio)

TABELA 1.1

PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL EM QUIXERAMOBIM PARA O PERÍODO DE 1947 a
1970, ADAPTADA DE NAMIAS (1972)

Meses	Precipitação
Janeiro	43
Fevereiro	88
Março	171
Abril	160
Maio	102
Junho	39
Julho	20
Agosto	9
Setembro	4
Outubro	3
Novembro	6
Dezembro	16
Total	661

- Total mensal em mm.

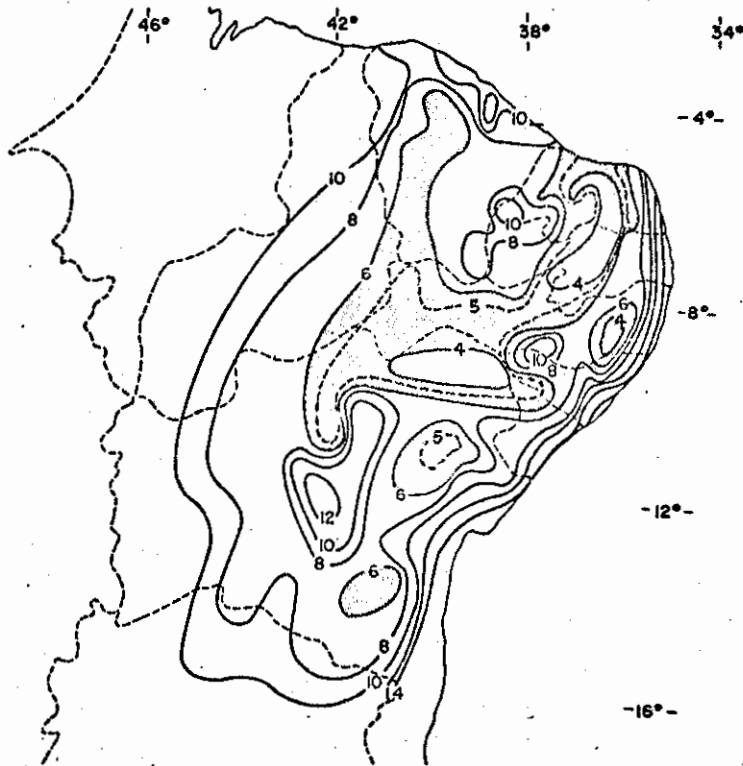


Fig. 1.1 - Precipitação média anual no Nordeste do Brasil em 10^2 mm.

FONTE: Kousky and Chu (1978).

1.2 - VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE

Embora nos anos secos a época crítica na parte norte do Nordeste seja quase todo o segundo semestre, o foco deste trabalho concentra-se no primeiro semestre. O desempenho da precipitação na estação chuvosa (março a maio) é decisivo para o agravamento da seca no período crítico; isto pode ser constatado na Tabela 1.2, para o período de 1971 a 1977 e nos anos extremamente seco (1958) e extremamente chuvoso (1964), na Figura 1.3, durante os quais os totais de chuva nesta estação foram, respectivamente, muito abaixo e muito acima da média climatológica.

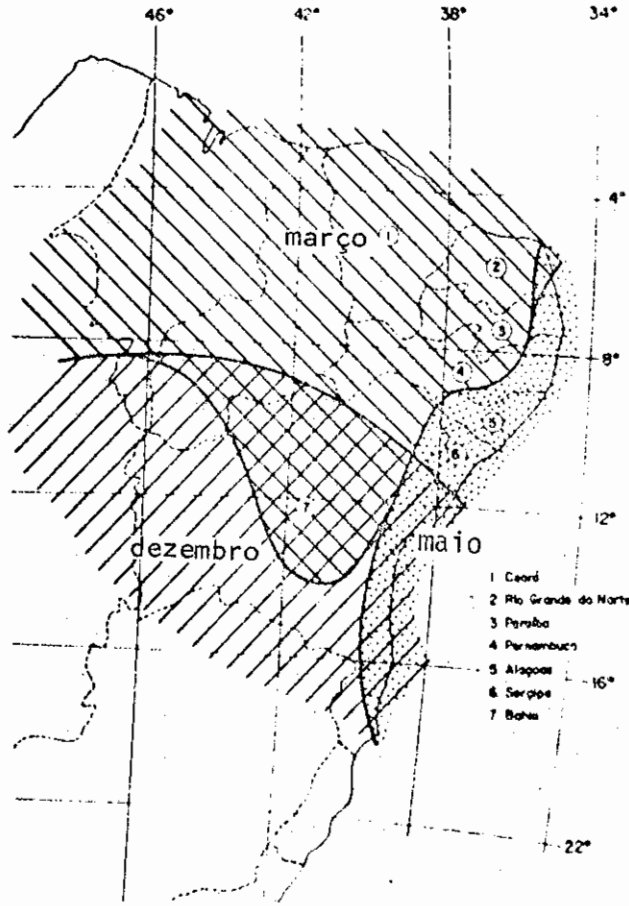


Fig. 1.2 - Distribuição em área dos meses de máxima precipitação no Nordeste.

- Os dados usados são para o período de 1931-1960 e foram obtidos da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.

FONTE: Kousky (1979)

TABELA 1.2

PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL EM QUIXERAMOBIM PARA O PERÍODO DE 1971 a 1977

MÊS \ ANO	ANO							OBSERVAÇÕES
	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	
DEZ	12	2	96	7	...	34	4	ano anterior
JAN	55	43	44	172	...	14	90	
FEV	114	26	79	170	...	104	80	
Média Sazonal	60	24	73	116	...	51	58	estação pré-chuvosa
MAR	124	95	115	283	...	164	193	
ABR	145	203	330	243	...	128	172	
MAI	148	45	152	259	225	
Média Sazonal	139	114	199	262	...	146	197	estação chuvosa
JUN	109	41	62	30	228	

- Total mensal em mm.

Normalmente nas baixas latitudes tem-se trabalhado com dados de precipitação, em vista do alto grau de variabilidade deste parâmetro, tanto na distribuição espacial como na distribuição temporal: Hantel e Peyinghaus (1976) verificaram que a precipitação é um bom parâmetro para descrever climas nos trópicos. No entanto, outros parâmetros também significativos têm sido utilizados por estudiosos da Seca, tais como a temperatura da superfície do mar (TSM) e a pressão ao nível do mar (PNM). Despertam também especial atenção a posição e a intensidade da zona de convergência intertropical (ZCIT) e a posição do eixo de confluência intertropical (CIT). Outro fator de real interesse é a penetra

ção de sistemas frontais na parte sul e sudeste da região tropical. Tais aspectos influenciam o fortalecimento ou enfraquecimento dos ventos alísios em ambos os hemisférios, afetando conseqüentemente o transporte de umidade para o interior do Nordeste (Hastenrath and Heller, 1977; Markham and McLain, 1977).

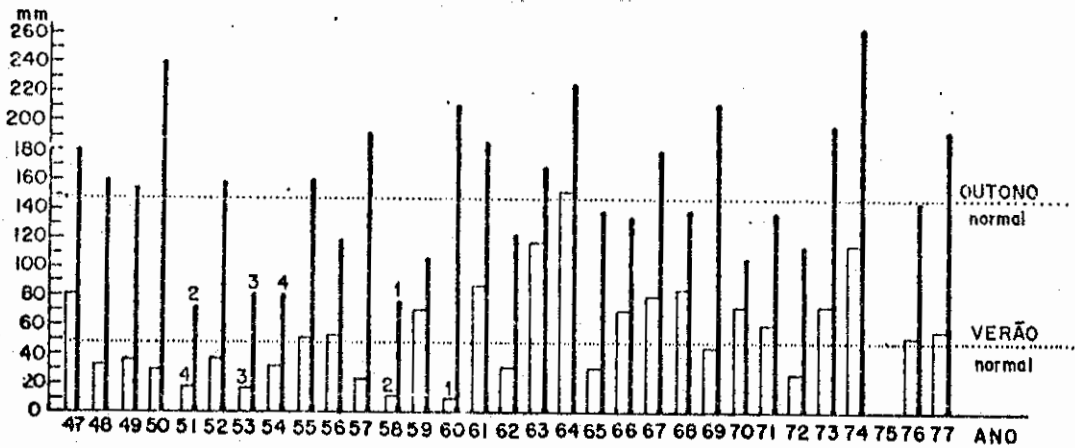


Fig. 1.3 - Precipitação em Quixeramobim, Ceará ($5^{\circ}12'S$, $39^{\circ}18'W$).

- As normais 1930-1960 para o outono e verão estão indicadas por linhas pontilhadas. Os números mostram os quatro períodos mais secos da estação pré-chuvosa e da estação chuvosa. A barra clara refere-se ao período de dezembro a fevereiro, e a escura, ao período de março a maio.

FONTE: Namias (1972)

A penetração do ar frio das massas de ar polar em latitudes médias, que normalmente está associada à formação de frentes frias, tende a deslocar mais para leste o anticiclone subtropical do Atlântico Sul e, portanto, a enfraquecer os alísios de sudeste no Nordeste brasileiro (Serra, 1946 e Ratisbona, 1976). Recentemente Kousky (1979) constatou a influência das frentes frias que penetram no sudeste e leste do Brasil, sobre o regime de chuvas no Nordeste. Quando a zona frontal atinge a Bahia, nota-se que a nebulosidade associada ao cavado equatorial, localizada sobre o Atlântico na latitude do extremo Norte do Brasil, desloca-se em direção ao sul para uma posição muito próxima à costa do Ceará. Os sistemas frontais afetam diretamente a precipitação ao sul do Nordes

te, e indiretamente ao norte da mesma região, uma vez que tais sistemas provocam flutuações no campo de pressão à superfície na faixa tropical, favorecendo as atividades convectivas (Kousky, 1979).

A relevância do movimento da ZCIT já era mencionada por Serra e Ratisbona (1942), ao verificarem o seu efeito sobre a precipitação da parte central do Nordeste. Hastenrath e Lamb (1977 b) observaram que o escoamento superficial do Hemisfério Sul, cruzando o equador, encontra os alísios de nordeste ao longo de um eixo de confluência no Hemisfério Norte, na mesma região do cavado equatorial, situado a algumas centenas de quilômetros ao norte da zona de máxima convergência. Observa-se uma correspondência positiva entre as posições em latitude do eixo da CIT e da ZCIT, e entre a posição e a intensidade desta zona, tanto intersazonalmente como interanualmente (Hastenrath e Lamb, 1978).

A ZCIT, além de ocorrer ao sul da CIT, associa-se essencialmente à desaceleração do escoamento. Em consequência, aparece maior nebulosidade (e maior precipitação) ao sul do eixo de confluência, onde é maior a persistência do vento (Hastenrath e Lamb, 1977 b). O eixo de confluência e conseqüentemente a ZCIT migram sazonalmente, atingindo uma posição mais ao sul em março e abril, época chuvosa na parte norte do Nordeste, e uma posição mais ao norte em agosto, início do período seco na mesma região (Tabela 1.1). Observa-se que a variabilidade sazonal de nebulosidade e a frequência de precipitação no Atlântico Equatorial (Lamb, 1977) são mais acentuadas entre as estações de janeiro a março e de julho a setembro, as quais apresentam, respectivamente, índices elevados e extremamente baixos, na parte oeste do Atlântico, junto à costa norte e nordeste do Brasil.

Além deste movimento migratório sazonal da CIT, constata-se variações interanuais em sua posição e, portanto, nos aspectos associados à ZCIT. Hastenrath e Heller (1977) obtiveram a posição média do eixo de confluência para os meses de março e abril num período de 60 anos (1911-1970) e as posições médias para os dez anos mais secos e mais chuvosos no Nordeste; constataram que estes últimos praticamente coincidem com a média de longo prazo, acima mencionada, coincidência esta tam

bem verificada em relação ao ano chuvoso extremo (1964). Já no período seco, as diferenças observadas entre as posições do eixo de confluência foram grandes; no ano seco extremo (1958), a posição do eixo de confluência deslocou-se na direção norte em relação à média dos dez anos secos, sendo que este deslocamento foi acentuado em comparação com a média de 60 anos.

A posição da ZCIT parece contribuir substancialmente para o regime de chuvas no Nordeste, assim como a sua intensidade, a qual depende do comportamento dos alísios e, portanto, dos diversos fatores que causam o seu enfraquecimento ou fortalecimento, bem como dos mecanismos dinâmicos associados à circulação de grande escala. O desenvolvimento da atividade ciclônica ou a formação de alta de bloqueio na distante região de Terranova, modificando a intensidade dos alísios de nordeste, parece determinar o vigor e a posição da célula de Hadley durante o inverno do Hemisfério Norte, e conseqüentemente, a ocorrência ou não de eventos extremos do Nordeste (Namias, 1972). Esta idéia baseia-se no fato de que uma seca devastadora nesta última região está normalmente associada a intenso bloqueio naquela área do Hemisfério Norte.

Observou-se que a seca no Estado do Ceará é caracterizada por uma expansão, na direção do equador, da alta subtropical do Atlântico Sul e uma retração, na direção do pólo, da alta subtropical do Atlântico Norte, associadas a um deslocamento do cavado equatorial na direção norte (Hastenrath and Heller, 1977). Concorrentemente, as faixas de máximas nebulosidade e frequência de precipitação, orientadas zonalmente, ficam mais ao norte, enquanto os alísios de nordeste enfraquecem e os de sudeste tornam-se mais fortes do que a média de longo prazo. Complementamente, Hastenrath (1978) associa esta seca com a alta PNM sobre o Atlântico Sul e baixa PNM sobre o Atlântico Norte. Moura e Shukla (1980), por sua vez, consideraram a existência de uma circulação regional, promovida por anomalias negativas de TSM no Atlântico Sul, simultâneas a anomalias positivas no Atlântico Norte, como causa de seca.

Parece também relevante para o regime de chuvas na parte norte do Nordeste o acoplamento entre a atmosfera e o oceano, principalmente através do transporte de calor latente e sensível. Variações interanuais do escoamento da baixa troposfera ou da TSM devem ser consideradas como aspectos possivelmente importantes nos mecanismos que causam anomalias climáticas (Hastenrath and Lamb, 1977 b). Durante os meses de março e abril nos anos de seca no Nordeste, a TSM é caracterizada por desvios positivos em ampla faixa do Atlântico Norte, e TSM anormalmente baixa em relação à média de longo prazo é encontrada em grande parte do Atlântico Sul e Equatorial. Nos anos chuvosos ocorre, aproximadamente, o contrário.

Nota-se também que a advecção de água fria na parte leste dos oceanos é favorecida pela expansão na direção do equador da alta subtropical no respectivo hemisfério (Hastenrath, 1976). Esta penetração de água fria influencia o comportamento dos alísios. A explicação poderia ser que a TSM afeta a altura de inversão dos alísios e, em consequência, a espessura da camada de mistura, em virtude de a água fria estabilizar o ar sobrejacente, com decréscimo do escoamento e da convecção (Markham and McLain, 1977). Na verdade, esta última explicação parece insatisfatória (Oliveira, 1981). A estabilidade, que promove a subsidência do ar, resultaria em divergência nos baixos níveis na região do Nordeste, com anomalias positivas de pressão e negativas de precipitação.

Constatou-se que a precipitação no Ceará está correlacionada com a TSM no Atlântico Sul. As anomalias de TSM na área atlântica, selecionada por Markham and McLain (1977) - onde ocorre maior correlação entre a TSM de dezembro e a precipitação total de janeiro a março - tendem a ser negativas nos anos de seca e positivas nos anos chuvosos; por isso, esses autores sugerem que o conhecimento da TSM possibilitaria um prognóstico da precipitação antes de começar a estação chuvosa na parte norte do Nordeste. Hastenrath (1978), além de associar a seca nesta região à água fria do Atlântico Sul e a uma faixa de anomalia positiva de TSM no Atlântico Norte, observa também desvios positivos de TSM no Pacífico Leste. De fato, o comportamento da TSM parece bastante relevante no estudo das teleconexões entre anomalias climáticas. Forte coerência com

as observações anteriormente citadas foi obtida pelo modelo desenvolvido por Moura e Shukla (1980), no qual constata-se que a seca no Nordeste estaria associada a desvios simultâneos de TSM no Atlântico Norte (positivos) e no Atlântico Sul (negativos).

1.3 - VARIABILIDADE INTERANUAL GLOBAL

O regime de chuvas no Nordeste pode estar associado a mecanismos dinâmicos em regiões distantes. Estudos estão sendo desenvolvidos com ênfase na circulação de grande escala e com o objetivo de contribuir para um melhor entendimento da variabilidade interanual nesta região, visto estar-se considerando importante o papel das teleconexões de anomalias no clima tropical (Kousky e Moura, 1981).

A Oscilação do Sul (OS) é a designação aplicada à flutuação de grande escala na atmosfera tropical no plano zonal, em princípio definida estatisticamente por Walker em uma série de publicações nas décadas de 20 e 30. Esta flutuação, dominada por uma troca de ar entre a alta subtropical do Pacífico Leste e a baixa equatorial da Indonésia, é gerada espontaneamente. Seu período varia grosseiramente entre 1 e 5 anos, sendo seu período médio de 30 meses. O principal parâmetro que define a OS é a pressão de superfície em Djakarta, Indonésia, bem como as relações inversas entre esta estação e Santiago do Chile e entre as áreas da Indonésia e da Ilha da Páscoa - Easter Island - (Newell et alii, 1974), ver Figura 1.4.

No estudo da circulação de grande escala, considera-se a circulação média meridional, ou seja, a circulação celular de Hadley; entretanto, observam-se grandes desvios de simetria zonal nos parâmetros, precipitação, nebulosidade, TSM e movimento vertical. Esta variação na distribuição longitudinal implica circulação celular no plano zonal. Bjerknes (1969) propôs chamar a circulação vertical ao longo do equador de circulação de Walker, visto que ela parece prover o principal mecanismo impulsor da Oscilação do Sul de Walker. As intensidades da circulação de Walker e da circulação de Hadley apresentam comportamentos inversos e ambas são influenciadas pelos gradientes leste-oeste de TSM e PNM.

Normalmente, observa-se um gradiente leste-oeste de TSM no Pacífico, devido à ressurgência equatorial na sua parte leste. A água fria superficial resultante, além de enfraquecer a circulação de Hadley, inibe os transportes de calor, de umidade e de momentum para o jato subtropical e, conseqüentemente, reduz a intensidade dos ventos de oeste de latitudes médias. Esta situação favorece a circulação de Walker com movimento ascendente sobre o quente Pacífico Central e movimento subsidente sobre o frio Pacífico Leste. O gradiente de PNM tende a manter fortes os ventos de leste equatoriais, que por sua vez, promovem a ressurgência de água fria, de modo que o processo é auto-sustentado ou mesmo acelerado espontaneamente (Reiter, 1978 b).

Quando este processo de ressurgência é interrompido, observa-se na região oeste da América do Sul, no litoral equatoriano e no peruano, o fenômeno "EL NIÑO", comumente caracterizado pelo rápido aparecimento de TSM, anormalmente alta, e pelo transporte, na direção sul, das águas mais quentes e menos salgadas, o que resulta em drástica diminuição da quantidade de nutrientes nas águas costeiras (McCreary, 1976). O conceito do "EL NIÑO" tem mudado consideravelmente; até 1980 acreditou-se que este fenômeno está relacionado a uma anomalia oceânica local, confinada à costa equatoriana-peruana. Atualmente acumulou-se um grande número de evidências, as quais sugerem que esta anomalia local resulta de mudanças em grande escala na atmosfera e no oceano, possivelmente um aspecto da Oscilação do Sul.

Parece certo que a ocorrência de extenso aquecimento nas águas superficiais do Pacífico Equatorial Leste é devida a um enfraquecimento nos ventos equatoriais de leste, o que traz como conseqüência uma redução ou mesmo paralização da ressurgência equatorial habitual (Bjerknes, 1966). De fato, observações mostram com clareza que o "EL NIÑO" está associado a um enfraquecimento, em grande escala, do sistema de ventos equatoriais sobre uma extensa área do Oceano (McCreary, 1976). De fato, Bjerknes (1974) e Ramage (1975) notaram considerável redução de intensidade dos alísios de sudeste no "EL NIÑO" de 1972-73.

Esta anomalia é mais pronunciada nos meses de dezembro-fevereiro, e durante a sua ocorrência a PNM no Pacífico Leste é baixa e a TSM é alta, enquanto no Atlântico Tropical dominam desvios positivos de PNM (Covey and Hastenrath, 1978). O comportamento da PNM no Pacífico Leste e no Atlântico Tropical em todas as ocorrências destas anomalias fortalece a hipótese de que movimentos de massas de ar em escala quase global nos trópicos são dominados pelas flutuações da pressão, possivelmente a Oscilação do Sul, e que estes movimentos são relacionados com variações da circulação regional e anomalias climáticas (Hastenrath, 1978; Kousky e Moura, 1981).

Além do "EL NIÑO", outra anomalia estudada pelo mesmo autor é a seca na região da América Central-Caribe, caracterizada por uma expansão na direção do equador da alta subtropical do Atlântico Norte, por uma faixa de água anormalmente fria que se estende através do Atlântico Norte e uma anomalia positiva de TSM no Pacífico Leste. Complementarmente, observou-se que a região do Sub-Saara recebe umidade do Atlântico Tropical por meio do escoamento de baixo nível de sudoeste, através da costa sudoeste da África; por isso, as variações interanuais de precipitação nesta área podem ser sensíveis às variações nas condições oceânicas e atmosféricas de grande escala na superfície do Atlântico Tropical (Lamb, 1978).

1.4 - VARIABILIDADE DOS VENTOS ALÍSIOS

Para a análise de longo prazo da intensidade dos alísios, considera-se apenas o comportamento da componente meridional, não sendo relevante o da componente zonal (Reiter, 1978 a). O comportamento meridional em ambos os hemisférios revela tendências similares (Figura 1.5), fato também constatado nas análises conduzidas por Barnett (1977). Da similaridade das componentes meridionais médias dos ventos alísios do Hemisfério Sul e do Hemisfério Norte, conclui-se que a intensidade dos ventos alísios na ZCIT do Pacífico sofre pronunciada variabilidade interanual (Reiter, 1978 b). Tal variabilidade refletir-se-á na tendência da nebulosidade e precipitação sobre o Pacífico Equatorial, o que pode ser constatado na notável coerência entre as variações interanuais de conver

gência e divergência da componente meridional média para ambos os Hemisférios e o índice do regime de precipitação nas ilhas Line (Figura 1.6).

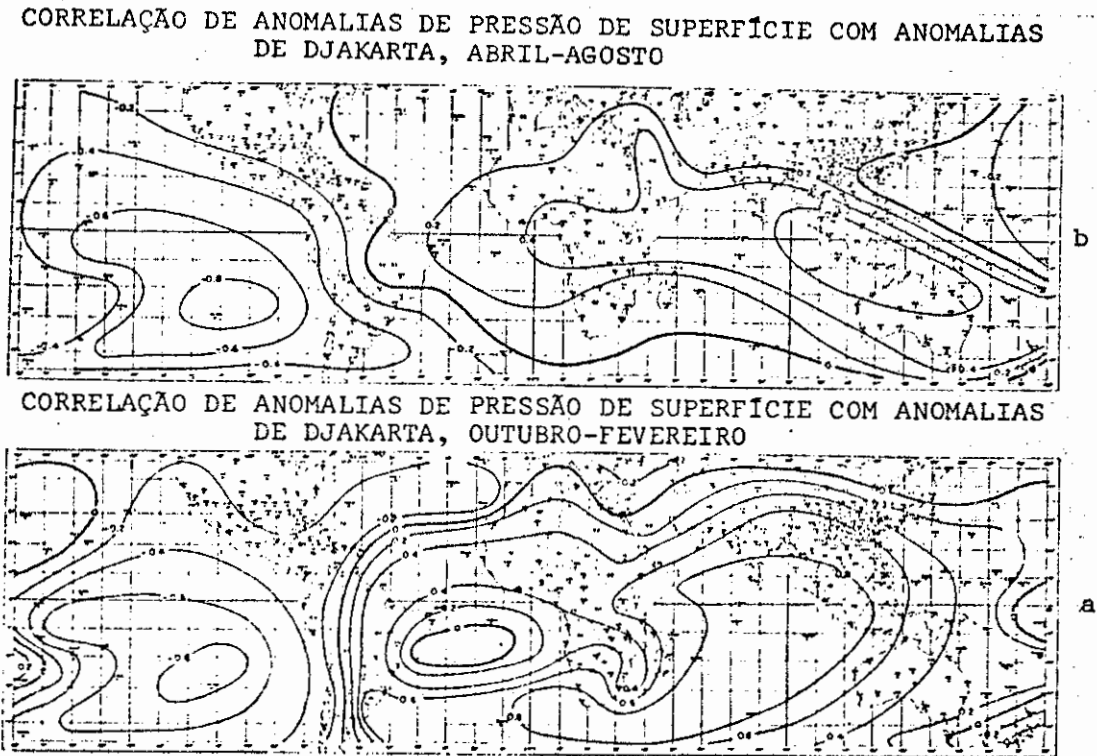


Fig. 1.4 - Correlação entre anomalias de pressão à superfície e anomalias de Djakarta.

- a) outubro a fevereiro; b) abril a agosto

FONTE: Newell et alii (1974)

A tendência do regime dos alísios parece ser causada por dois processos distintos: pelas anomalias extratropicais de TSM, as quais influenciam os gradientes atmosféricos de pressão e de temperatura (Charney, 1963; Reiter, 1978 a), e pela liberação de calor latente na ZCIT, que proporciona uma realimentação autoforçante para os ventos ali

sios (Bjerknes, 1966 e 1969; Reiter, 1978 b). O mecanismo de Bjerknes promove a realimentação através da liberação de calor latente na ZCIT e da intensificação da célula de Hadley; constata-se a existência de uma correlação estatisticamente significativa entre precipitação e convergência das componentes meridionais dos sistemas de ventos alísios do Pacífico em ambos os hemisférios.

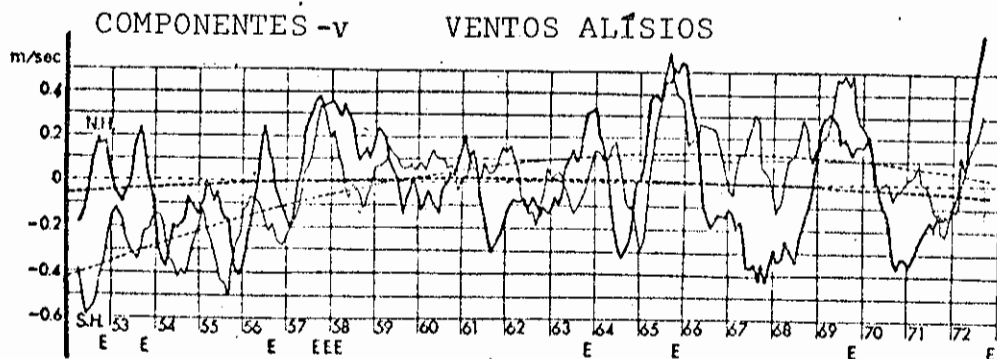


Fig. 1.5 - Desvios de médias mensais da componente meridional dos ventos alísios.

FONTE: Reiter (1978 b).

O comportamento transiente da intensidade dos alísios revela-se em diversas épocas através do fortalecimento e enfraquecimento simultâneo, ou quase simultâneo, nos sistemas de ventos alísios de ambos os hemisférios sobre o oceano Atlântico (Krishnamurti et alii, 1975). Grande similaridade foi observada entre os comportamentos dos alísios de nordeste e de sudeste (Figura 1.7), durante o período de cem dias do experimento GATE (Garp Atlantic Tropical Experiment).

Na análise da variação de curto prazo da intensidade dos alísios, observa-se que uma grande proporção da variância total é de modos maiores que dez dias, sendo que modos entre 13 e 15 dias são notadamente relacionados com impulsos simultâneos dos alísios de ambos os hemisférios (Figura 1.8). A fase do modo de 14 dias é praticamente idên

tica para os alísios de nordeste e sudeste, durante o período (Krishnamurti et alii, 1975).

GATE

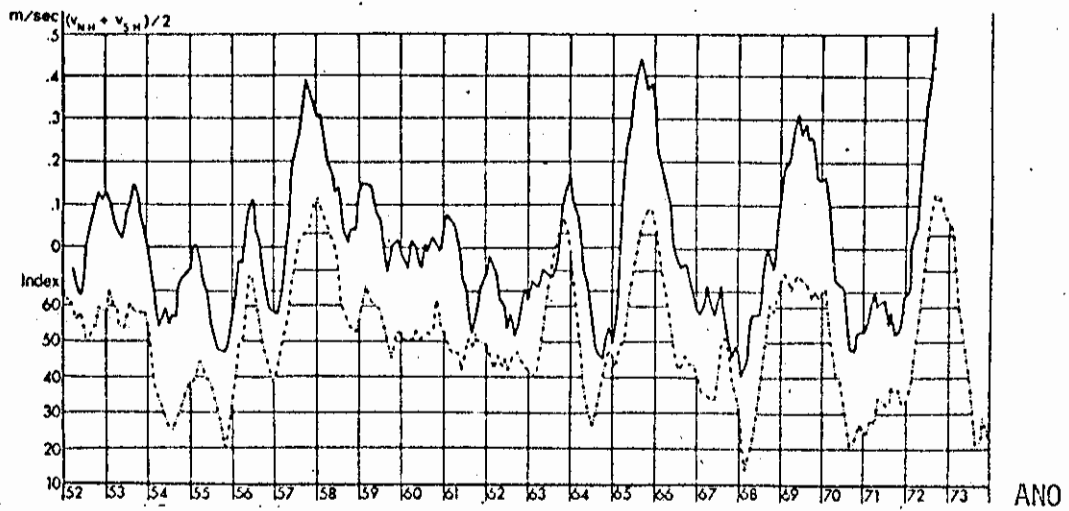


Fig. 1.6 - Anomalias das componentes meridionais dos ventos alísios e índice de precipitação para as ilhas Line.

- ventos alísios (linha ponto)
- precipitação (linha traço-ponto)

FONTE: Reiter (1978 b).

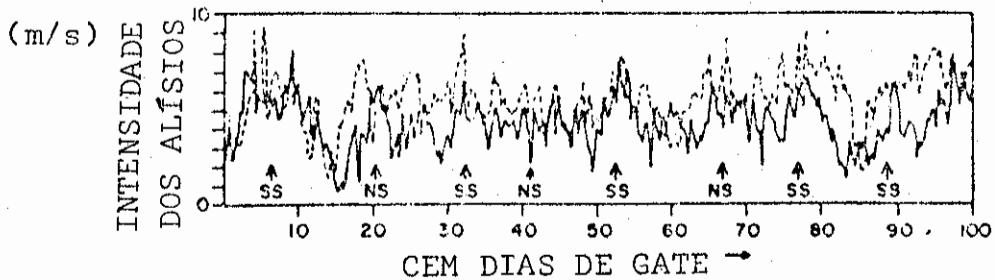


Fig. 1.7 - A intensidade do vetor "vento médio" (ms^{-1}) sobre os domínios de ventos alísios de nordeste ($10^{\circ}N-30^{\circ}N, 20^{\circ}W-50^{\circ}W$) e de sudeste ($10^{\circ}S-10^{\circ}N, 5^{\circ}W-35^{\circ}W$).

- Alísios de nordeste (linha cheia); alísios de sudeste (linha tracejada); impulsos simultâneos (SS); impulsos quase simultâneos (NS).

FONTE: Krishnamurti et alii (1975)

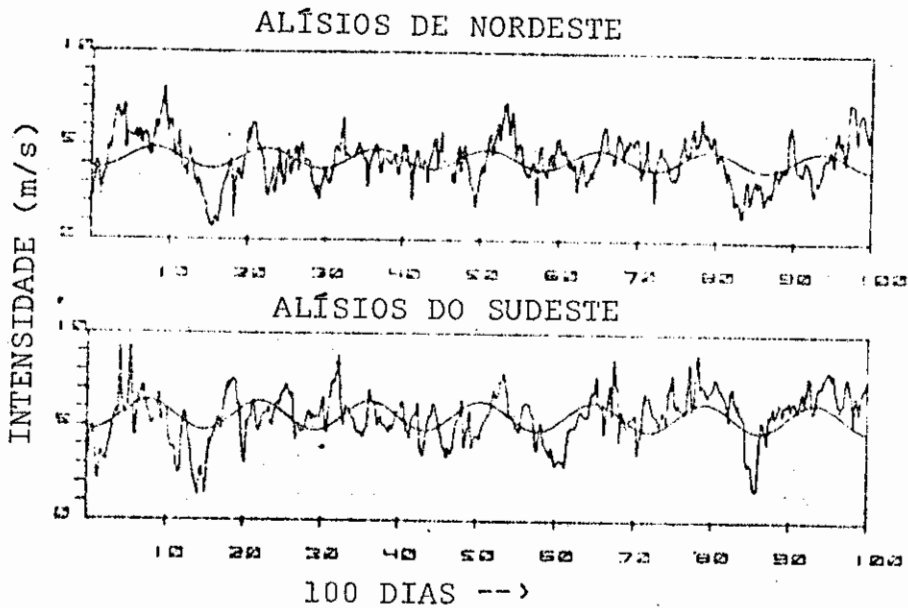


Fig. 1.8 - Número de onda 7 (modo de 14 dias) para os dois sistemas de ventos alísios.

FONTE: Krishnamurti et alii (1975).

1.5 - OBJETIVOS

Com o intuito de dar ou não suporte observacional a trabalhos anteriores, de cunho teórico, observado, simulado e a conjecturas já levantadas sobre variações climáticas no Nordeste Brasileiro, o propósito deste trabalho é mostrar a viabilidade do uso de cartas de brilho médio, como um bom indicador das anomalias climáticas. Para tanto, com base, principalmente, nas imagens do espectro visível de satélites procurou-se:

- a) Determinar o comportamento médio mensal do brilho, tanto na região Nordeste como no Oceano Atlântico Tropical, detectando-se sua variabilidade interanual.
- b) Estabelecer alguns aspectos climatológicos da ZCIT e investigar a ocorrência de variabilidade sazonal.

- c) Identificar mudanças características na nebulosidade da região tropical, em posição e em intensidade, nos anos que apresentaram desempenho diferenciado da precipitação no Nordeste do Brasil.



CAPÍTULO 2

DADOS E METODOLOGIA

2.1 - DADOS DE NEBULOSIDADE

A grande vantagem da utilização de imagens de satélite está em que o campo de trabalho é uniformemente coberto, e por isso dispõe-se, em cada ponto, da mesma freqüência de informações. Os dados de brilho foram obtidos por análise subjetiva de imagens de satélite para um período de sete anos (1971 a 1977). Utilizaram-se imagens diárias de cobertura de nuvens, obtidas no espectro visível pelos satélites de órbita polar (ITOS 1, ESSA 9, NOAA 2, NOAA 3, NOAA 4, NOAA 5). Estas imagens são mosaicos em projeção Mercator, para as 0900 HML (Hora Média Local). Tais imagens pertencem ao acervo de microfímes do INPE, obtido do National Climatic Center (NCC), Asheville, North Caroline, USA. O período considerado foi o de dezembro a junho, que abrange inteiramente a estação chuvosa no Nordeste do Brasil. A área de trabalho está compreendida entre os meridianos de Greenwich e 50°W e os paralelos de 10°N e 10°S (Figura 2.1)

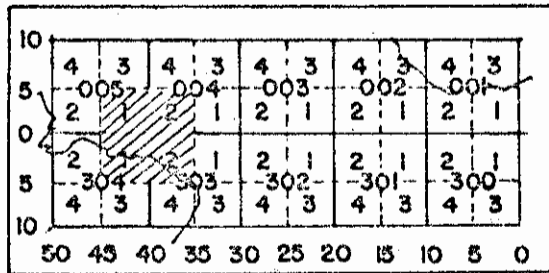


Fig. 2.1 - Área de trabalho, com imagens de satélite.

- O reticulado indica as divisões de cinco graus dos quadros de MARSDEN (10° x 10°). A área hachurada foi selecionada para séries "nebulosidade versus tempo".

Fez-se a avaliação do brilho visualmente, em análise direta dos microfilmes. Adotou-se a correspondência direta entre intensidade de brilho e cobertura de nuvens, totalizando a nebulosidade da área abrangida por cada quadrado de Marsden de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$. Para registro da nebulosidade, utilizou-se a indicação de 0 a 8 para representar oitavos de céu coberto e reservou-se o algarismo 9 para a eventualidade de ausência de dados. Levou-se em conta toda a nebulosidade, quaisquer que fossem os tipos de nuvens, mesmo as não precipitáveis, tendo em vista que foram utilizadas imagens no visível e não imagens no infravermelho. Portanto, é possível que tenham sido consideradas nuvens em dissipação e até mesmo, oriundas de sistemas gerados e ativos fora da região analisada.

Dados de brilho de satélites mostram, consistentemente, menor quantidade de nuvens quando comparados com observações convencionais de superfície (Miller and Feddes, 1971). A causa disto pode estar não só no fator "ângulo de iluminação solar", significativo em imagens no espectro visível, como também no fato de que estas imagens dependem do albedo das nuvens, cujo valor aumenta rapidamente com a espessura e chega a um máximo quando esta atinge 200 m (Barret, 1974). Nas imagens do espectro visível os cirri são semitransparentes, sendo necessário, por isso, para dirimir dúvidas, compará-las às obtidas no infravermelho, que não se dispõe para os dois primeiros anos (1971 e 1972) do período abrangido por este trabalho.

Observações de superfície também apresentam dificuldades para uma perfeita avaliação da cobertura do céu. Quando se observam, da superfície, nuvens cumuli, o resultado é superestimado. Um céu de cumuli corresponde normalmente a 3 oitavos de céu coberto; entretanto, um observador pode ser induzido erroneamente a registrar cerca de cinco oitavos. Esta aparente redução dos espaços vazios é devida à paralaxe.

Nas cartas de nebulosidade do Atlas de Hastenrath e Lamb (1977 a) foram utilizadas informações de superfície da área marítima para o período de 1911 a 1970; no entanto, por terem sido estas obtidas de navios, têm o inconveniente de estarem concentradas nas proximidades das derrotas principais. Isto implica uma distribuição irregular dos

dados, tanto no que tange ao aspecto temporal quanto ao espacial. Este trabalho pretende contribuir com informações baseadas numa distribuição uniforme das observações de nebulosidade. Entretanto, é interessante enfatizar que a qualidade dos microfilmes, inicialmente baixa, melhorou razoavelmente a partir do terceiro ano do período considerado.

2.2 - CARTAS DE BRILHO MÉDIO

Cerca de 60 mil dados de nebulosidade para toda a área de trabalho, obtidos diretamente dos microfilmes diários, foram utilizados para estudar as variações espacial, sazonal e interanual da posição e da intensidade da região de maior brilho, a qual poderá ser associada à posição da ZCIT.

Estes dados diários foram utilizados para calcular os valores médios mensais, separadamente, para cada quadrado de Marsden de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$, nos meses de dezembro a junho, em cada ano, no período de janeiro de 1971 a dezembro de 1977. Foram traçadas isolinhas de nebulosidade em oitavos de céu coberto, e calculados os valores climatológicos para cada mês, no período de 1971 a 1977 (ver Apêndice B).

Com estes valores calcularam-se os desvios das médias mensais, com a finalidade de evidenciar o comportamento da nebulosidade em cada ano. Para ressaltar mudanças características do brilho na região tropical, construíram-se cartas de diferença de brilho entre anos que apresentaram desempenho distinto na precipitação no Nordeste.

Com o intuito de identificar as regiões com maior número de ocorrências de intenso brilho, efetuou-se o cálculo da frequência relativa de ocorrência de 6, 7 e 8 oitavos de céu coberto.

2.3 - VARIAÇÕES DE CURTO PRAZO DE NEBULOSIDADE E DE PRECIPITAÇÃO

Com a finalidade de identificar variações de curto prazo e selecionar períodos interessantes para o estudo dos mecanismos dinâmicos, que influenciam a região tropical e contribuem para a acentuada oscilação da intensidade da nebulosidade nesta região, foram plotadas séries de tempo de brilho e de precipitação.

Com os dados diários de precipitação, referentes às estações de Fortaleza e Quixeramobim, foram plotadas séries "precipitação versus tempo" para a mesma época da série "brilho versus tempo". A fonte dos dados de precipitação é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Rio de Janeiro. Nos meses de maio a setembro, os dados de precipitação da estação de Quixeramobim sofrem uma interrupção em seus registros, motivo pelo qual a série "precipitação versus tempo" não é apresentada nos meses de maio e junho de 1976.

2.4 - CORRELAÇÃO

Utilizando-se dados diários de nebulosidade foram calculadas, separadamente, para cada um dos 40 quadrados de Marsden de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$, correlações com os dados diários dos seguintes parâmetros:

- a) Pressão à superfície em São Luiz, Fortaleza, Recife, Caravelas, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba e Porto Alegre.
- b) Precipitação na região Nordeste para as estações constantes do Apêndice A. Utilizaram-se também dados de precipitação defasados (atrasados) de 1 a 5 dias.
- c) Ventos alísios médios de áreas de $20^{\circ} \times 30^{\circ}$ do Hemisfério Norte (HN), do Hemisfério Sul (HS) e resultantes das combinações entre os ventos médios diários de nordeste e sudeste (HN-HS).

Calculou-se também correlações de TSM, com dados médios mensais, dos respectivos quadrados de Marsden de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$.

As correlações obtidas não são apresentadas no Capítulo 3, em virtude de os resultados não terem sido significativos. Possivelmente o brilho não é um bom parâmetro para ser utilizado no cálculo de correlações, tendo em vista que a nebulosidade pode resultar de influências si multâneas da flutuação de mais de um parâmetro, tanto em escala local co mo em grande escala.



CAPÍTULO 3

RESULTADOS

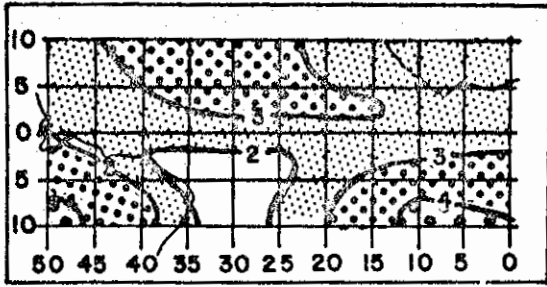
3.1 - CARTAS CLIMATOLÓGICAS DE NEBULOSIDADE

As cartas climatológicas de nebulosidade evidenciam a variabilidade sazonal da ZCIT (Figura 3.1). Grande intensidade de nebulosidade da ZCIT é observada em janeiro e fevereiro (verão), enquanto nos meses de março e abril (outono) ocorre redução de intensidade; a ZCIT volta a intensificar-se em maio, mês em que se mostra mais extensa, e é identificada desde a costa da América do Sul até a costa da África. No início do inverno (em junho) ela alcança, no Atlântico Leste, junto ao continente africano e ao norte de 5°N , valores máximos do semestre.

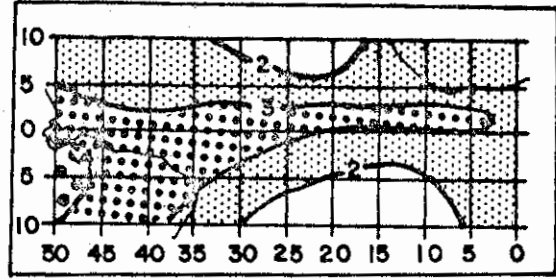
As cartas climatológicas ressaltam a variabilidade da posição da ZCIT na parte oeste do Atlântico. A partir do início do verão (dezembro) a ZCIT desloca-se para o sul, nos meses de outono ela está mais próxima do continente Sul-americano, e em março e abril atinge posições mais ao sul junto à costa do Ceará.

Observa-se diferença entre o comportamento da nebulosidade no oceano e no continente durante o outono e, principalmente, no início do inverno. Enquanto a ZCIT apresenta as oscilações acima descritas, a nebulosidade no continente é forte de dezembro a abril e reduz-se em maio e junho, principalmente neste último mês; constata-se assim que em junho o brilho é máximo na parte leste do oceano e mínimo no Nordeste e na parte oeste do oceano, junto à costa nordestina.

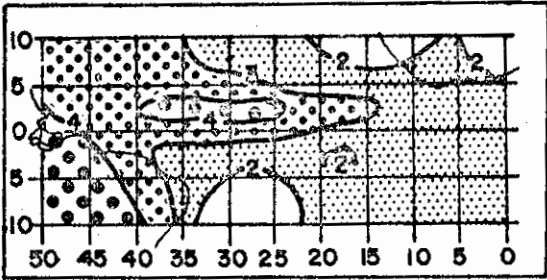
Nota-se no início do verão no Hemisfério Sul acentuada nebulosidade na parte sudeste da carta de brilho relativa ao mês de dezembro. Entretanto, esta nebulosidade é constituída de nuvens baixas causadas pela TSM baixa na parte leste do oceano Atlântico.



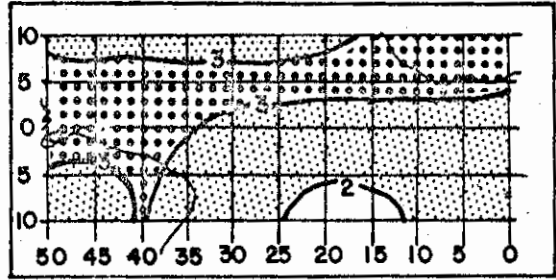
dezembro - normal



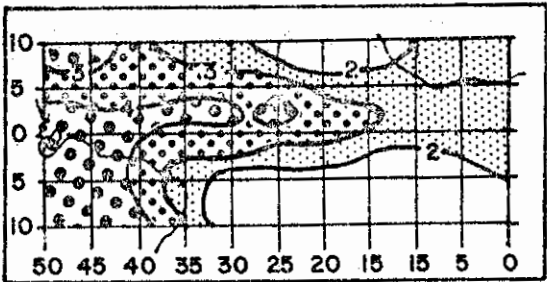
abril - normal



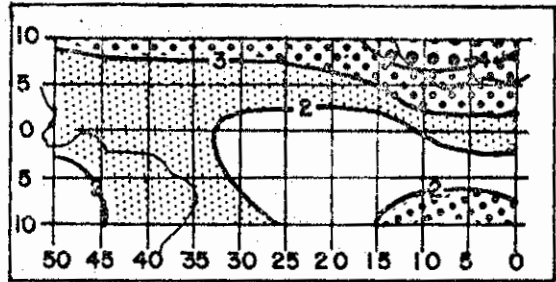
janeiro - normal



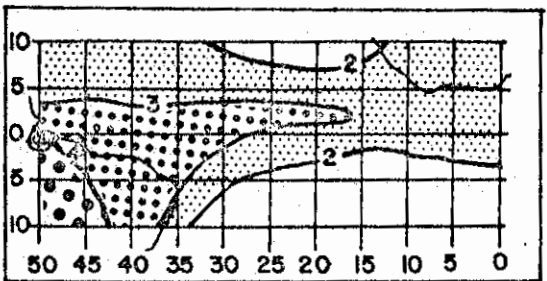
maio - normal



fevereiro - normal



junho - normal



março - normal

Fig. 3.1 - Cartas climatológicas de brilho, período de 1971 a 1977, em oitavos de céu coberto.

- Latitude 10°N a 10°S , Longitude 0° a 50°W .

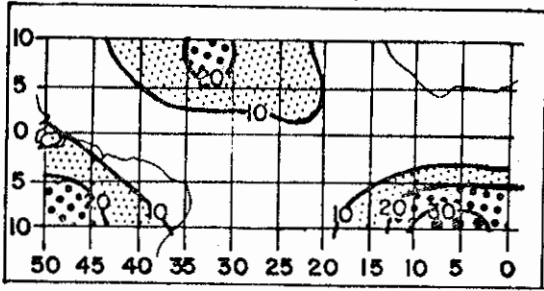
Pode-se concluir então que:

- a) A intensidade da ZCIT nos meses de verão é maior que nos meses de outono.
- b) Nos meses de outono a ZCIT situa-se em posição mais próxima do continente e mais ao sul, embora com intensidade reduzida.
- c) Em maio a ZCIT estende-se por todo o oceano, numa faixa inclinada em latitude.
- d) No início do inverno a ZCIT aparece fortemente deslocada para o norte, isto é, acentuadamente afastada da costa do Nordeste.

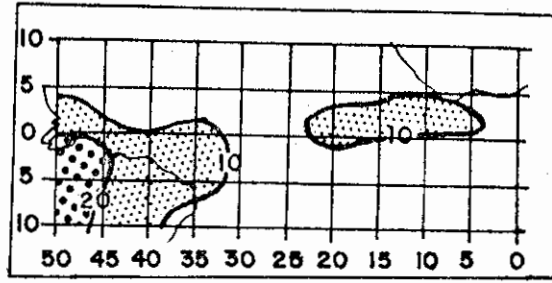
3.2 - CARTAS DE FREQUÊNCIA RELATIVA DE BRILHO

As cartas de frequência de brilho para 6, 7 e 8 oitavos de céu coberto permitem identificar as regiões de maior frequência de forte nebulosidade e evidenciar a posição da ZCIT, bem como visualizar sua variabilidade sazonal em posição e em intensidade. Nota-se que a maior frequência de forte brilho é registrada no período de dezembro a fevereiro, e que esta ocorrência na estação seguinte, março a maio, situa-se em região mais ao sul, ao mesmo tempo em que ocorre uma sensível redução na frequência de forte nebulosidade na ZCIT (Figura 3.2).

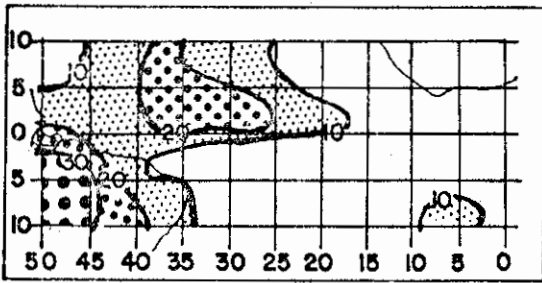
Nota-se nos meses de verão no Hemisfério Sul (HS) (dezembro a fevereiro) maior brilho na região de 0° a 5° N, 30° a 40° W. Nos meses de outono (HS), a área de maior brilho estende-se mais para o sul, situando-se de 5° N a 5° S, 20° a 40° W em março, e de 0° a 5° S, 30° a 40° W em abril. Neste mês já começa o aumento do brilho na parte leste do Atlântico Tropical (0° a 5° N, 10° a 25° W), e esta região de forte brilho se expande fortemente em maio, ao longo de uma faixa inclinada em latitude, desde a costa do Brasil (5° N a 5° S) até à costa oeste da África (10° N a 0°), indicando com clareza a extensão da região em que se situa a ZCIT.



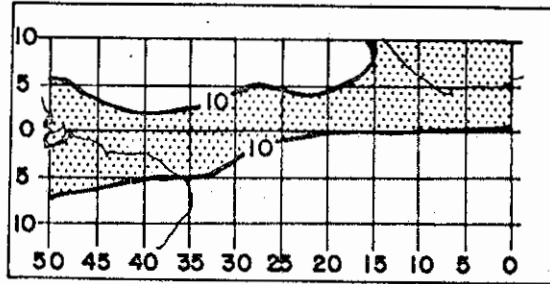
Dezembro



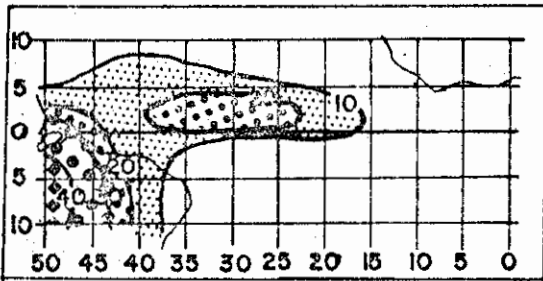
Abril



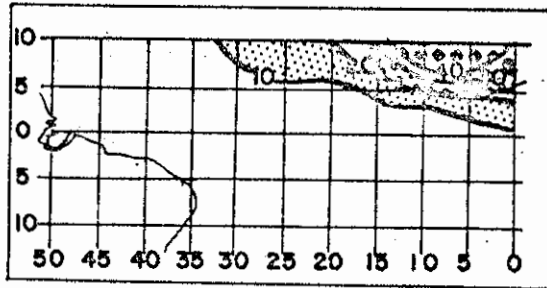
Janeiro



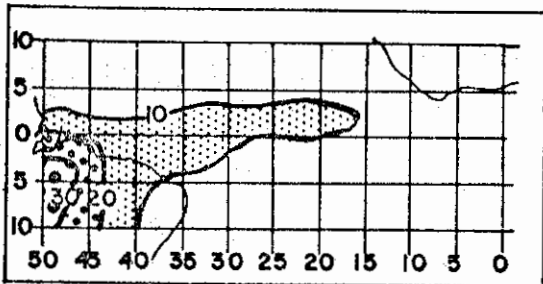
Maio



Fevereiro



Junho



Março

Fig. 3.2 - Cartas de frequência de forte nebulosidade (6, 7 e 8 octavos), em percentagens, no período de 1971 a 1977.

Em junho, no início da estação de inverno, observa-se uma acentuada redução da frequência de forte brilho na parte oeste do Atlântico Tropical, ao passo que na parte leste a nebulosidade se intensifica nas áreas mais próximas da costa oeste do continente africano, onde ocorrem os maiores índices de brilho do primeiro semestre. Pode-se concluir, destes resultados, que a ZCIT se posiciona acima de 5°N no mês de junho.

As cartas de frequência de brilho apresentam coerência com as cartas médias mensais de divergência e de movimento vertical de Cavalcanti (1982), e também mostram boa concordância com a variabilidade da intensidade de brilho da ZCIT, verificada por Miller e Feddes (1971).

A diminuição da frequência de forte nebulosidade na ZCIT nos meses de março e abril, justamente o período correspondente à estação chuvosa na parte norte do Nordeste, pode estar relacionada com a circulação atmosférica de grande escala. De fato, esta variação sazonal pode resultar de uma circulação temicamente direta, do tipo de circulação leste-oeste de Walker, com movimento ascendente do ar quente sobre o continente e subsidência do ar relativamente frio sobre o Atlântico, como considerado por Bjercknes (1969) e Kidson (1975).

Neste caso, os níveis mais baixos da troposfera sobre o continente são caracterizados por baixa pressão e convergência, enquanto na alta troposfera ocorre alta pressão e divergência. Esta circulação é mais intensa no verão do HS (dezembro a fevereiro) e, como evidenciam as cartas de brilho de Oliveira (1981), na região da Bolívia.

É possível ainda, como sugerem Bjercknes (1969), Kidson (1975) e Kousky e Moura (1981), que o movimento subsidente na circulação de Walker, durante este período, possa afetar a parte norte do Nordeste, e que mudanças na posição e/ou na intensidade da alta da Bolívia (em 200mb) possam estar relacionadas com a variabilidade da precipitação no Nordeste.

As cartas de frequência de forte brilho indicam mudanças no comportamento da nebulosidade da ZCIT. Inicialmente, verifica-se que o período de brilho mais intenso na parte oeste do Atlântico Tropical (dezembro a fevereiro) coincide com o período de maior intensidade da alta da Bolívia (em 200 mb), período este que precede a estação chuvosa no norte do Nordeste. É exatamente nesta última estação (março-abril) que as cartas evidenciam a redução de frequência de forte brilho no oceano. É também neste mesmo período que geralmente a alta da Bolívia (em 200 mb) se enfraquece e se desloca para o norte (Kousky e Kagano, 1981). Esta variação também foi observada nas cartas de divergência e de movimento vertical de Cavalcanti (1982) e nas cartas de brilho de Oliveira (1981) (Apêndice C).

A constatação observacional destes fatos ratifica a hipótese de uma ligação direta entre a circulação de Walker e as chuvas na parte norte do Nordeste. É possível que mudanças na posição e na intensidade do ramo subsidente da circulação de Walker possam estar relacionadas com as alterações das condições restritivas a uma atividade convectiva mais intensa no Nordeste e com o simultâneo enfraquecimento da nebulosidade na ZCIT.

Esta hipótese é corroborada pela constatação de movimentos subsidentes e de divergência (em baixos níveis) em regiões oceânicas, e de movimentos ascendentes e de convergência (em baixos níveis) em regiões do continente, ambos indicados nas cartas de divergência e de movimento vertical de Cavalcanti (1982), nesta estação do ano.

3.3 - CARTAS MÉDIAS MENSAIS DE NEBULOSIDADE

As cartas médias mensais de nebulosidade apresentadas nas Figuras 3.3 a 3.9 retratam a variabilidade interanual da intensidade de brilho nas regiões oceânicas e continentais, as quais são abrangidas pelos 40 quadrados de Marsden indicados na Figura 2.1. O comportamento da intensidade ao longo dos anos apresenta oscilações em relação à normal climatológica. Identificam-se acentuadas variações de brilho entre determinados anos, notoriamente entre 1972 (seco), 1974 (chuvoso) e 1976

(seco), principalmente na região continental, em março, abril e maio. Os anos de 1974 e 1976 serão analisados em detalhe mais adiante.

Observa-se também a variabilidade interanual na extensão e na posição da ZCIT, tanto na parte oeste, como na parte leste (próxima à costa oeste da África) do oceano Atlântico, dentro da faixa de latitudes de 5°N a 5°S (à oeste) e acima de 5°N (a leste).

Constata-se que nos anos chuvosos a ZCIT atinge posições mais ao sul do que nos anos secos, na parte oeste do Atlântico, junto à costa nordeste do Brasil. Este último vem corroborar as observações de Hastenrath e Heller (1977), bem como os resultados de Oliveira (1981).

Nota-se também que em maio tem início a intensificação da nebulosidade da ZCIT na região leste do Atlântico, estendendo-se para áreas mais ao norte nos anos secos.

3.4 - CARTAS DE DESVIOS DE BRILHOS

As cartas de brilho (Figura 3.10) evidenciam a variabilidade de interanual, mostrando os desvios em relação à normal. Os desvios positivos indicam que um determinado ano registrou uma nebulosidade média mensal maior que a normal climatológica no quadrado de Marsden correspondente, e os desvios negativos o contrário.

Constata-se no mês de abril (estação chuvosa na parte norte do Nordeste) acentuada variação interanual na intensidade da nebulosidade, tanto na região Nordeste quanto na oceânica. Ressalta-se o comportamento inverso da nebulosidade de 1974(chuvoso) e de 1976(seco), em relação à normal climatológica. No ano chuvoso notam-se no Nordeste e na parte oeste do Oceano Atlântico, ao sul do equador, desvios positivos, enquanto a leste os desvios são negativos. Verifica-se que ocorre o contrário nestas mesmas regiões durante o ano seco.

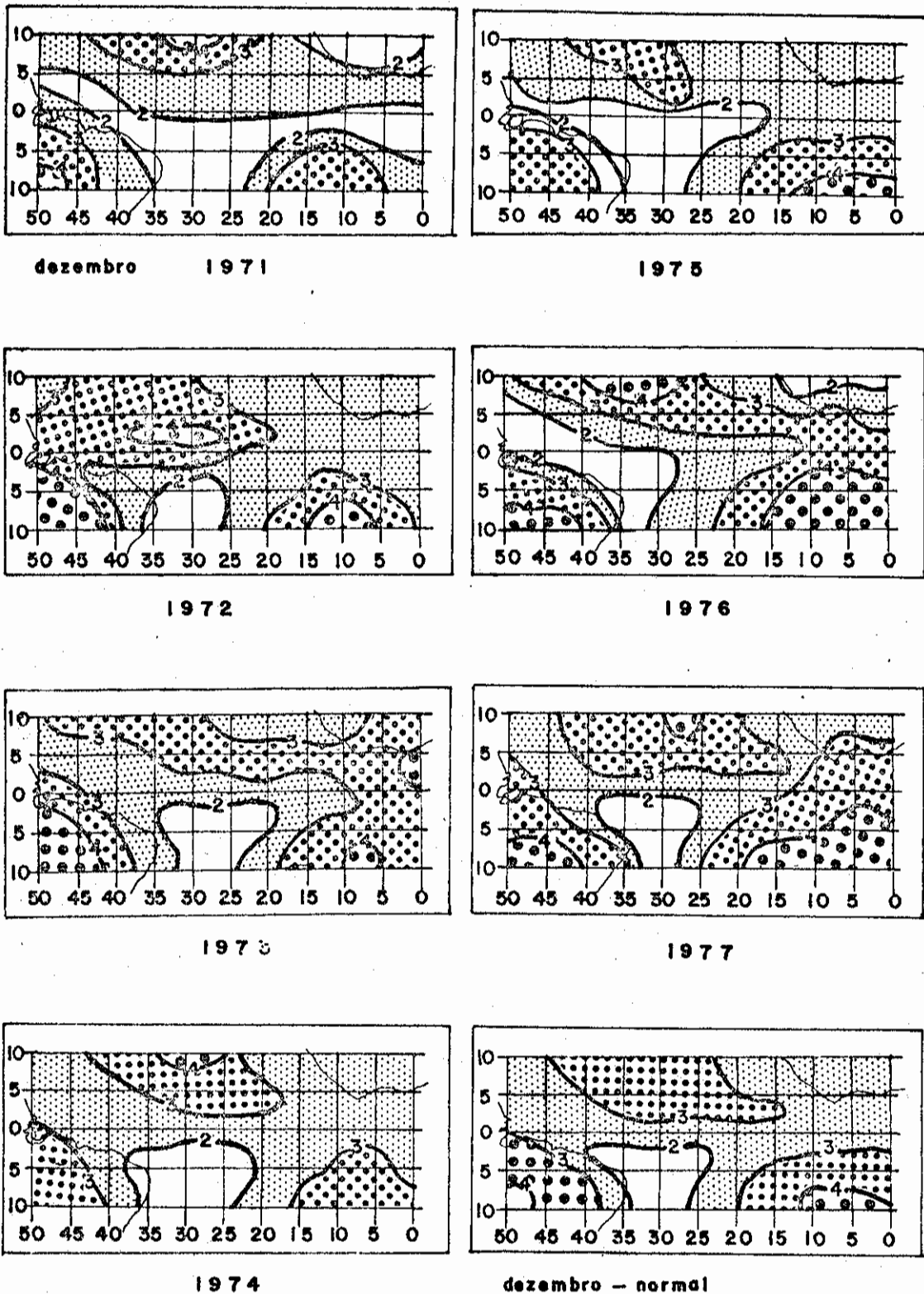


Fig. 3.3 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de dezembro, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977.

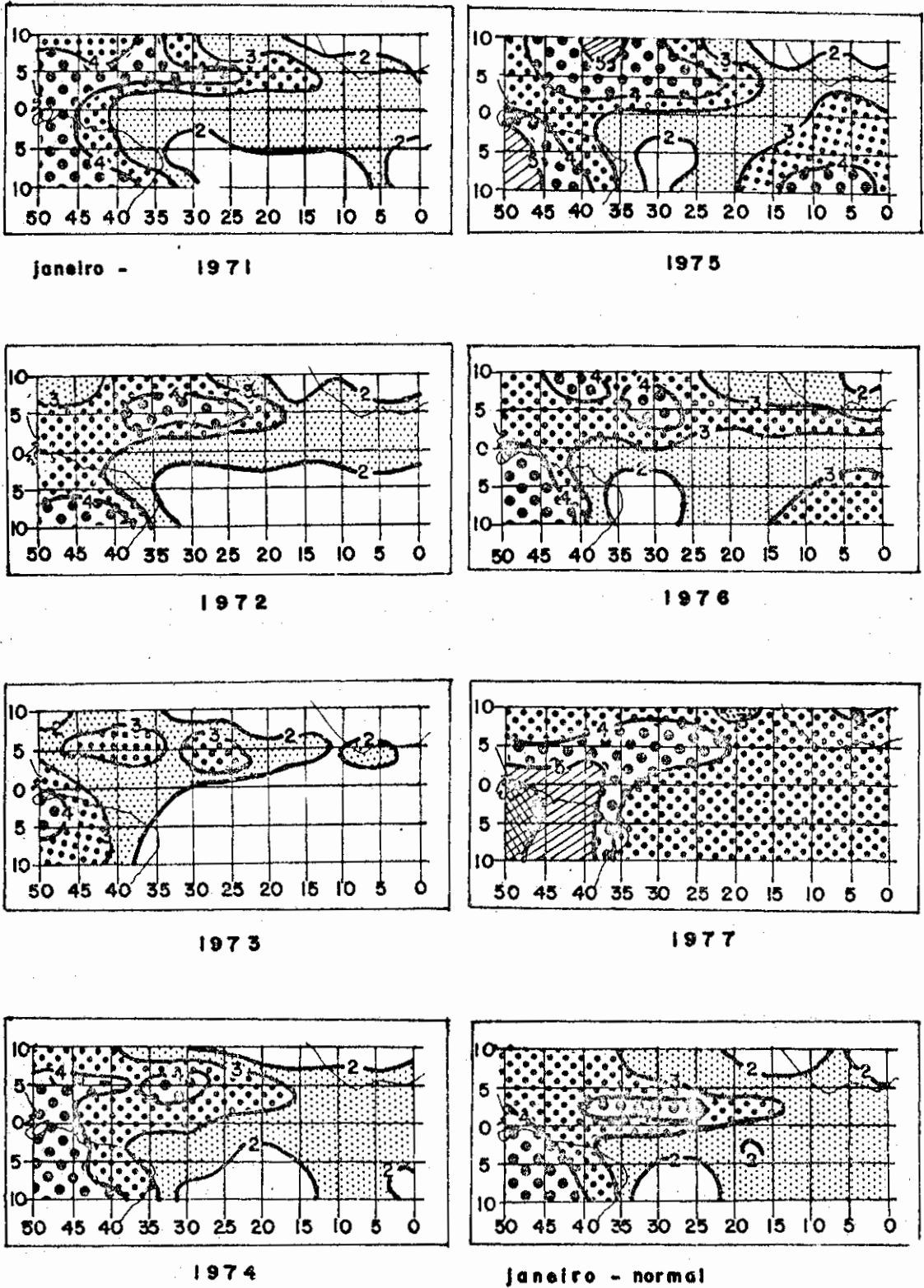


Fig. 3.4 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de janeiro, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977.

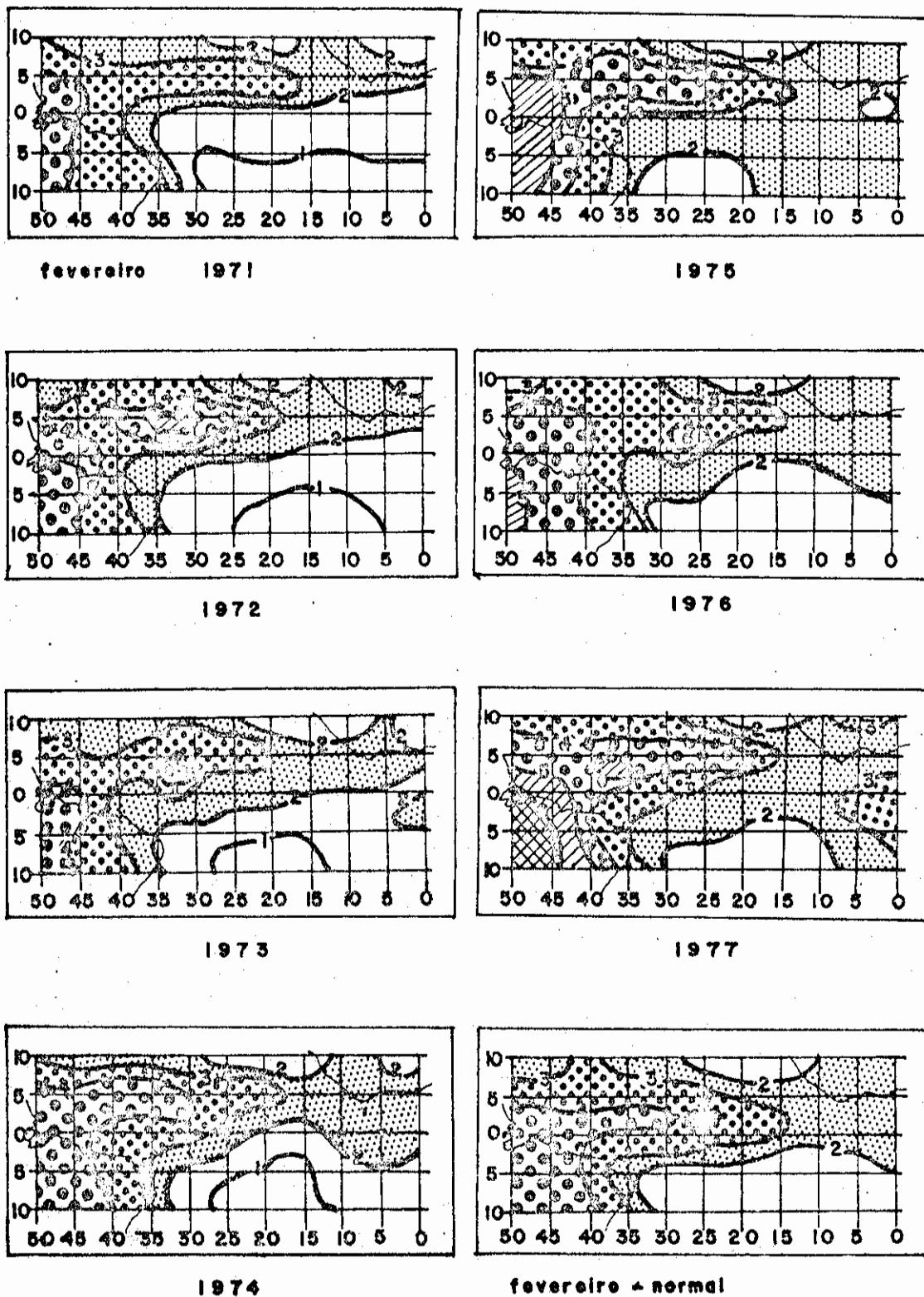


Fig. 3.5 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de fevereiro, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977.

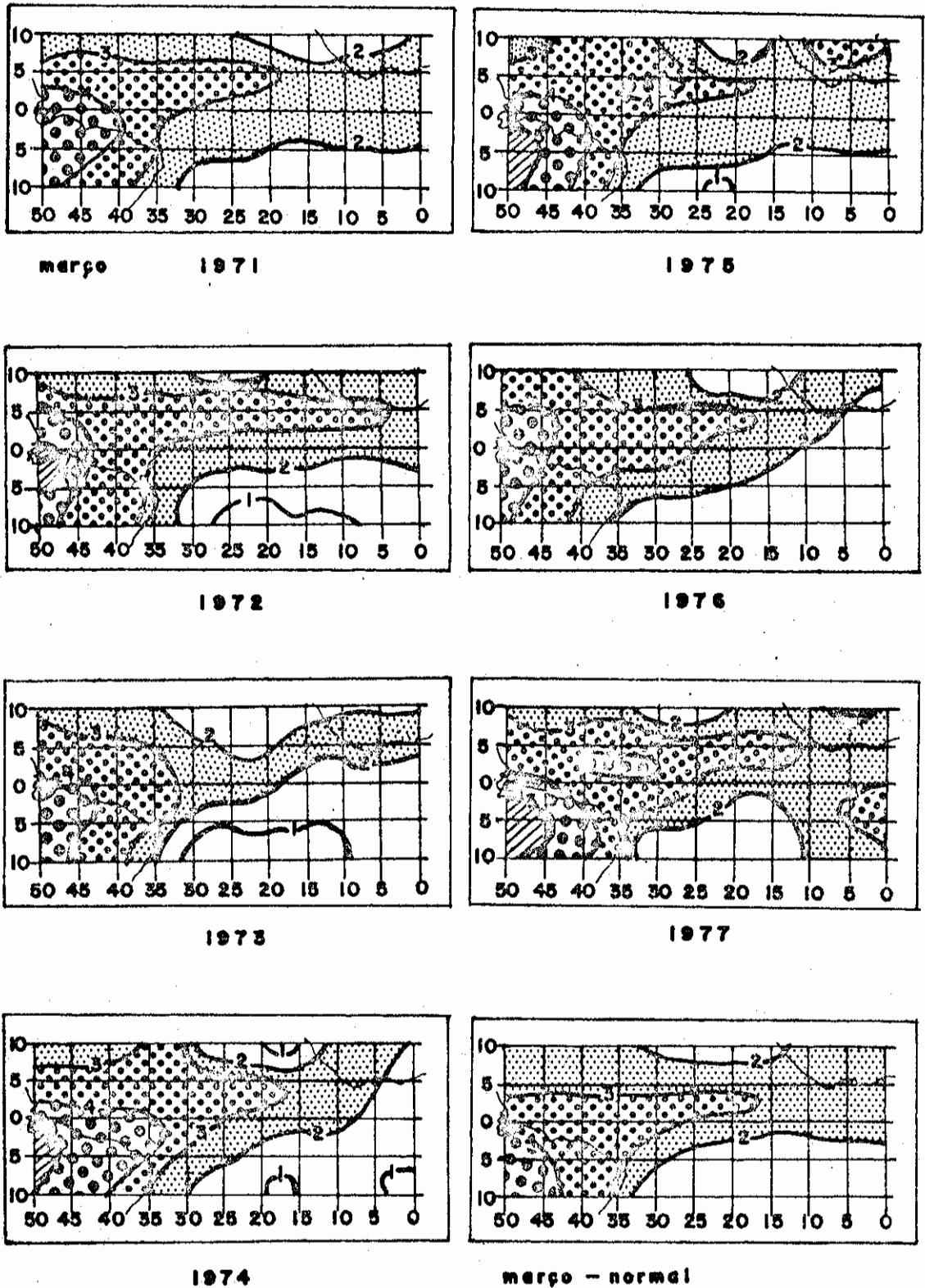


Fig. 3.6 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de março, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977.

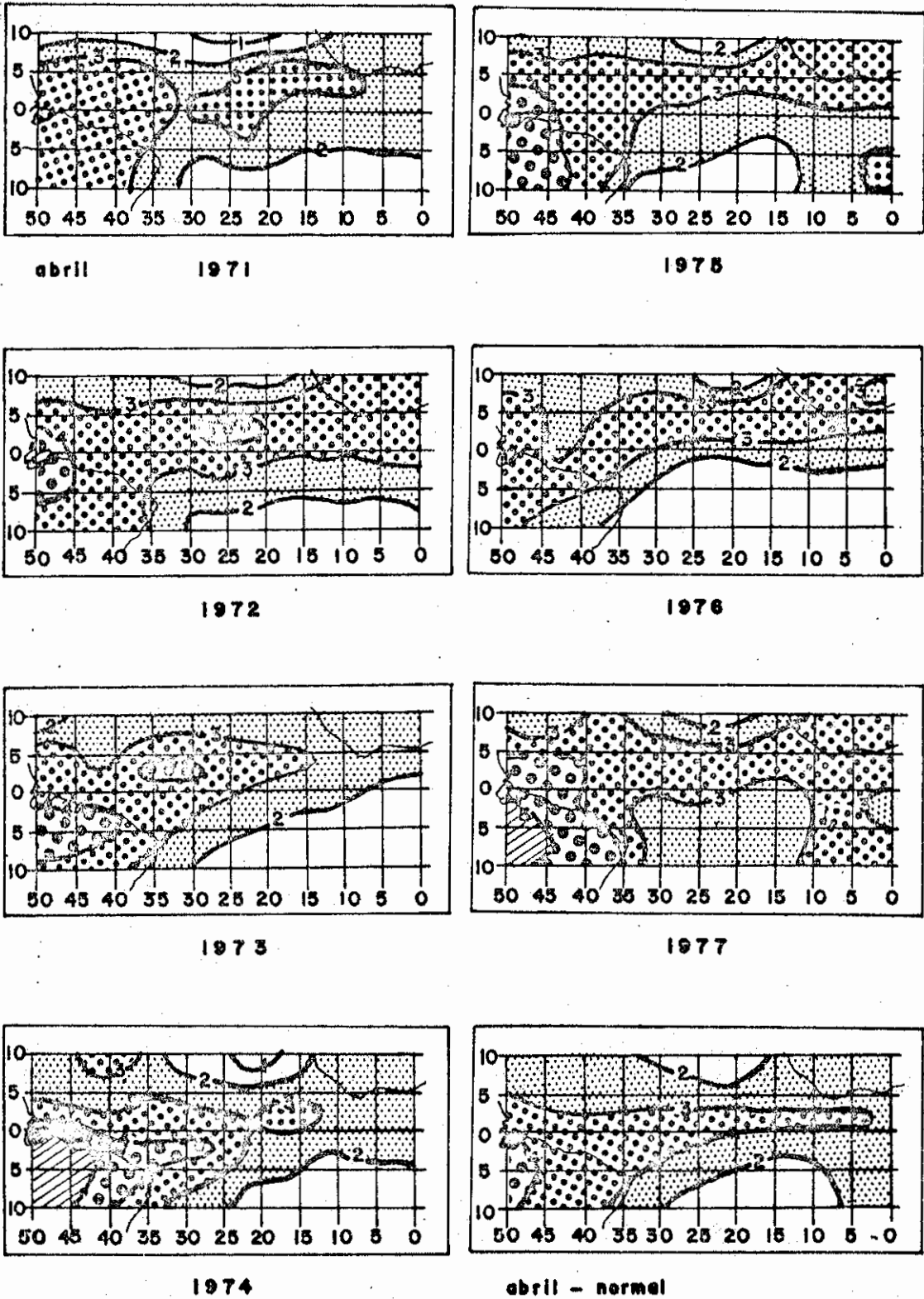


Fig. 3.7 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de abril, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977.

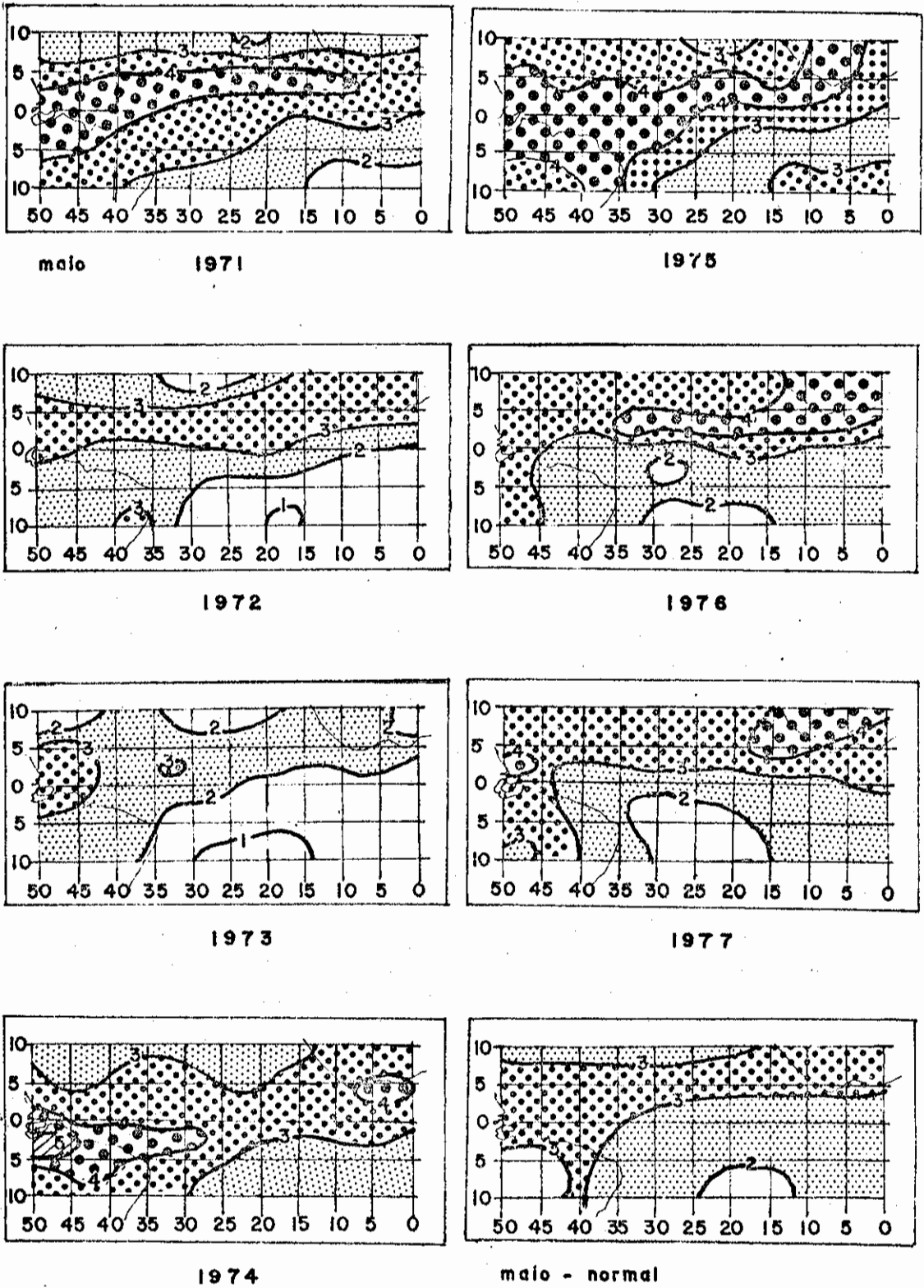
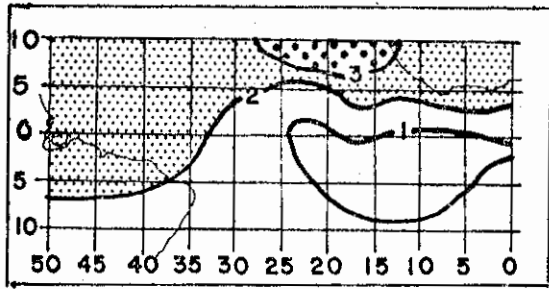
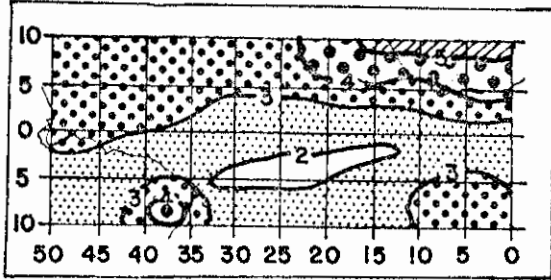


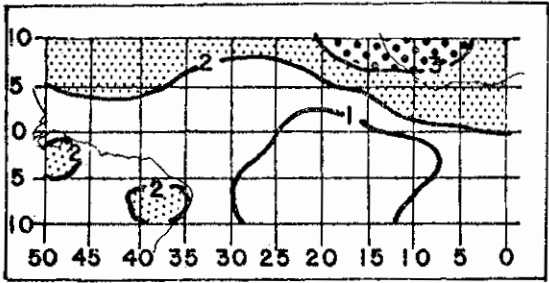
Fig. 3.8 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de maio, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977.



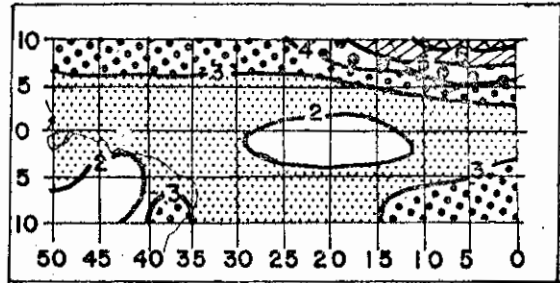
Junho 1971



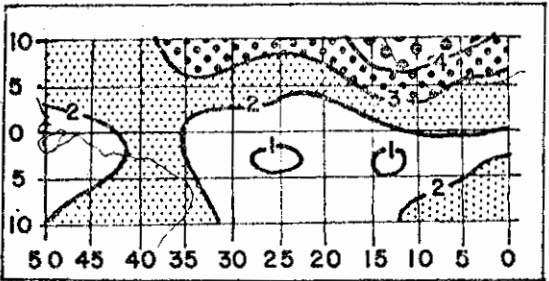
1975



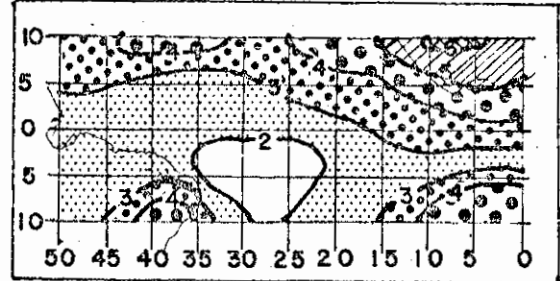
1972



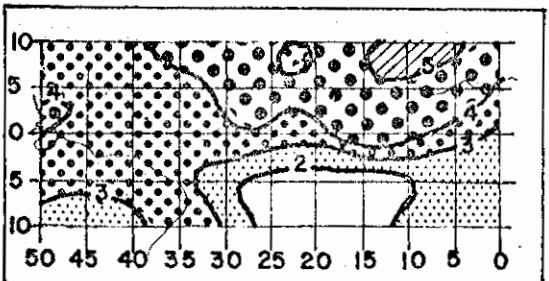
1976



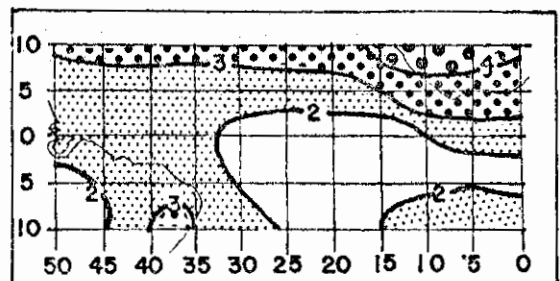
1973



1977



1974



Junho - normal

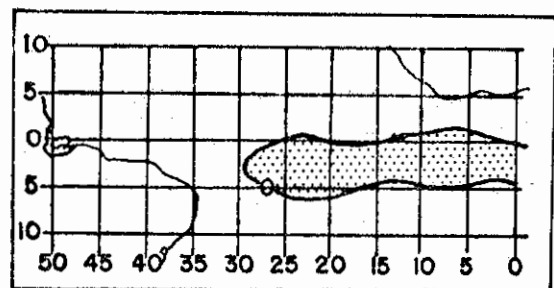
Fig. 3.9 - Cartas de brilho médio mensal e normal do mês de junho, em oitavos de céu coberto, para os anos de 1971 a 1977.

3.5 - CARTAS DE DIFERENÇA DE BRILHO

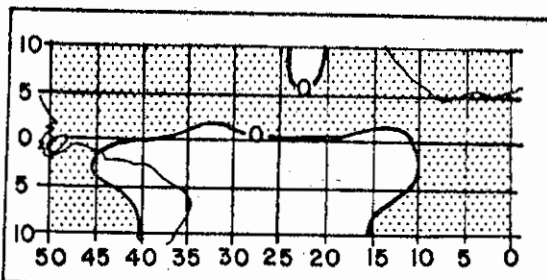
A região Nordeste do Brasil apresentou em 1974 índices pluviométricos bem acima da média climatológica e no ano de 1976 registrou, em média, para toda a área, totais anuais abaixo da normal (Marques, 1981); estes são, por isso, de interesse para o estudo dos mecanismos dinâmicos que contribuem para a acentuada variabilidade interanual de precipitação nesta região. Exemplifica-se esta afirmação com dados pluviométricos da estação meteorológica de Fortaleza, Ceará, cuja média de 130 anos (1848-1978) é de 1427mm e onde se registrou em 1974 (novembro de 1973 a outubro de 1974) 170% da normal, ou seja, 2427mm; o ano de 1976, com um total de 1477mm, mostra uma acentuada redução da precipitação em Fortaleza (104% da normal), o que indica que, no cômputo global para a região, este último ano se caracterizou por escassez de chuvas, como se verifica através de simples comparação de totais de precipitação em Quixeramobim na estação chuvosa (março-abril): 526mm (1974) e 292mm (1976).

Com o intuito de evidenciar a diferença do comportamento da nebulosidade no Atlântico Equatorial e especialmente na ZCIT, foram calculadas cartas de diferença de brilho entre o ano chuvoso (1974) e o ano seco (1976). A partir das médias climatológicas para cada quadrado de Marsden de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$, foram obtidas as diferenças de brilho, considerando-se os valores de 1974 menos os de 1976; desse modo, as regiões que apresentam desvios positivos indicam maior nebulosidade em 1974 (ano chuvoso) do que em 1976 (ano seco) e as áreas com desvios negativos, o contrário.

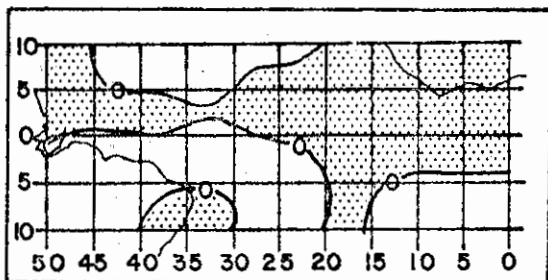
As cartas de diferença de brilho (Figura 3.11) evidenciam que nos meses de março, abril e maio a nebulosidade ao sul do equador é bastante acentuada no ano chuvoso, ao passo que a nebulosidade ao norte do equador é mais pronunciada no ano seco; isto indica que a ZCIT nos anos chuvosos posiciona-se mais ao sul do que nos anos secos. Pode-se ainda constatar que no início do inverno, em junho, a ZCIT é identificada ao sul de $5^{\circ}N$. A diferença de brilho em maio é bastante acentuada e pode estar relacionada à permanência prolongada da ZCIT ao sul do equador. Neste mesmo mês, verifica-se que a produção de chuvas em Fortaleza é 223% da normal em 1974 e 57% em 1976.



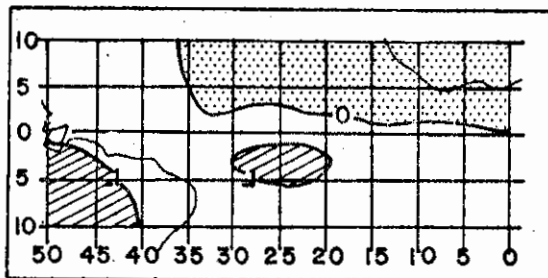
Abril-1971



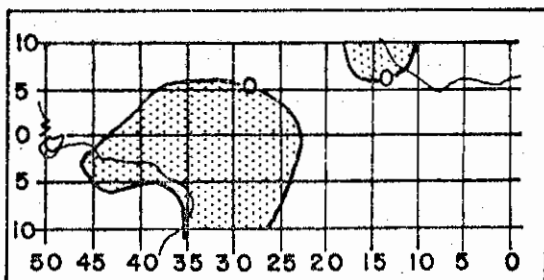
Abril-1975



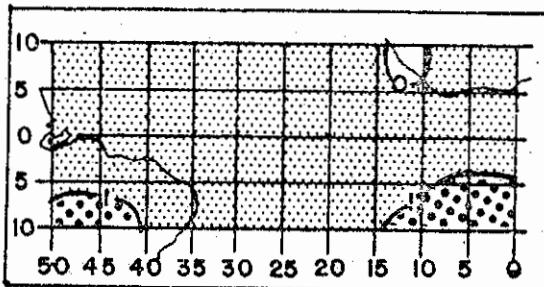
Abril-1972



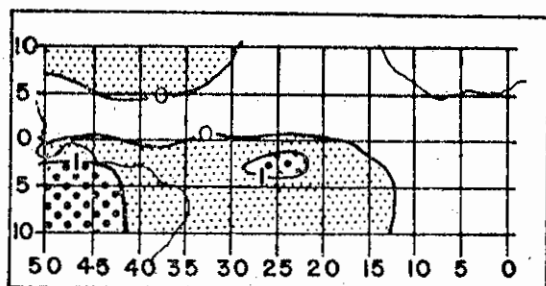
Abril-1976



Abril-1973



Abril-1977



Abril-1974

Fig. 3.10 - Cartas de desvios do brilho (média mensal menos a média climatológica) para o mês de abril, em oitavos de céu coberto.

- Regiões com desvio positivo (pontilhadas) e regiões com desvio negativo (em branco e hachuradas).

A observação, nas cartas de diferença de brilho, de que a nebulosidade no oceano, em regiões afastadas do Nordeste, se comporta de maneira inversa no ano chuvoso e no ano seco vem corroborar a hipótese de que a precipitação no Nordeste é influenciada por mecanismos dinâmicos de grande escala, que podem favorecer ou inibir as atividades convectivas no Nordeste, tais como:

- a) Deslocamento da ZCIT mais para o sul e maiores índices de precipitação que resultam de atividade ciclônica mais intensa no Hemisfério Norte (Terranova)(Namias, 1972).
- b) Alterações simultâneas da alta do Atlântico Norte(enfraquecimento) e do Atlântico Sul(fortalecimento), favorecendo a ocorrência da seca (Hastenrath and Heller, 1977).
- c) Aparecimento simultâneo de anomalias de TSM do Atlântico Norte(positivas)e do Atlântico Sul(negativas), associadas à seca(Moura e Shukla, 1980).
- d) Alterações na circulação termicamente direta, leste-oeste, associada ao anticiclone em 200 mb(alta da Bolívia)(Kousky e Moura, 1981; Oliveira, 1981).

Entretanto a nebulosidade na região tropical oceânica e continental e a precipitação no Nordeste são afetadas também por sistemas sinóticos superpostos à circulação de grande escala, tais como:

- a) Aglomerados de cumulonimbi que são identificados sobre o oceano, deslocando-se para oeste (Yamasaki and Rao, 1977), e que podem influir na produção de precipitação no Nordeste (Ramos, 1975).
- b) Vórtices ciclônicos na alta troposfera (Figura 3.12), os quais tendem a aumentar a precipitação sobre a parte norte do Nordeste (Aragão, 1975; Virji, 1981; Kousky and Alonso, 1981).

- c) Sistemas frontais que alteram o campo de pressão e a circulação dos ventos (Kousky, 1979), resultando na predominância de ventos do quadrante norte durante os períodos chuvosos, na região norte do Nordeste (Figura 3.13).

Os ventos de escala sinótica quando interagem com ventos locais, como a brisa marítima e terrestre, contribuem consideravelmente para a produção de precipitação na região litorânea do Nordeste (Kousky, 1980). Entretanto, nas cartas de brilho anteriormente mencionadas, não está incluída a variação diurna da nebulosidade, e, como tal, não se podem detectar a brisa marítima e a terrestre, uma vez que as imagens de satélite utilizadas neste trabalho referem-se a um só horário, 0900 HML (Hora Média Local).

Verifica-se por isso que, exceto quanto ao registro da nebulosidade resultante da brisa marítima, as cartas de brilho mostram bastante concordância com os resultados apresentados por Miller e Feddes (1971). Estes usam imagens de 1967-70, no período da tarde, nas quais se identifica significativa nebulosidade na faixa costeira norte-nordeste do Brasil, mais intensa em fevereiro, março, abril e maio, devido à brisa marítima, ou seja, à forte convecção que resulta da interação do escoamento médio com a circulação local.

A contribuição dos ventos alísios para a intensificação da nebulosidade costeira na região tropical é acentuada quando a direção do escoamento médio é contrária à circulação local. No entanto, esta contribuição é menor quando os alísios têm a mesma direção da brisa marítima, devido ao atrito diferencial, que desacelera o escoamento, favorecendo a convergência e a convecção.

Em consequência de tudo isso, na região costeira norte-nordeste obtêm-se o máximo de precipitação durante a noite, devido à interação dos mecanismos de grande escala com a brisa terrestre.

Esta contribuição é significativa no litoral e pode ser verificada, em parte, comparando-se os valores de precipitação de Fortaleza

leza ($3^{\circ} 46'S$, $38^{\circ} 33'W$) e Quixeramobim ($5^{\circ} 12'S$, $39^{\circ} 18'W$), como se ve
rã no exame dos gráficos mostrados na próxima seção.

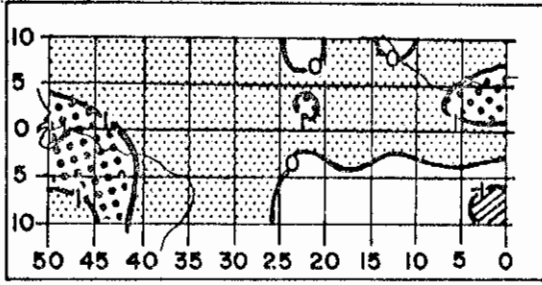
3.6 - VARIAÇÕES DE CURTO PRAZO

Na CIT observam-se os alísios de Nordeste e de Sudeste com velocidade extremamente reduzida, ocasionada pela desaceleração do escoamento médio em baixos níveis, que ocorre ao sul do eixo de confluência, na região da ZCIT. A convergência intertropical no decorrer do ano é sustentada inicialmente por esta desaceleração do escoamento médio em baixos níveis; porém, os ventos alísios na costa norte-nordeste apresentam mudanças sazonais de direção e de intensidade. Lamb (1977) verificou o seguinte comportamento desses ventos:

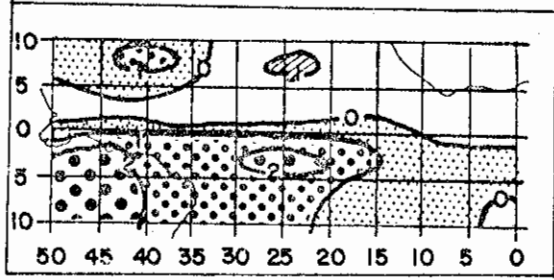
- a) Ventos de sudeste: janeiro a março, fracos; julho a setembro, fortes.
- b) Ventos de nordeste: janeiro a junho, fortes; outubro a dezembro, fracos.

Além desta variação em intensidade, o escoamento médio em baixos níveis é identificado com direção para dentro da costa (janeiro a abril) e com direção paralela à costa (maio em diante) (Hastenrath and Lamb, 1977 a). Entretanto, superpostas a estas condições predominantes, verificam-se variações de curto prazo.

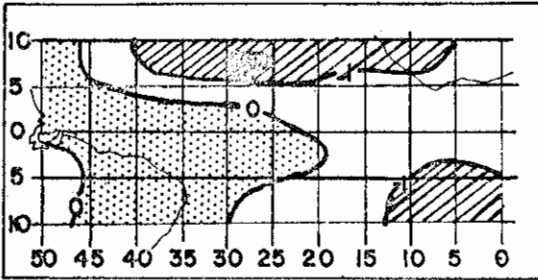
Com dados diários de nebulosidade em oitavos de céu coberto, de dezembro a junho, para os anos de 1974 (chuvoso) e 1976 (seco), foram plotadas séries "brilho x tempo" para os seguintes quadrados de Marsden: a) 005 1 ($5^{\circ}N$ a 0° , $40^{\circ}W$ a $45^{\circ}W$); b) 004 2 ($5^{\circ}N$ a 0° , $35^{\circ}W$ a $40^{\circ}W$); c) 304 1 (0° a $5^{\circ}S$, $40^{\circ}W$ a $45^{\circ}W$); e d) 303 2 (0° a $5^{\circ}S$, $35^{\circ}W$ a $40^{\circ}W$), indicados pela área hachurada na Figura 2.1.



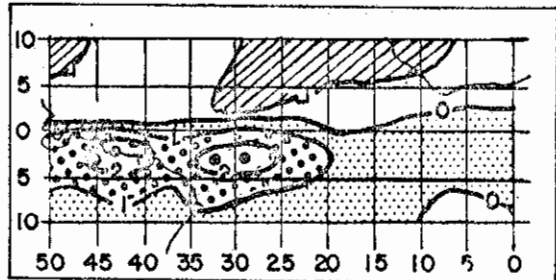
Dezembro 73-75



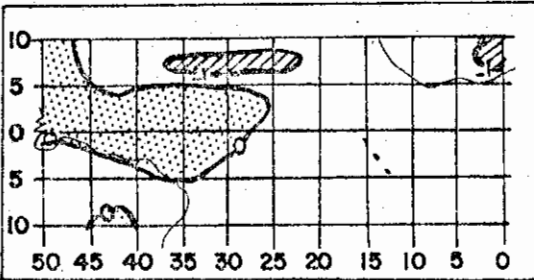
Abril 74-76



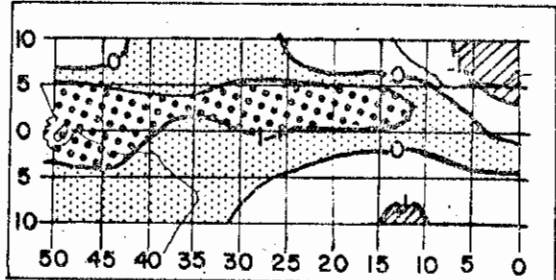
Janeiro 74-76



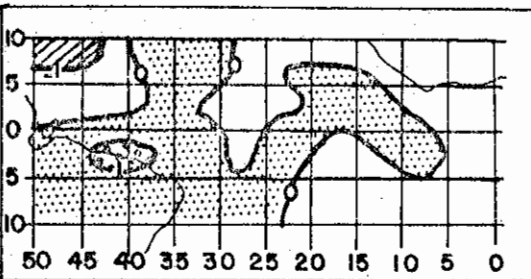
Maio 74-76



Fevereiro 74-76



Junho 74-76



Março 74-76

Fig. 3.11 - Cartas de diferença de nebulosidade (média mensal de 1974 menos a média mensal de 1976), em oitavos de céu coberto.

- Regiões com diferença positiva (pontilhadas) e regiões com diferença negativa (em branco e hachuradas).

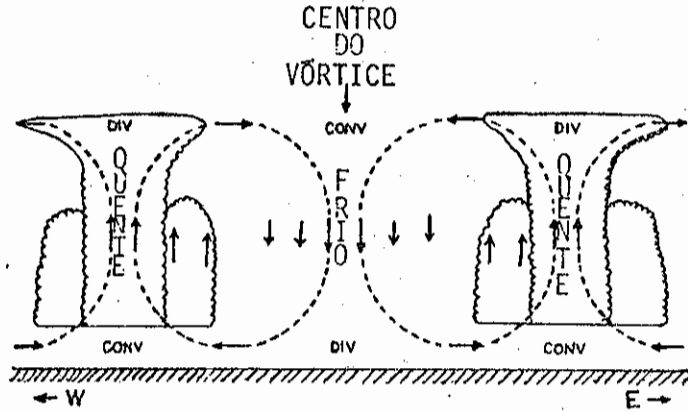


Fig. 3.12 - Esquema da seção vertical de um sistema de vórtice ciclônico, adaptação de Kousky and Alonso (1981).

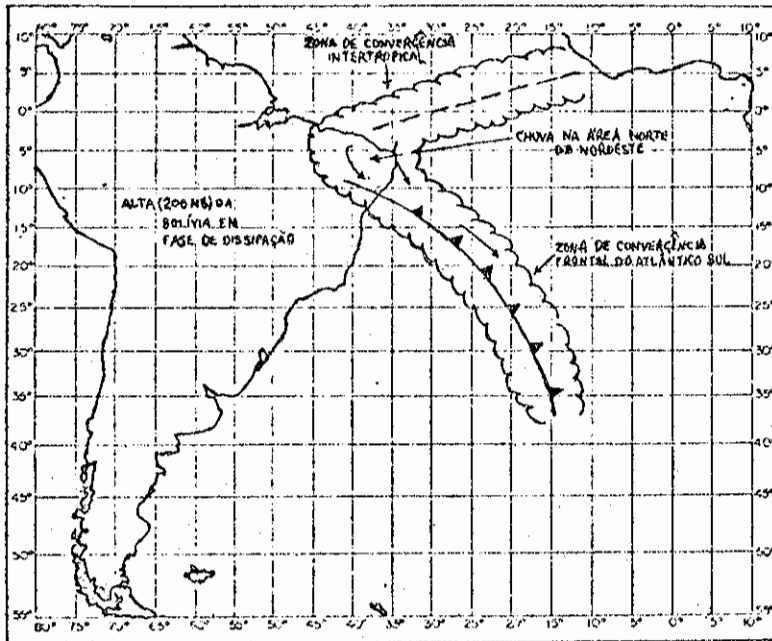


Fig. 3.13 - Modo esquemático de interação da ZCIT com as zonas de convergência no outono.

FONTE: Oliveira (1981).

Observa-se nas Figuras 3.14 e 3.16 que a nebulosidade na região tropical apresenta variações de curto prazo que chegam a 5 oitavos, flutuações estas mais acentuadas que a variação anual das médias mensais de brilho. Estas oscilações diárias na nebulosidade podem estar associadas às rápidas variações na velocidade dos ventos alísios (impulsos), que geram intensificação de convergência em baixos níveis na região equatorial, favorecendo a convecção (Reiter, 1978 a); podem estar relacionadas à passagem de aglomerados de cumulonimbi e também a ondas de leste (Neiva, 1975) que, com períodos de 4 a 6 dias, apresentam boa coerência com a periodicidade dos picos de brilho. Podem ainda relacionar-se com as variações diárias e simultâneas da alta da Bolívia (em 200 mb) e do anticiclone do Atlântico Sul (em baixos níveis), e as correspondentes flutuações na intensidade dos alísios de sudeste, associadas a picos de convergência e convecção.

Quando ocorre a interação da ZCIT com as zonas de convergência, como mostrada na Figura 3.13, a região norte do Nordeste apresenta um sensível aumento na sua produção de precipitação. Nestas ocasiões, observam-se rápidas flutuações de brilho no oceano pelo deslocamento da nebulosidade associada à ZCIT na direção sul, que penetra no continente, tendo em vista a mudança na circulação dos ventos, causada pela interação do cavado equatorial com os sistemas de latitudes médias que atingem o Nordeste.

O comportamento da precipitação nas estações de Fortaleza e Quixeramobim é retratado nas Figuras 3.15 e 3.17, respectivamente, no mesmo período em que se registra o desempenho da nebulosidade de uma região tropical, nas Figuras 3.14 e 3.16.

Analisando-se os picos de nebulosidade e de precipitação, não se encontra uma correspondência uniforme que permita identificar a relação causa-efeito entre estas diferentes áreas. Entretanto, observa-se a existência de períodos de nebulosidade mais intensa em concordância com a ocorrência de períodos de precipitação bem definidos, como em janeiro e fevereiro de 1974, indicados nas Figuras 3.14 e 3.15.

1974

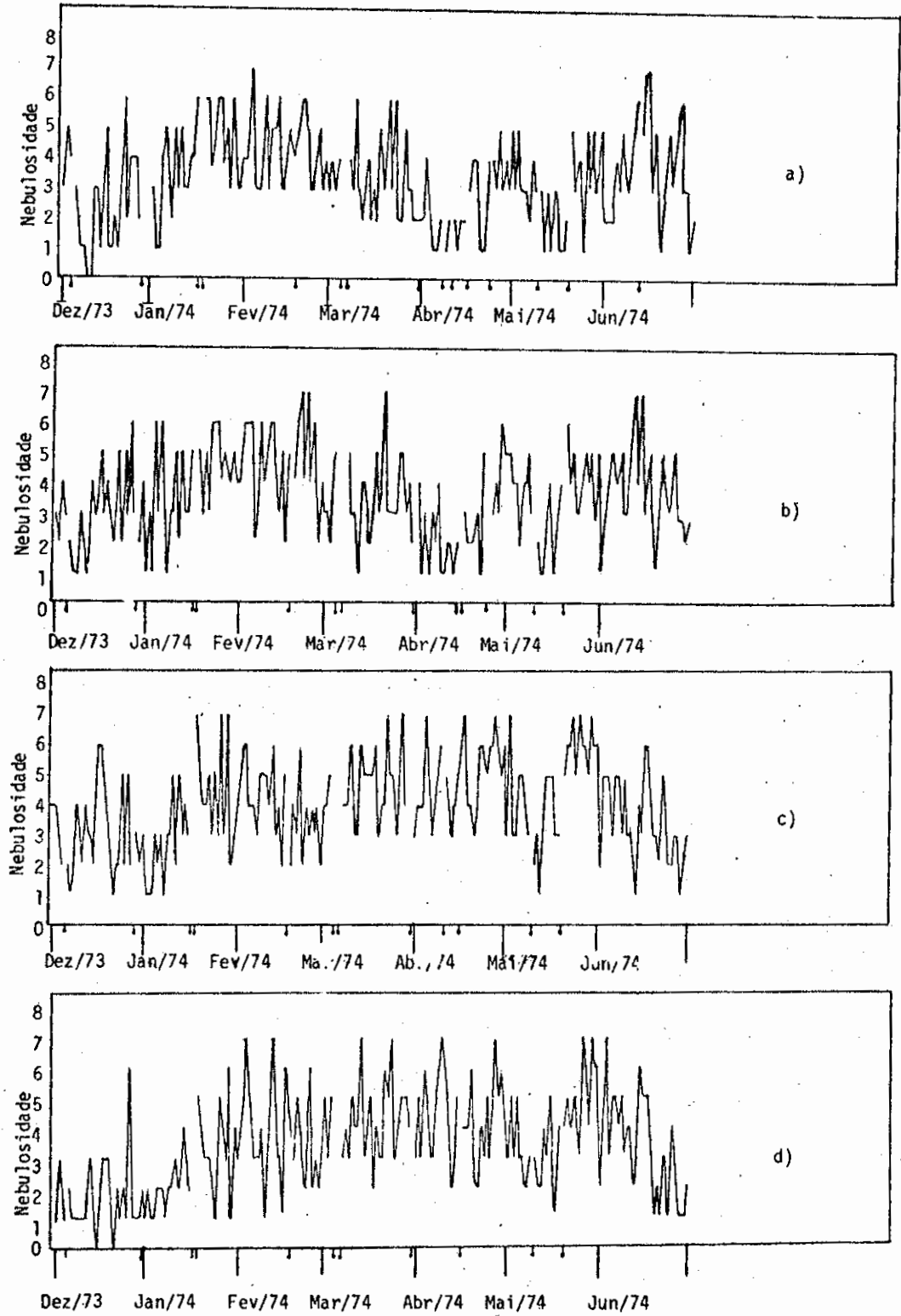


Fig. 3.14 - Sêries nebulosidade versus tempo, dezembro/1973 a junho/1974, para os seguintes quadrados de Marsden: a) 005 1; b) 004 2; c) 304 1; e d) 303 2.

- As marcas na abscissa significam ausência de dados.

1974

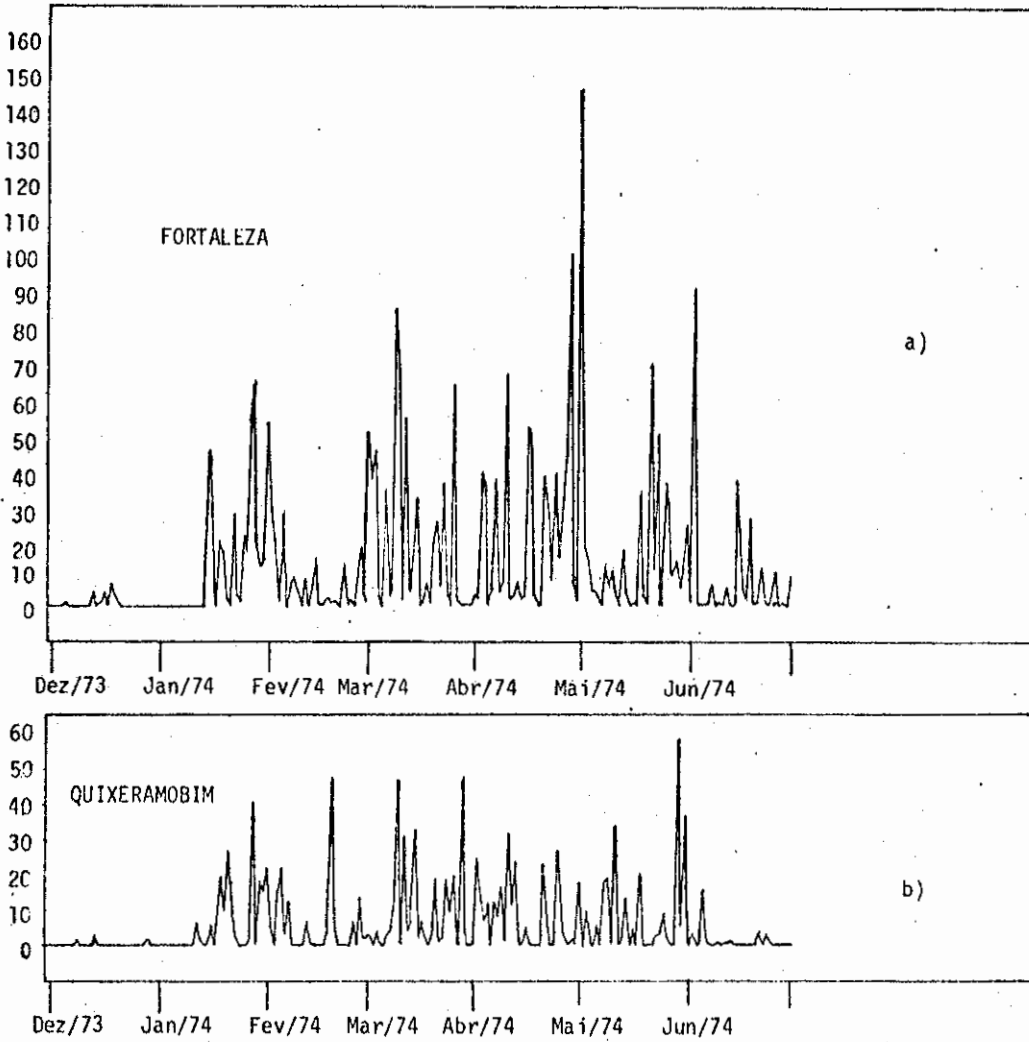


Fig. 3.15 - Séries precipitação versus tempo, dezembro/1973 a junho/1974.

- a) Fortaleza; e b) Quixeramobim.

1976

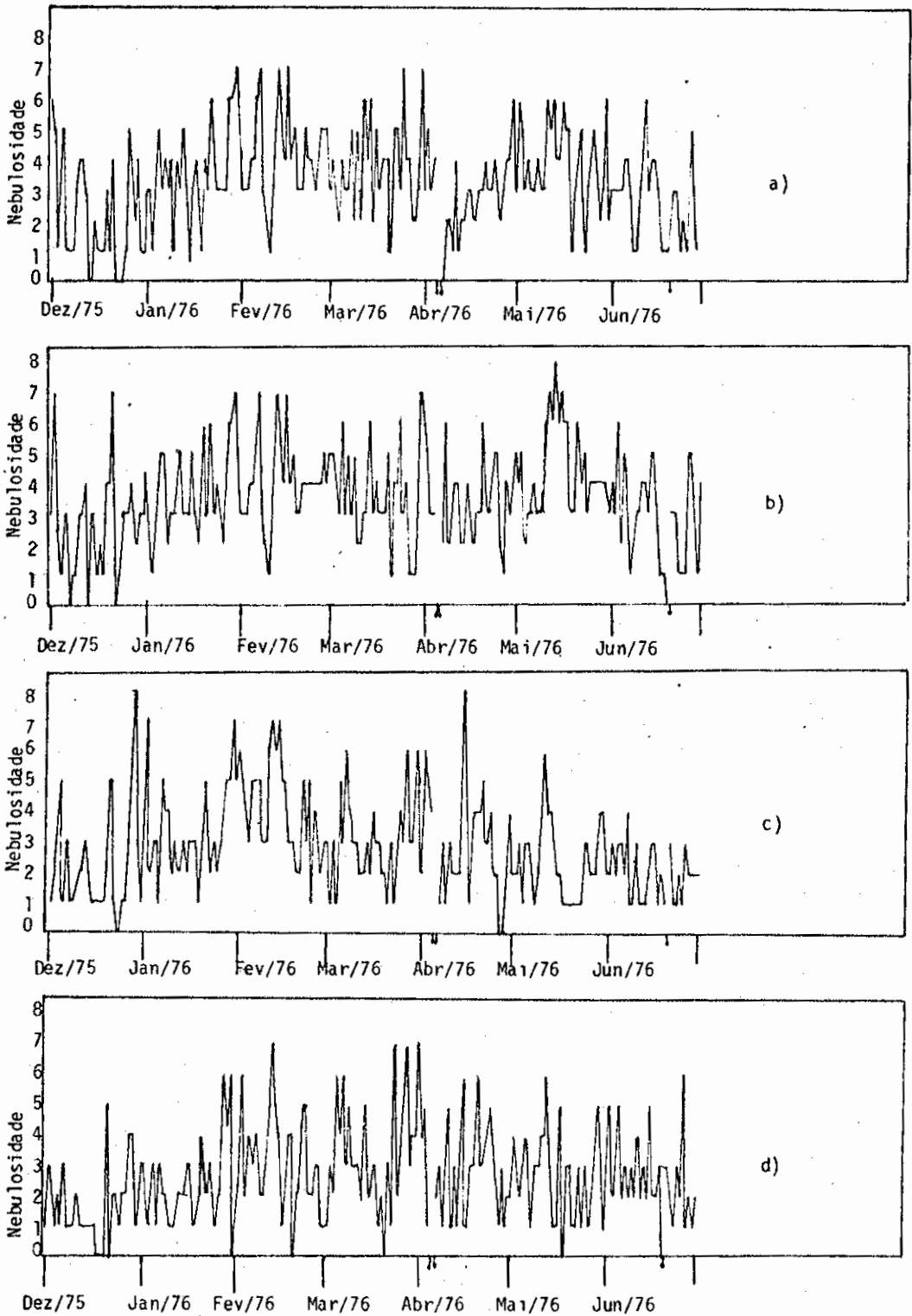


Fig. 3.16 - Sêries nebulosidade versus tempo, dezembro/1975 a junho/1976, para os seguintes quadrados de Marsden: a) 005 1; b) 004 2; c) 304 1; e d) 303 2.

- As marcas na abscissa significam ausência de dados.

1976

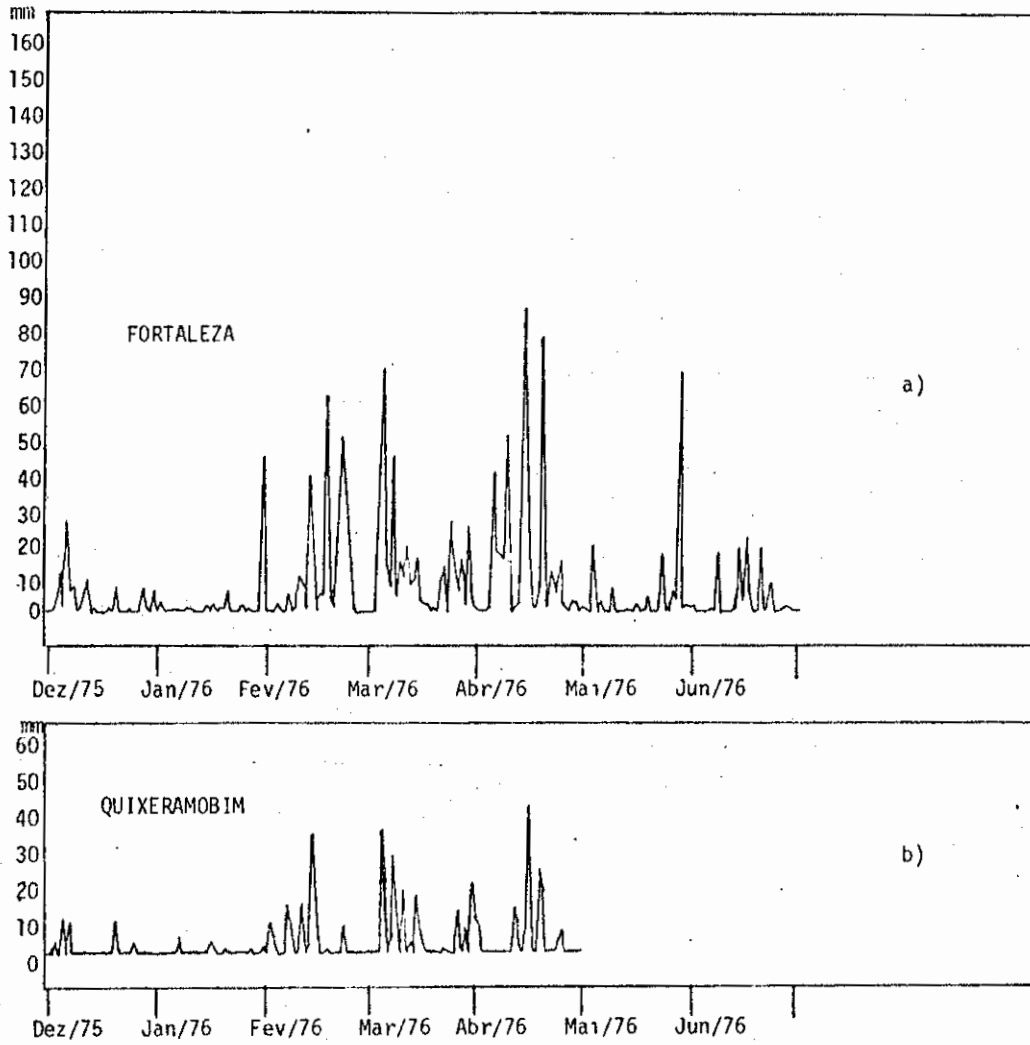
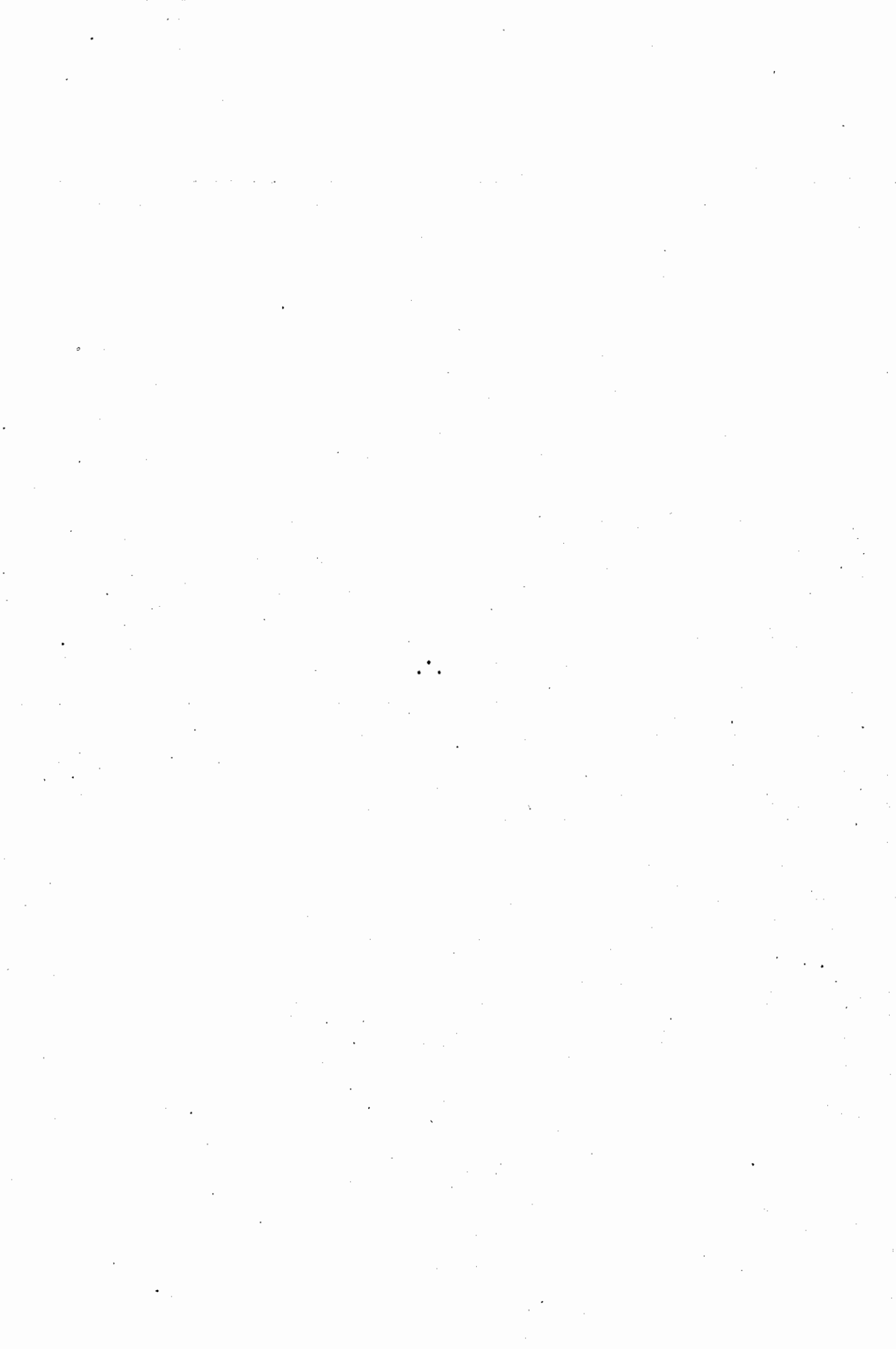


Fig. 3.17 - Séries precipitação versus tempo, dezembro/1975 a junho/1976.

a) Fortaleza; e b) Quixeramobim.

Mesmo entre as estações de Fortaleza e Quixeramobim não existe uma correspondência em todos os picos, embora um grande número de oscilações ocorra simultaneamente, como os picos que ocorreram em 9, 10 e 26 de março de 1974 e 5 e 8 de março de 1976. Observa-se também pela Figura 3.17 a correspondência de períodos de precipitação mais intensa nestas duas estações, o que indica que a chuva, nestes períodos, resulta da interação de sistemas em escala sinótica com eventos e características locais. Constatam-se da mesma forma fortes chuvas em regiões isoladas, sem qualquer correspondência com picos de precipitação em outra estação e sem indício de forte nebulosidade no oceano, indicando tratar-se de atividade convectiva local.



CAPÍTULO 4

SUMÁRIO E CONCLUSÕES

A ZCIT apresenta variabilidade sazonal, interanual e diária em sua posição e intensidade. O deslocamento sazonal da ZCIT, mais para o sul, coincide com a estação de precipitação mais intensa na parte norte do Nordeste (março e abril). Portanto, a sua variação interanual, nesta estação, está associada à acentuada mudança interanual do desempenho da precipitação no Nordeste. A produção de chuvas, na mesma região, é afetada também por variações de curto prazo da ZCIT associadas à sua interação com sistemas sinóticos de latitudes médias e vórtices ciclônicos (em 200 mb), bem como à passagem de aglomerados de cumulonimbi.

As cartas de brilho médio evidenciam que nos meses de verão a região de nebulosidade mais intensa localiza-se no Atlântico oeste, acima do equador, enquanto a parte leste do Atlântico apresenta reduzida nebulosidade. Entretanto, nos meses de outono a ZCIT expande-se para o sul do equador, atingindo latitudes abaixo de 5°S , junto à costa do Nordeste, ao mesmo tempo que se identifica um enfraquecimento em sua intensidade. Esta redução do brilho da ZCIT ocorre com o simultâneo fortalecimento da atividade convectiva no Nordeste e pode estar relacionada com as mudanças na posição e na intensidade do ramo subsidente da circulação de Walker (Kousky e Moura, 1981).

Verifica-se que no ano chuvoso (1974) a ZCIT posicionou-se ao sul da normal climatológica, enquanto nos anos secos (1972 e 1976) ela aparece bastante ao norte. O comportamento inverso, nos anos chuvoso e seco, da nebulosidade afastada da costa do Nordeste vem corroborar a hipótese de que a precipitação no Nordeste é influenciada por mecanismos dinâmicos de grande escala.

A identificação de comportamento bastante diferenciado da nebulosidade em anos chuvoso e seco mostra que é viável usar cartas de brilho médio para estudar anomalias climáticas.

Estas cartas, obtidas de imagens de satélites, confirmam alguns resultados de trabalhos anteriores, em que foram utilizados dados de superfície:

- a) Serra e Ratisbona (1942) mencionam a relevância do movimento da ZCIT ao verificarem o seu efeito sobre a precipitação na parte central do Nordeste. As cartas de brilho apresentadas pelas Figuras 3.1 e 3.2 mostram a variabilidade sazonal da ZCIT em posição e intensidade entre a estação pré-chuvosa (dezembro a fevereiro) e a estação chuvosa (março a maio).
- b) Hastenrath e Lamb (1977 b) constataram que a ZCIT migra mais para o sul em março e abril, fato este ratificado nas cartas de brilho apresentadas pelas figuras 3.1 e 3.2.
- c) Hastenrath e Lamb (1978) verificaram que a variabilidade sazonal e interanual da ZCIT mantém sempre uma correspondência positiva com o eixo da CIT. Esta variação em posição e em intensidade da ZCIT é identificada nas cartas de brilho apresentadas pelas Figuras 3.3 a 3.9.
- d) Hastenrath e Heller (1977) constataram, utilizando dados de superfície (1911-1970), variações interanuais no movimento migratório da CIT e nos aspectos associados à ZCIT. Nos anos secos, a posição do eixo de confluência foi identificada mais ao norte que a média climatológica e, concorrentemente, faixas de máxima nebulosidade orientadas zonalmente ficam mais ao norte, o que é corroborado pelas cartas de brilho apresentadas pelas Figuras 3.6, 3.7 e 3.8.
- e) O posicionamento da ZCIT, na estação chuvosa (março-abril), mais para o norte nos anos de seca no Nordeste, constatado nas cartas de brilho das Figuras acima mencionadas, ratificam as observações de Hastenrath (1978) e Moura e Shukla (1980).

A avaliação das séries "nebulosidade versus tempo" indica mudanças acentuadas flutuações na nebulosidade na região tropical. No entanto, em inspeção visual observa-se que os picos de brilho não apresentam uma periodicidade uniforme, embora seja às vezes notória a ocorrência de picos com períodos de 3 a 6 dias. Estas variações de curto prazo da ZCIT podem estar associadas a impulsos dos ventos alísios (Reiter, 1978 a), a ondas de leste (Neiva, 1975), a sistemas frontais que penetram em baixas latitudes (Kousky, 1979), a vórtices ciclônicos na alta troposfera (Kousky and Alonso, 1981) ou a aglomerados de cumulonimbi (Yamazaki and Rao, 1977).

A análise conjunta das séries "nebulosidade versus tempo" e "precipitação versus tempo" não revelou uma correspondência uniforme que permita identificar a relação causa-efeito entre os picos de forte nebulosidade no Atlântico e os picos de precipitação em Fortaleza e Quixerambim. Entretanto, observou-se certa concordância de períodos de brilho mais intenso com períodos de chuva mais abundante.

Supõe-se que a variabilidade de curto prazo da ZCIT esteja associada às variações diárias de intensidade da circulação, do tipo Walker. Por outro lado, as oscilações de longo prazo da referida circulação podem estar relacionadas com a variabilidade interanual da ZCIT.

Uma explicação viável para a ocorrência de anos secos poderia ser uma certa permanência do modo de interação das zonas de convergência do Atlântico Sul com a ZCIT, que se observa na primavera (Oliveira, 1981). Parece coerente que uma forte alta (em 200 mb) da Bolívia associe-se a um anticiclone subtropical do Atlântico Sul mais forte; assim, se o sistema boliviano permanece intenso nos meses de verão, é de esperar-se que a subsidência no Atlântico Sul venha a ser igualmente intensa, fortalecendo o anticiclone. Estes dois fatos, em conjunto, corresponderiam a uma circulação de Walker mais forte e a uma posição mais ao norte da ZCIT nos anos secos.

Com a finalidade de identificar as áreas de ocorrência de atividades convectivas mais intensas, sugere-se que na continuação do estudo de cartas de brilho selecionem-se apenas as nuvens precipitáveis, o que atualmente pode ser obtido por meio do realce das imagens no espectro visível e no infravermelho, diretamente, utilizando-se um computador.

Sugere-se ainda que, ao pesquisar a nebulosidade da ZCIT no inverno e na primavera (HS), a área de trabalho seja estendida para o norte até 15°N ou 20°N . Seria também interessante verificar a influência das frentes frias do Hemisfério Norte sobre a ZCIT durante o verão e o outono (HS).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, J.O.R. *Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos, 1975. (INPE-789-TPT/017).
- BARNETT, J.O. The principal time and space scales of Pacific trade wind fields. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 34(2): 221-236, 1977.
- BARRET, E.C. *Climatology from satellites*. London, Methuen, 1974.
- BJERKNES, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Monthly Weather Review*, 97(sf):163-172, 1969.
- _____ A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, 18(4): 820 - 829, 1966.
- _____ *Preliminary study of the atmospheric circulation during the period preceding the 1972-73 El Niño*. A NORPAX contribution, 15p, 1974. Apud McCreary (1976).
- CAVALCANTI, I.F.A. *Um estudo sobre as interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1982 (INPE-2494-TDL/097)
- CHARNEY, J.G. A note on large-scale motions in the tropics. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20(6):607-609, 1963.
- COVEY, D.L.; HASTENRATH, S. The Pacific El Niño phenomenon and the Atlantic circulation. *Monthly Weather Review*, 106(9):1280-1287, Sept. 1978.
- HANTEL, M; PEYINGHAUS, W. Vertical heat flux components in the Northern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 104(2):168-179, 1976.

HASTENRATH, S. Variations in low-latitude circulation and extreme climatic events in the Tropical Americas. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 33(2):202-215, 1976.

_____ On modes of tropical circulation and climate anomalies. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 35(12):2222-2231, Dec. 1978.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103 (435):77-92, Jan. 1977.

HASTENRATH, S.; LAMB, P. *Climatic atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific oceans*. Wisconsin, The University of Wisconsin Press, 1977 a.

_____ On the dynamics and climatology of surface flow over the Equatorial oceans. *Tellus*, 30(5):436-448, 1978.

_____ Some aspects of circulation and climate over the eastern equatorial Atlantic. *Monthly Weather Review*, 105(8):1019-1023, Aug. 1977 b.

KIDSON, J. W. Tropical eigenvector analysis and the Southern Oscillation, *Monthly Weather Review*, 103(sf):482-491, 1975.

KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 108(4):488-498, 1980.

_____ Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 107(9):1140-1153, Sept. 1979.

KOUSKY, V.E.; ALONSO, M.G. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, 33(6):538-551, 1981. Publicado como pre-print nº 55, INPE-1946-RPE/263.

KOUSKY, V.E.; CHU, P.S. Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil. *Journal Meteorological Society of Japan*, 56(5):457-465, 1978.

KOUSKY, V.E.; KAGANO, M.T. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon region. Accepted for publications in *Acta Amazonica*, May, 1981. Publicado como pre-print nº 56, (INPE-1761-RPE/150).

KOUSKY, V.E.; MOURA, A.D. *Previsão de precipitação no Nordeste do Brasil: o aspecto dinâmico*. São José dos Campos, INPE, 1981 (INPE-2244-PRE/029).

KRISHNAMURTI, T.N.; LEVY, C.E.; PAN, H.L.; On simultaneous surges in the trades. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 32(12):2367-2370, Dec. 1975.

LAMB, P.J. Case studies of Tropical Atlantic surface circulation patterns during recent subsaharan weather anomalies 1967 and 1968. *Monthly Weather Review*, 106(4):482-491, 1978.

_____ On the surface climatology of the tropical Atlantic. *Archiv Für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie*; Ser. B, 25:21-31, 1977.

MARKHAM, C.G. *Climatological aspects of drought in Northeastern Brazil*. Ph. D Dissertation. Berkely, Department of Geography, University of California, 1967.

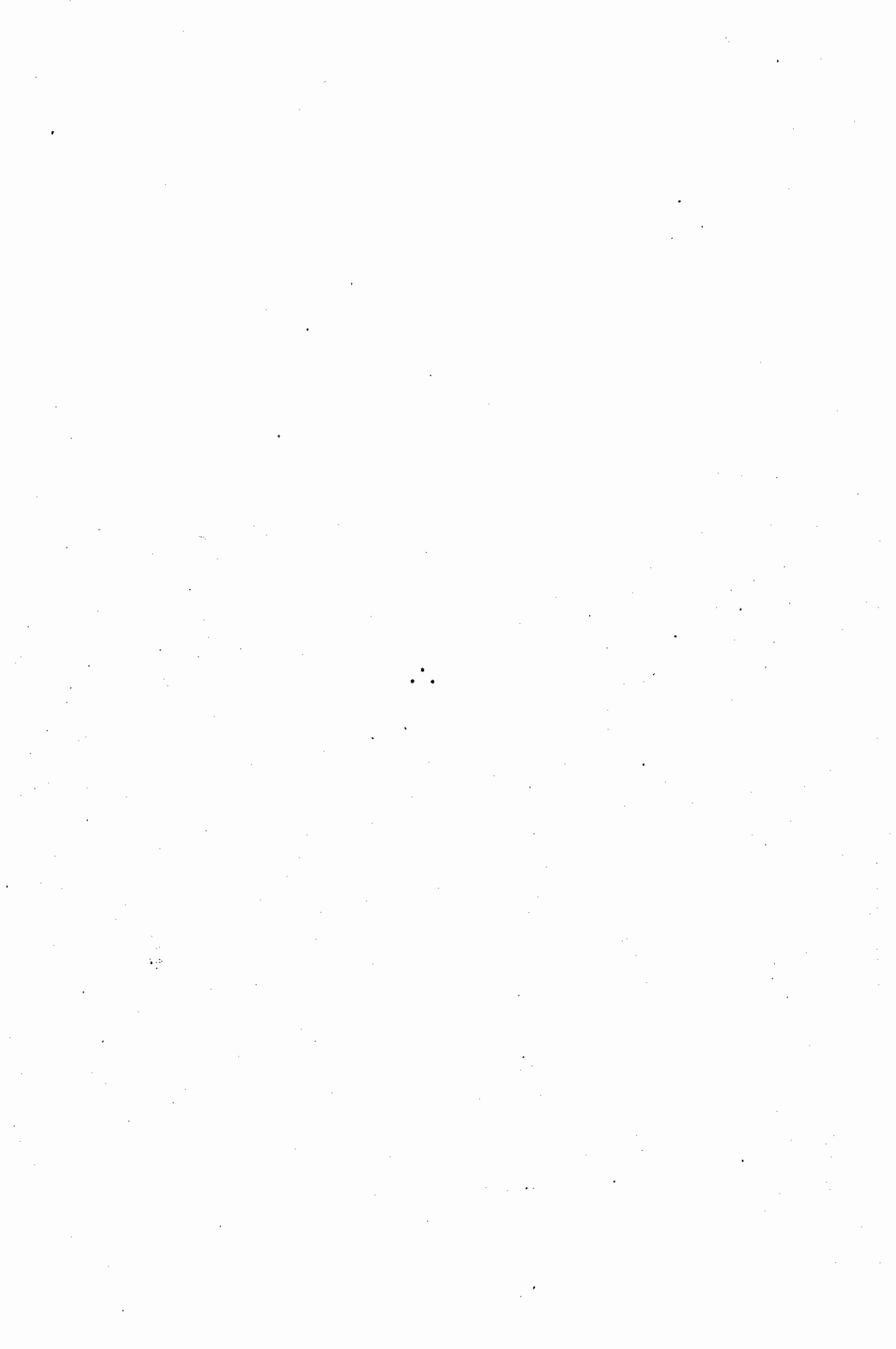
MARKHAM, C.G.; McLain, D.R. Sea surface temperature related to rain in Ceará, North-Eastern Brazil. *Nature*, 265(5592):320-323, Jan. 1977.

MARQUES, V.S. *Estudo da energética e do fluxo do vapor d'água na atmosfera sobre o Nordeste brasileiro*. Tese de Doutorado em Meteorologia, São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2288-TDL/068).

McCREARY, J. Eastern tropical ocean response to changing wind systems: with application to EL NIÑO. *Journal of Physical Oceanography*, 6(9): 632-645, Sept. 1976.

- MILLER, D.B.; FEDDES, R.G. *Global atlas of relative cloud cover, 1967-70, based on photographic signals from meteorological satellites.* Washington, D.C., US. Department of Commerce, NOAA-NESS/U.S.A.F.(AWS), 1971.
- MOURA, A.D.; SHUKLA, J. *Um estudo sobre a dinâmica das secas no Nordeste do Brasil; observações, teoria e experimentos numéricos com um Modelo Global de Circulação Atmosférica.* São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1980-RPE/225). *Journal of the Atmospheric Sciences*, Dec, 1981.
- NAMIAS, J. Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil. *Tellus*, 24(4):336-342, 1972.
- NEIVA, E.J.F. *An investigation of wave-type disturbances over the Tropical South-Atlantic.* Tese de Mestrado em Meteorologia. Naval Postgraduate School, Monterey, California, 1975.
- NEWELL, R.E.; KIDSON, J.W.; VINCENT, D.G.; BOER, G.J. *The general circulation of the tropical atmosphere and interactions extratropical latitudes*, Cambridge, MA., The MIT Press, 1974. v.2
- OLIVEIRA, L.L. *Zonas de convergência no Atlântico Sul e suas influências no regime de precipitação no Nordeste do Brasil.* Dissertação de Mestrado em Meteorologia, São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2307-TDL/074).
- RAMAGE, C.S. Preliminary discussion of the meteorology of the 1972-73 El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56(2): 234-242, 1975.
- RAMOS, R.P.L. Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region, *Journal of Geophysical Research*, 80(12):1665-1678, 1975.

- RATISBONA, L.R. The climate of Brazil. In: SCHWERDTFEGER, W., ed. *Climates of Central and South America*. Amsterdam. Elsevier Scientific, 1976. p. 219-293. (World Survey of Climatology, 12).
- REITER, E.R. The interannual variability of the ocean-atmosphere system. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 35(3):349-370, 1978 a.
- _____ Long-term wind variability in the Tropical Pacific, its possible causes and effects. *Monthly Weather Review*, 106(3):324-330, 1978 b.
- SERRA, A. *As secas do Nordeste*. Rio de Janeiro; Serviço Nacional de Meteorologia, 1946.
- SERRA, A. RATISBONA, L.R. *As massas de ar da América do Sul*. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Meteorologia. 1942, 137 p.
- STRANG, D.M.G. *Análise climatológica das normais pluviométricas do Nordeste brasileiro*. São José dos Campos, Centro Técnico Aeroespacial, 1972, 70 p. (Relatório Técnico IAE-M-02/72).
- VIRJI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds, *Monthly Weather Review*, 109(3): 599-610, 1981.
- YAMAZAKI, Y., RAO, V.B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean, *Journal Meteorological Society of Japan*, 55(4):205-207, 1977.



APÊNDICE A

TABELA A.1

TABELA DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

	NÚMERO DA ESTAÇÃO	NOME DA ESTAÇÃO	ESTADO
1	3 45 000	Vitória do Mearim	MA
2	4 43 006	Codo	MA
3	5 43 004	Buriti Bravo	MA
4	6 35 013	São José de Mipibu	RN
5	6 44 003	Colinas	MA
6	7 36 027	Boqueirão	PB
7	7 47 000	Carolina	MA
8	9 40 018	Juazeiro	BA
9	10 36 005	Penedo	AL
10	10 43 005	Barra	BA
11	11 37 001	Salgado	SE
12	11 40 016	Jacobina	BA
13	12 38 000	Camaçari	BA
14	397	Fortaleza	CE
15	12 41 017	Lençóis	BA
16	13 40 003	Jequiê	BA
17	14 40 009	Planalto	BA
18	14 43 001	Manga	MG
19	15 44 012	São Francisco	MG
20	16 39 013	Porto Seguro	BA
21	16 43 019	Montes Claros	MG
22	16 45 000	São Romão	MG

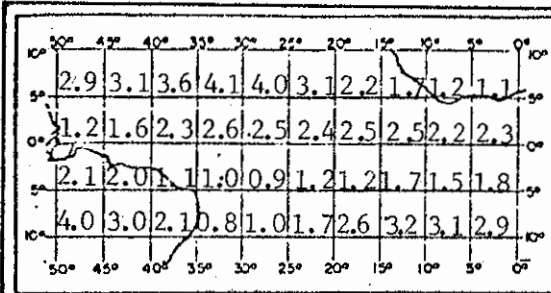
Estações pluviométricas utilizadas na correlação entre brilho e precipitação, obtidos do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE).



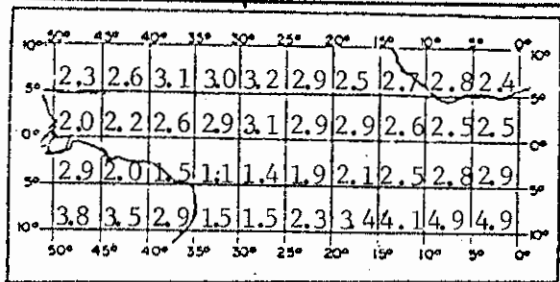
APÊNDICE B

TABELA B.1

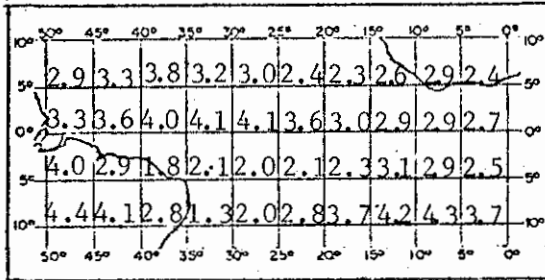
CARTAS COM VALORES DE BRILHO MÉDIO



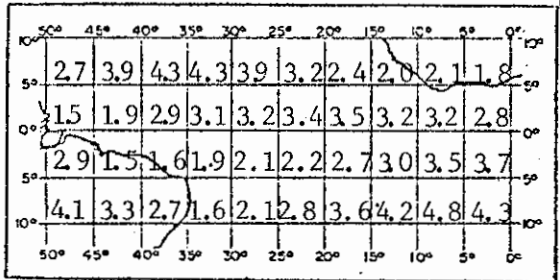
Dezembro - 1971



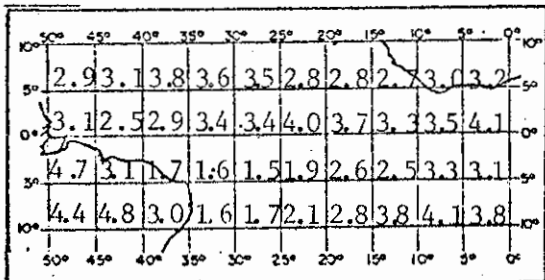
Dezembro - 1975



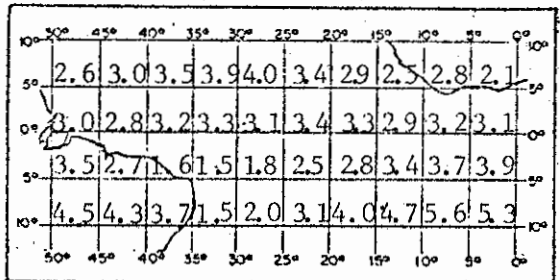
Dezembro - 1972



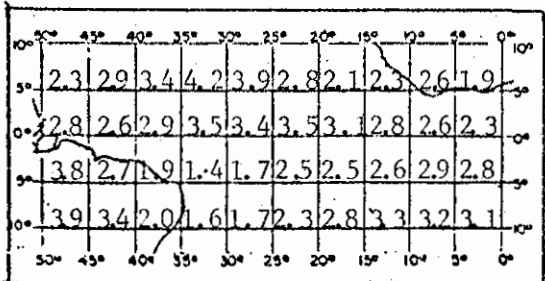
Dezembro - 1976



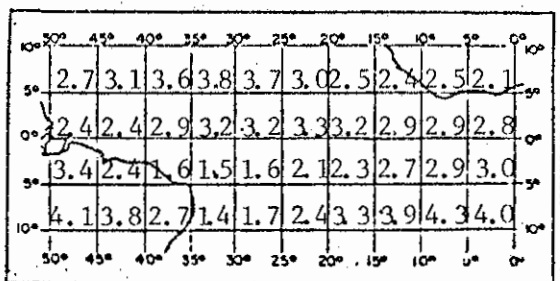
Dezembro - 1973



Dezembro - 1977



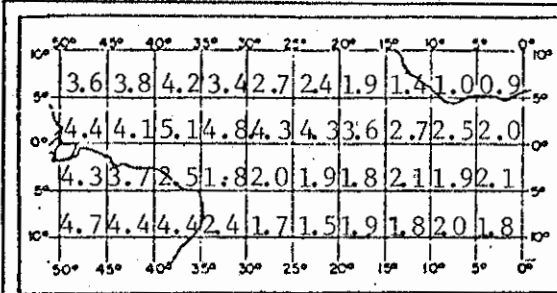
Dezembro - 1974



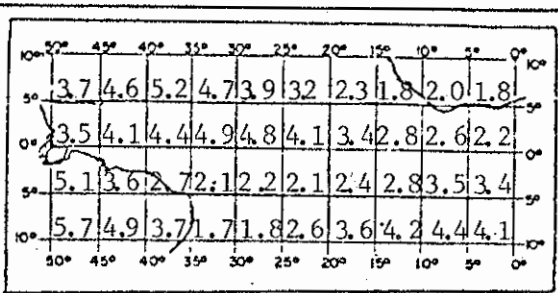
Dezembro - Média Climatológica

TABELA B.2

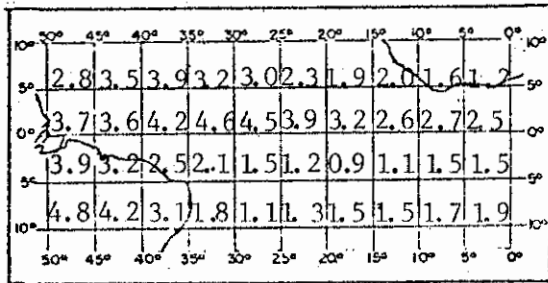
CARTAS COM VALORES DE BRILHO MÉDIO



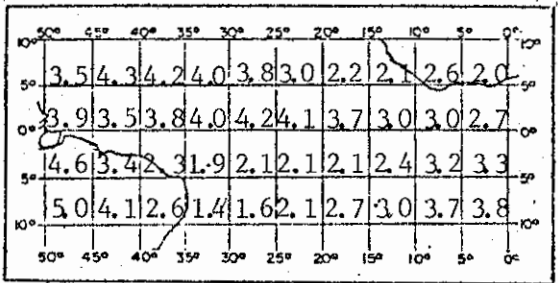
Janeiro - 1971



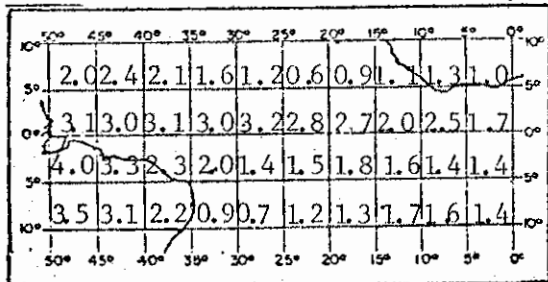
Janeiro - 1975



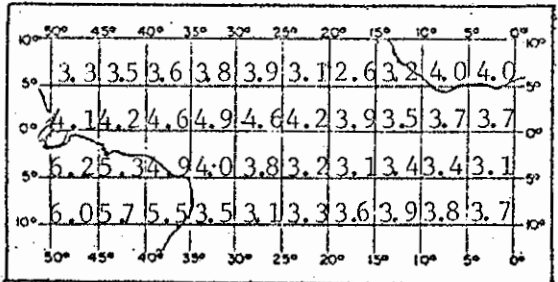
Janeiro - 1972



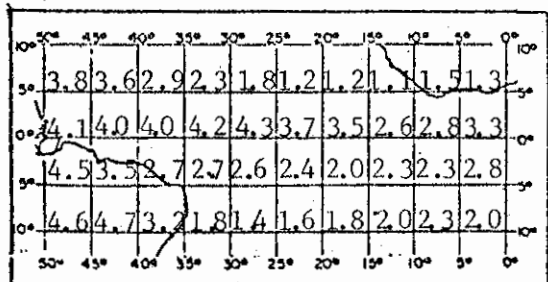
Janeiro - 1976



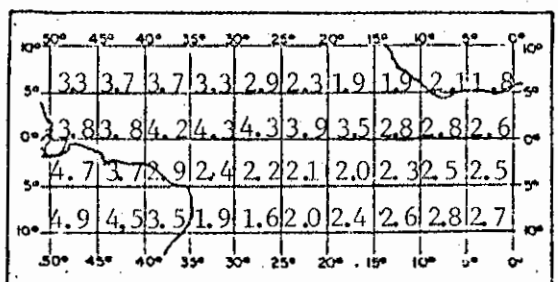
Janeiro - 1973



Janeiro - 1977



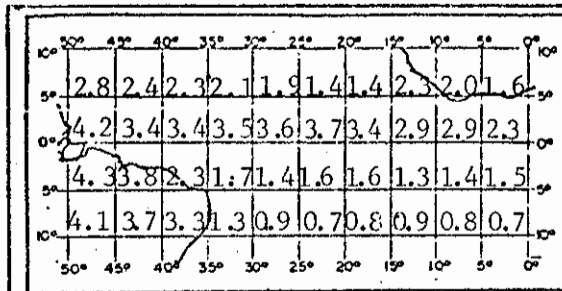
Janeiro - 1974



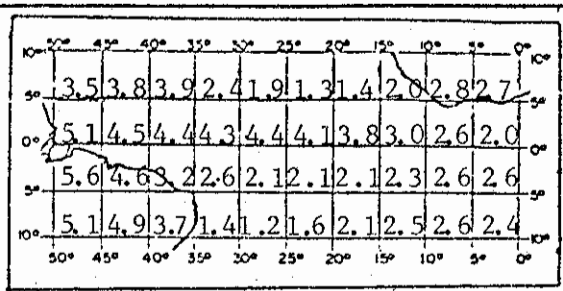
Janeiro - Média Climatológica

TABELA B.3

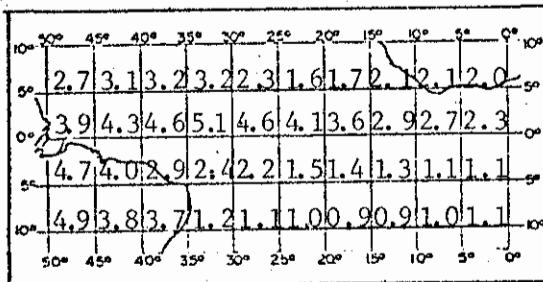
CARTAS COM VALORES DE BRILHO MÉDIO



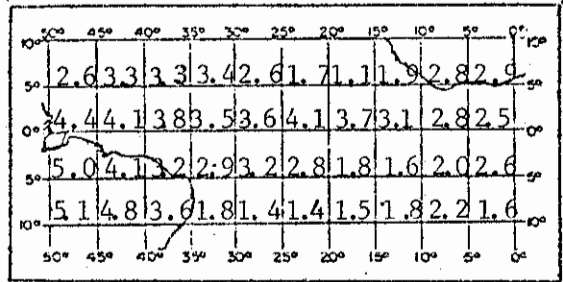
Fevereiro - 1971



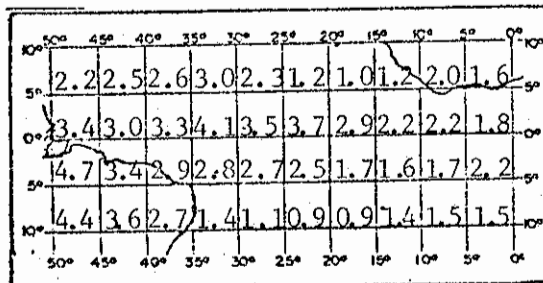
Fevereiro - 1975



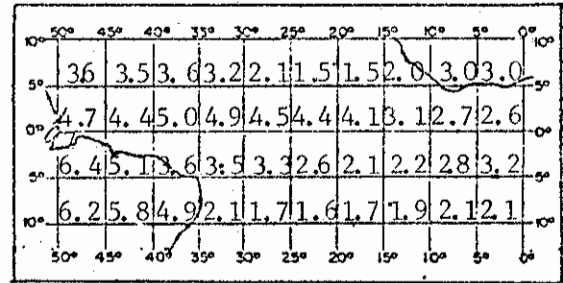
Fevereiro - 1972



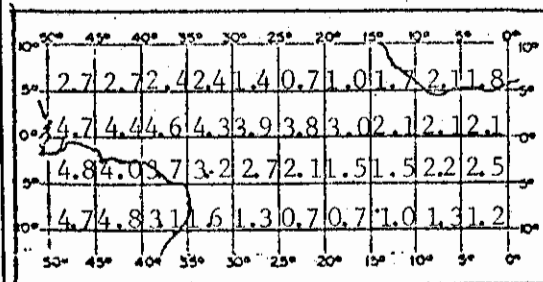
Fevereiro - 1976



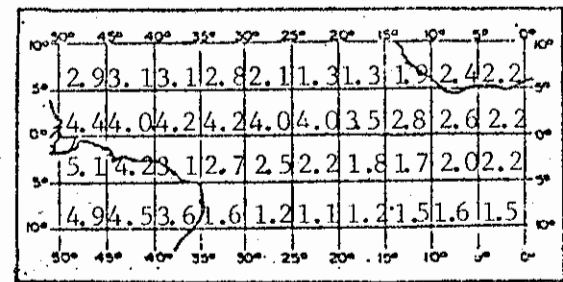
Fevereiro - 1973



Fevereiro - 1977



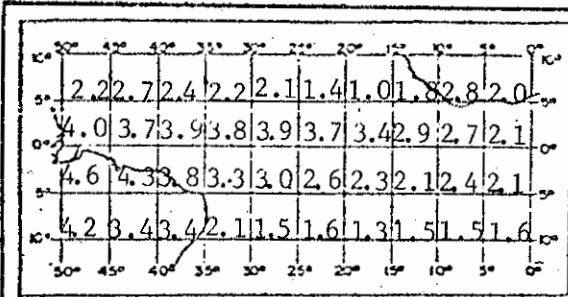
Fevereiro - 1974



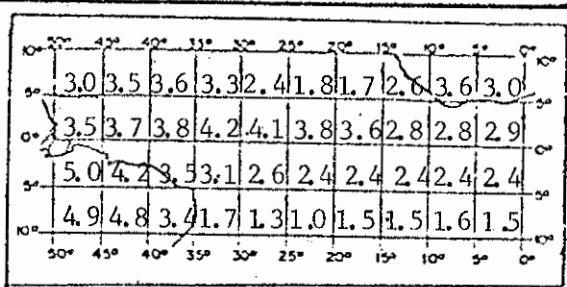
Fevereiro - Média Climatológica

TABELA B.4

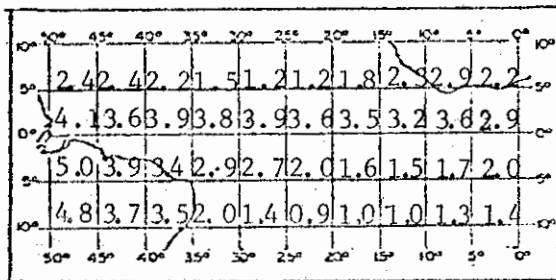
CARTAS COM VALORES DE BRILHO MÉDIO



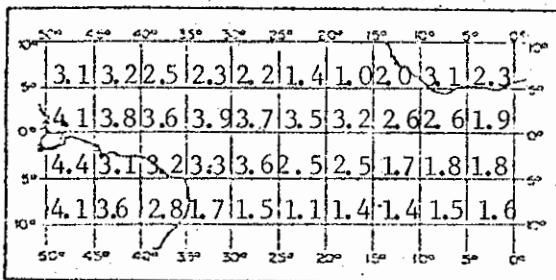
Março - 1971



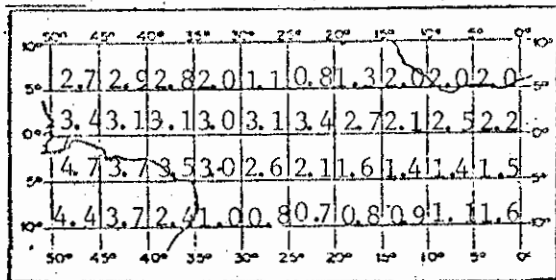
Março - 1975



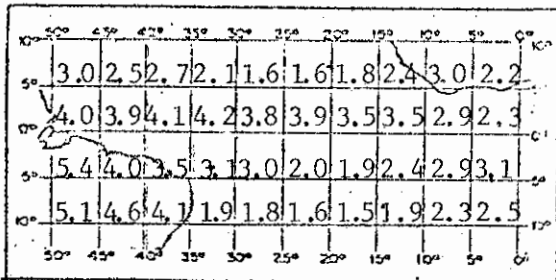
Março - 1972



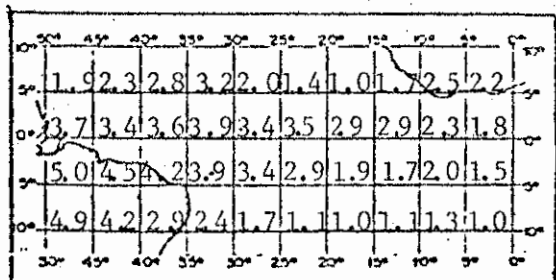
Março - 1976



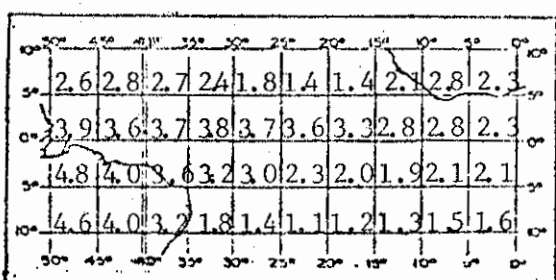
Março - 1973



Março - 1977



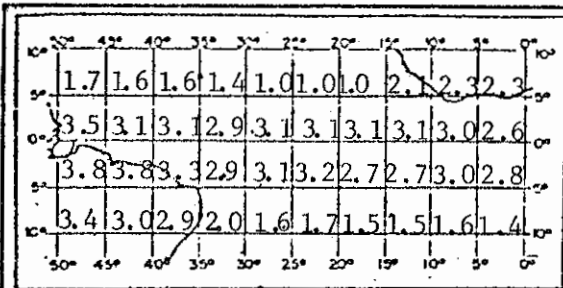
Março - 1974



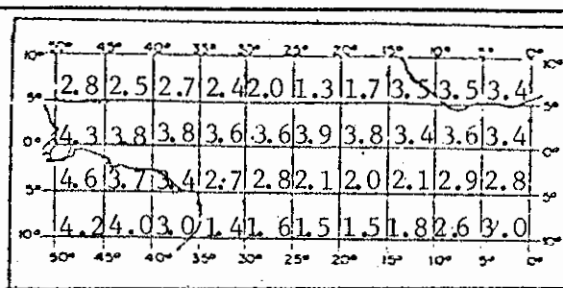
Março - Média Climatológica

TABELA B.5

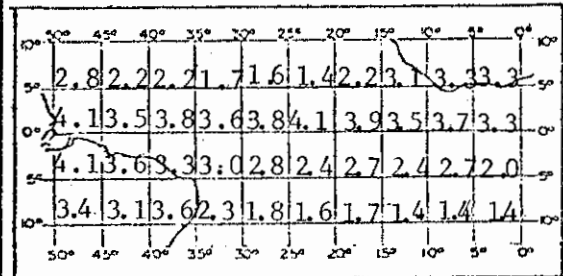
CARTAS COM VALORES DE BRILHO MÉDIO



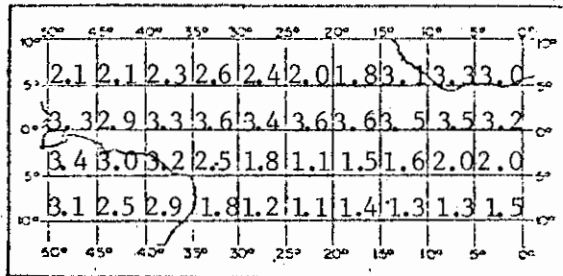
Abril - 1971



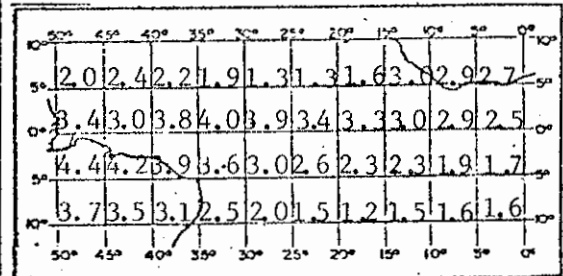
Abril - 1975



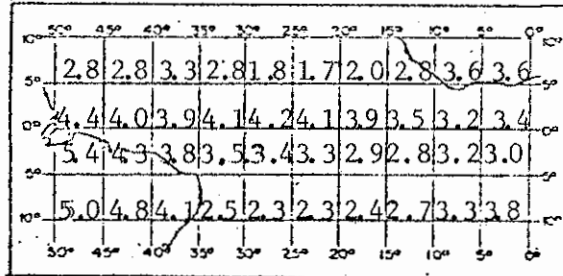
Abril - 1972



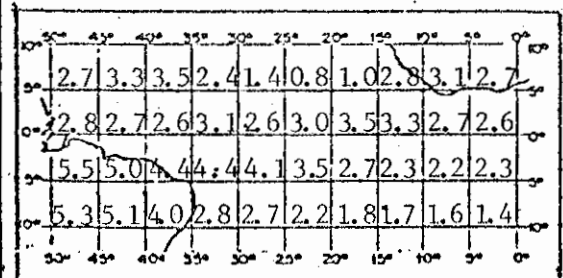
Abril - 1976



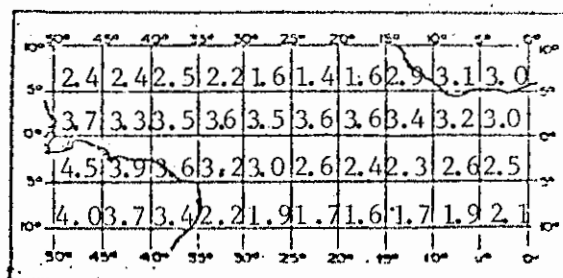
Abril - 1973



Abril - 1977



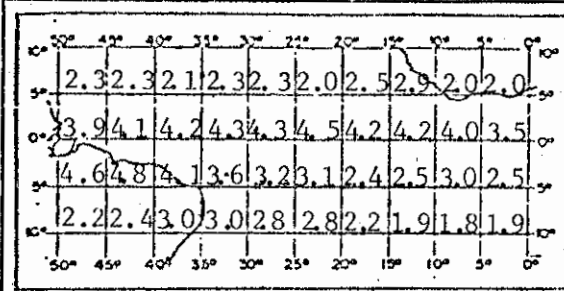
Abril - 1974



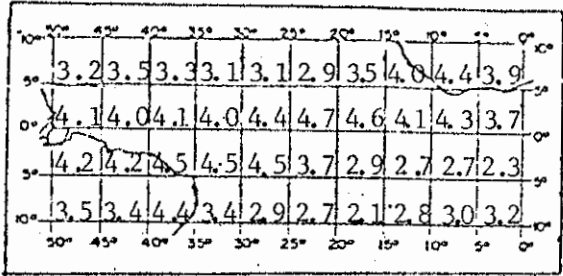
Abril - Média Climatológica

TABELA B.6

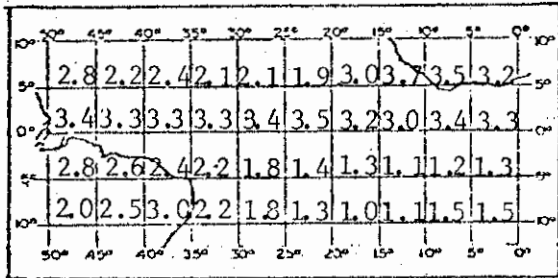
CARTAS COM VALORES DE BRILHO MÉDIO



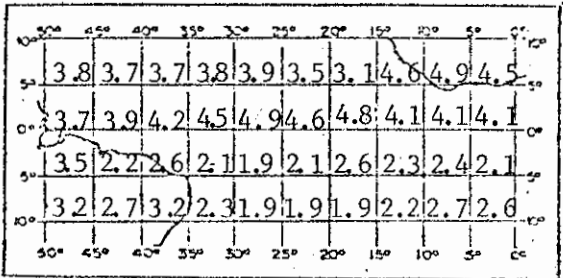
Maio - 1971



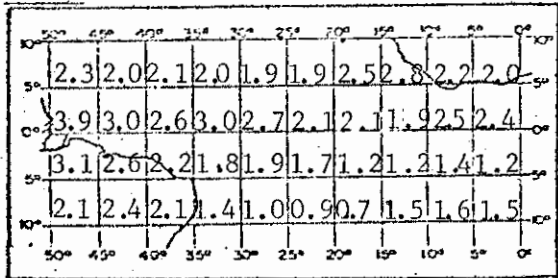
Maio - 1975



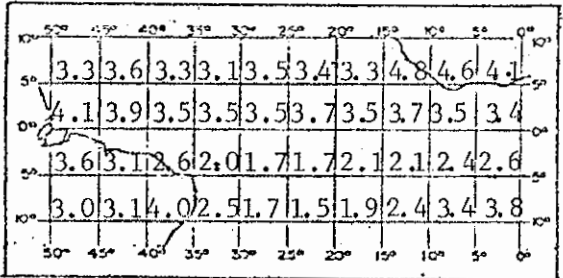
Maio - 1972



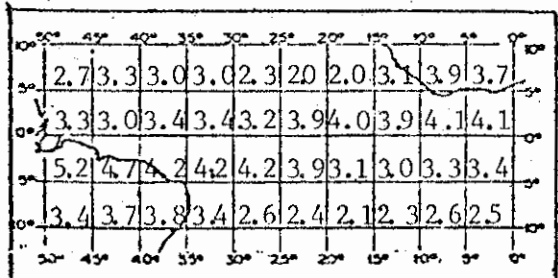
Maio - 1976



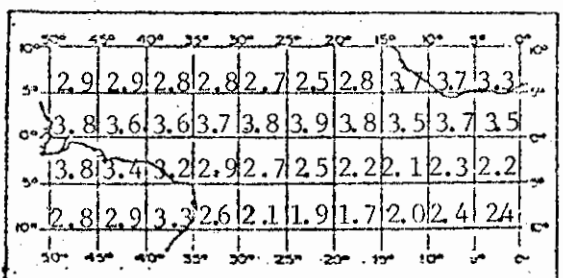
Maio - 1973



Maio - 1977



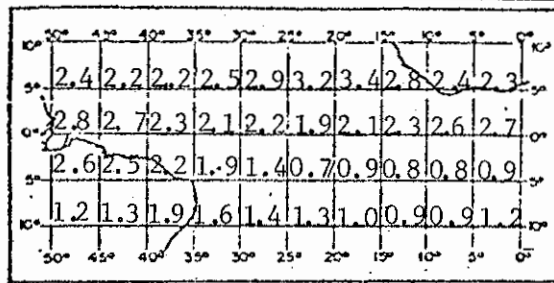
Maio - 1974



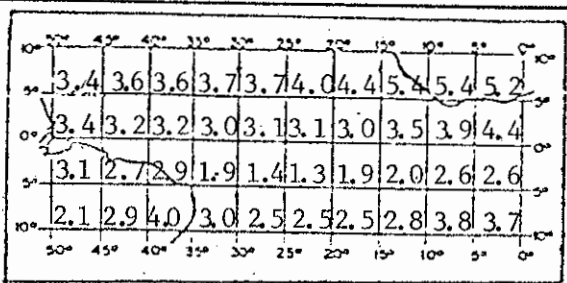
Maio - Média Climatológica

TABELA B.7

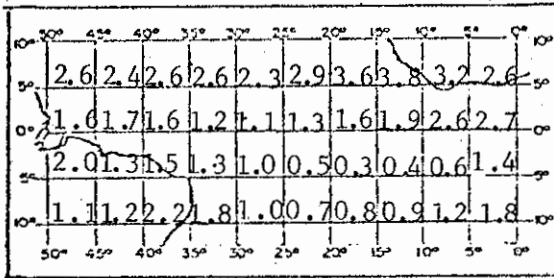
CARTAS COM VALORES DE BRILHO MÉDIO



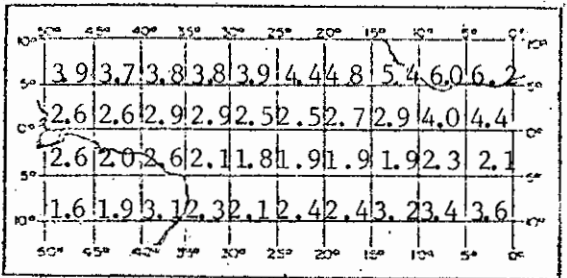
Junho - 1971



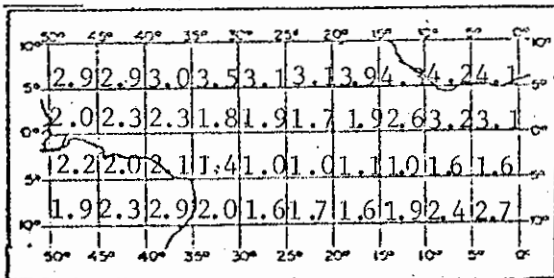
Junho - 1975



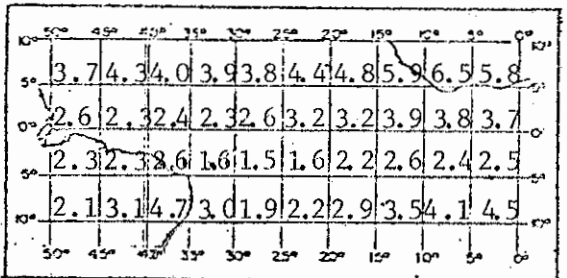
Junho - 1972



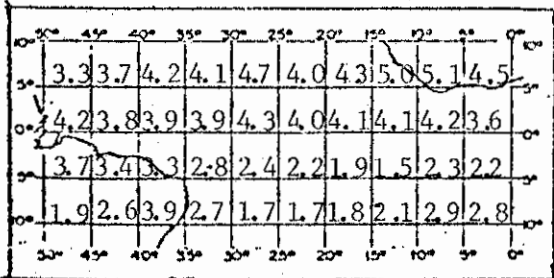
Junho - 1976



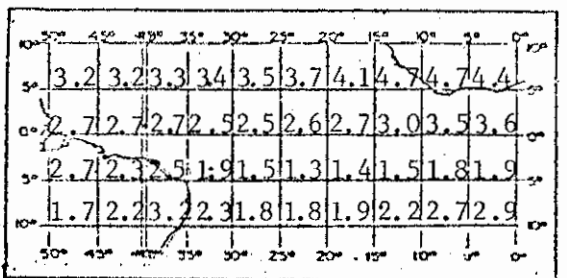
Junho - 1973



Junho - 1977



Junho - 1974



Junho - Média Climatológica



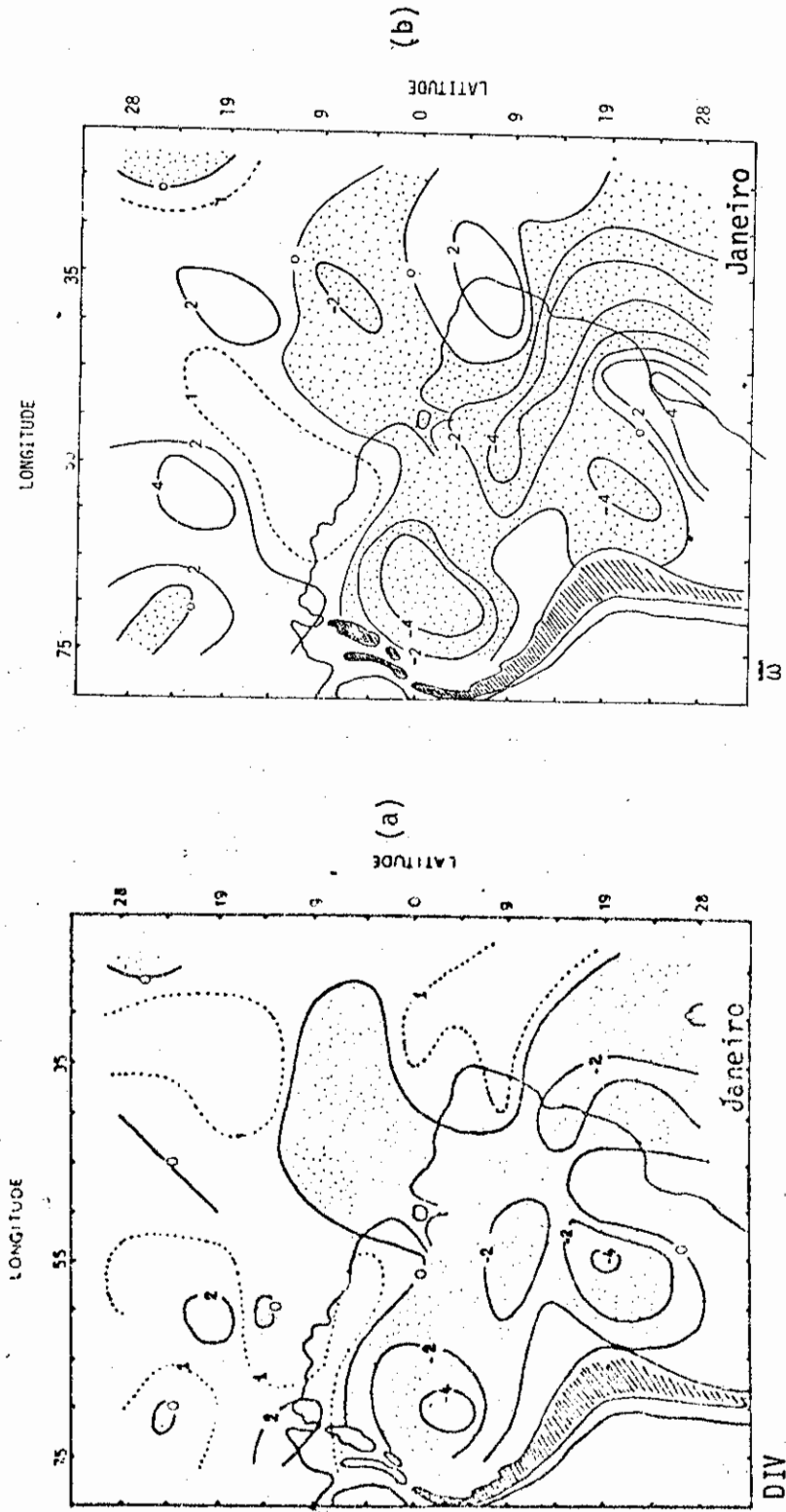


Fig. C.1 - Isolinhas de divergência média mensal ($10^{-6} s^{-1}$) em 850 mb (a) e $\bar{\omega}_N$ ($10^{-4} mb s^{-1}$) (b) para o mês de janeiro de 1979.

- As áreas pontilhadas referem-se à convergência e ao movimento ascendente.

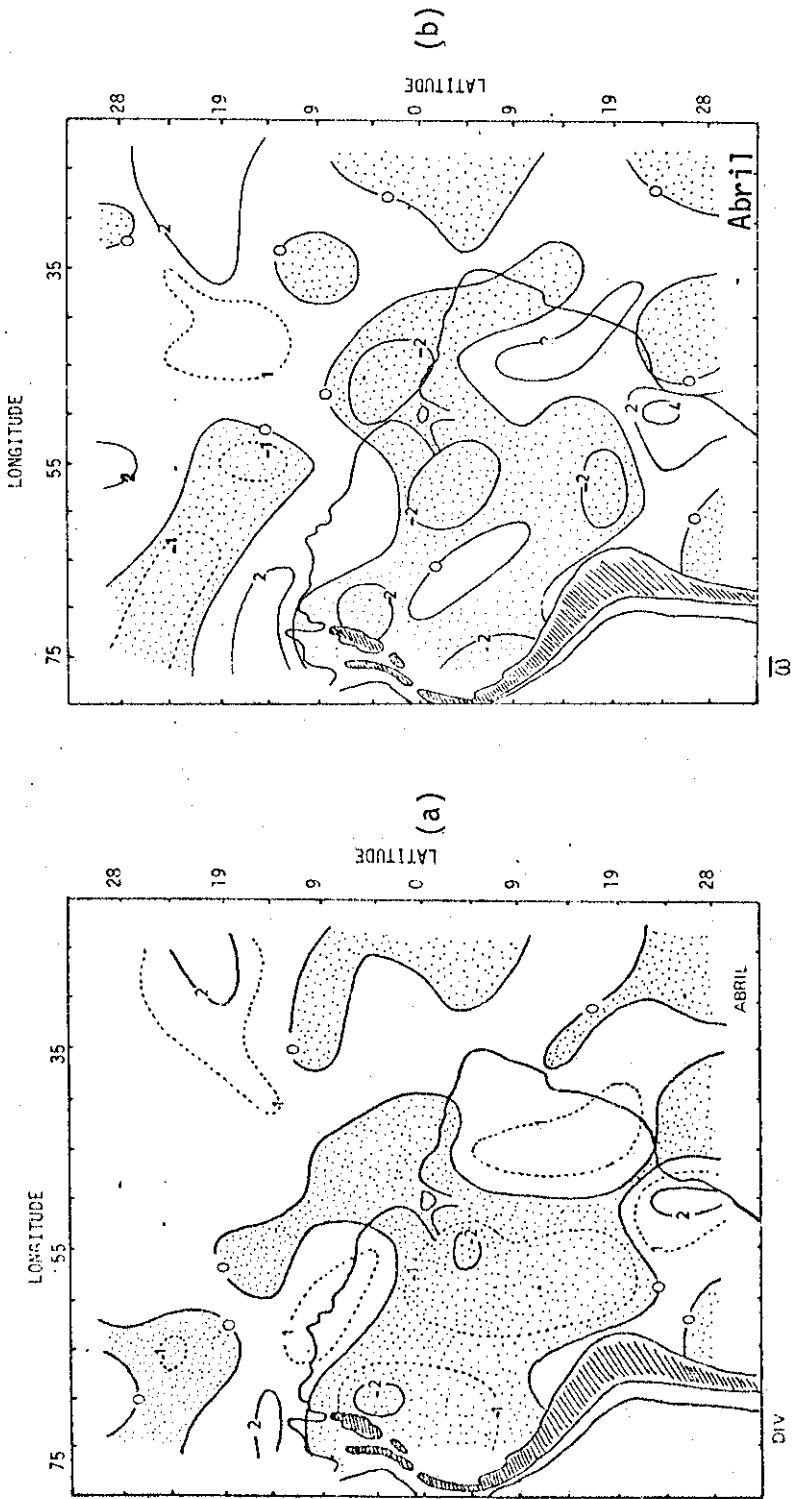
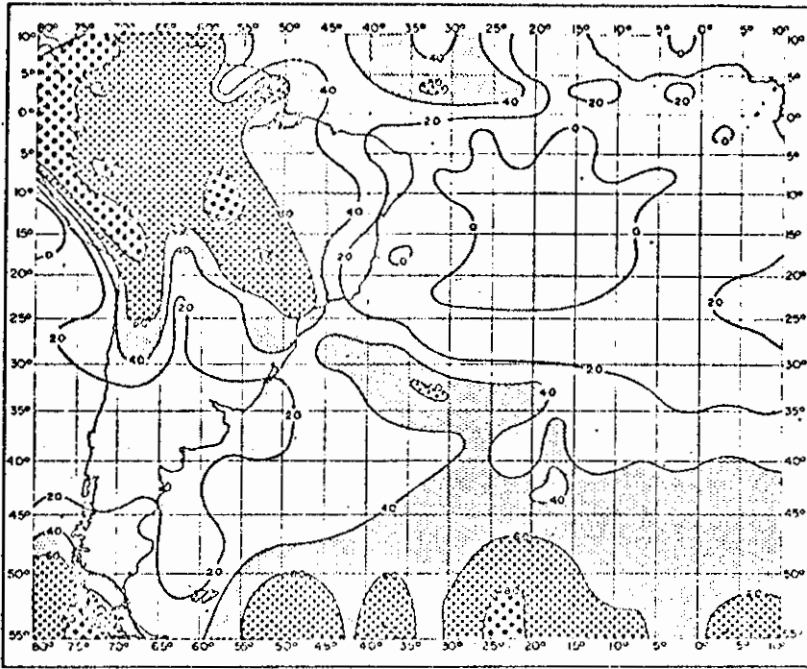
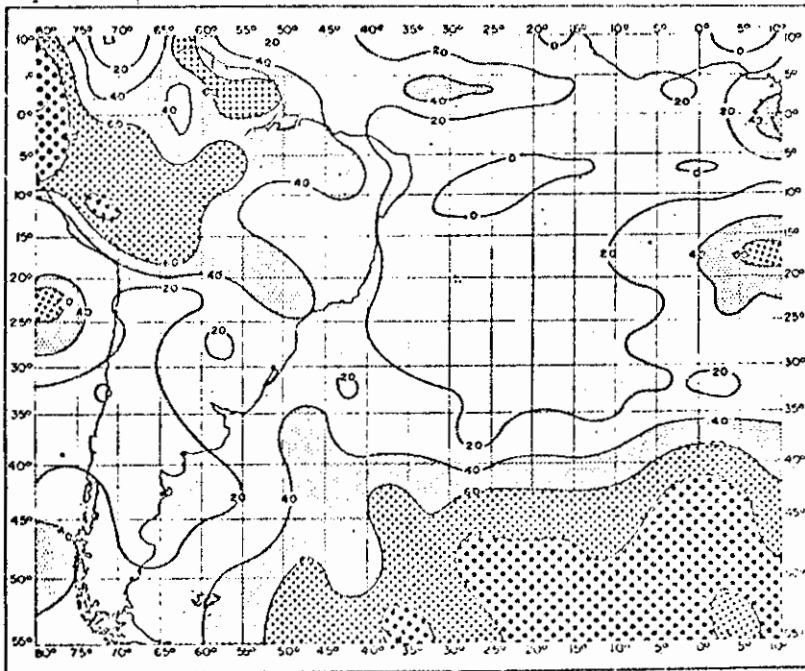


Fig. C.2 - Isolinhas de divergência média mensal (10^{-6} s^{-1}) em 850 mb (a) e $\bar{\omega}_N$ ($10^{-4} \text{ mb s}^{-1}$) (b) para o mês de abril de 1979.

- As áreas pontilhadas referem-se à convergência e ao movimento ascendente.

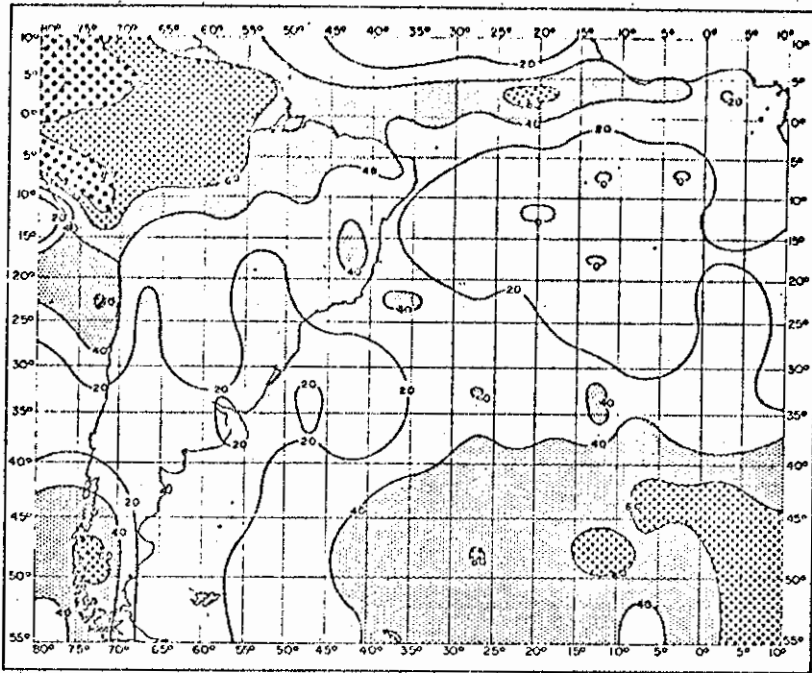


c) Janeiro de 1972.

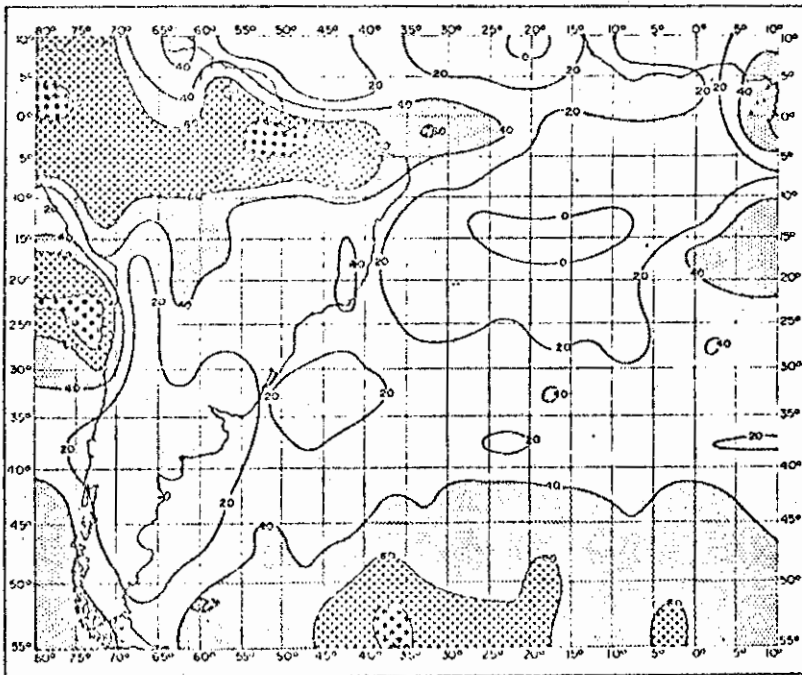


d) Janeiro de 1974.

Fig. C.3 - Cartas de Brilho.



i) Abril de 1972.



j) Abril de 1974.

Fig. C.4 - Cartas de Brilho.