


LUIZ FRANCISCO PIRES GUIMARÃES MAIA

BIBLIOTECA CENTRAL - UFV - 97.178 17-02-87

ALGUNS ASPECTOS DINÂMICO-CLIMATOLÓGICOS EM
MINAS GERAIS

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

T
551.5
M217a
1986
x.1

UFV	SERIALIZAÇÃO	BBT	CÓDIGO	RG000399690
	CLASSIFICAÇÃO	T 551.5 / M217a		
TÍTULO				
Alguns aspectos dinâmico-climatológicos em				
				
97178 BBT				

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
DEZEMBRO - 1986

DOAÇÃO

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação
e Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

Maia, Luiz Francisco Pires Guimarães.

M217a Alguns aspectos dinâmico-climatológicos
1986 em Minas Gerais. Viçosa, UFV, Impr. Univ.,
1986.

164p. ilustr.

Tese (M.S.) - UFV

1. Meteorologia - Minas Gerais. 2. Climatologia dinâmica. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD - 18ª - 551.1

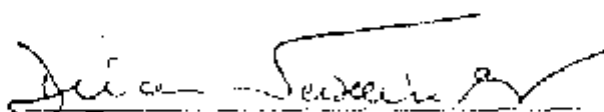
CDD - 19ª - 551.1


LUIZ FRANCISCO PIRES GULMARÃES MATA

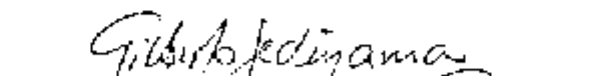
ALGUNS ASPECTOS DINÂMICO-CLIMATOLÓGICOS
EM MINAS GERAIS


Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de "Magister Scientiae".


APROVADA: 09 de Dezembro de 1986


Prof. Dirceu Teixeira Coelho


Prof. José Maria Nogueira da Costa


Prof. Gilberto Chonaku Saitama


Prof. Marco Antonio Oliva Cano


Prof. Rubens Leite Vianello
(Orientador)

À minha esposa, Ângela.

*Los meus filhos, Antonio Luiz, Ana Augusta
e Nils Cesar.*

*À Rose, pela compreensão e pelos auxí-
lios prestados.*

BIOGRAFIA

LUIZ FRANCISCO PIRES GUIMARÃES MAIA, filho de Antonio Luiz Guimarães Maia e Guirema Pires Guimarães Maia, nasceu na cidade do Rio de Janeiro, Estado do Rio de Janeiro, em 12 de outubro de 1953.

Em dezembro de 1978, diplomou-se "Bacharel em Meteorologia" na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Em fevereiro de 1979, deixou a Telecomunicações Aero-náuticas Sociedade Anônima, onde trabalhou desde 1976 no Centro de Análise e Previsão de Tempo.

Em março de 1979, ingressou no corpo docente da Universidade Federal de Pelotas, RS, onde manteve vínculo empregatício até fevereiro de 1986.

Em novembro de 1979, concluiu o Curso de Especialização em Metodologia da Pesquisa Educacional, na Universidade Católica de Pelotas, RS.

Em 1981, concluiu o Curso de Especialização em Meteorologia Dinâmico-Sinótica, na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Em 1983, iniciou o curso de Mestrado em Meteorologia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Em fevereiro de 1986, assumiu a docência no Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Em 1986, reingressou na Telecomunicações Aeronáuticas Sociedade Anônima, onde atua no Departamento de Meteorologia, como previsor e pesquisador.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pelotas, pela possibilidade de iniciar e desenvolver boa parte do programa de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro.

À Telecomunicações Aeronáuticas Sociedade Anônima, na pessoa do grande amigo Everaldo Cavalcanti Bechara, pelos dados meteorológicos e demais facilidades colocadas à disposição. Aos meteorologistas João José de Matos Assumpção, José Gonçalves Sossinho, Luis de Almeida Justo, Luis Carlos Guedes Pereira e Paulo Emmanuel Viola, pelos ensinamentos.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela manutenção das condições favoráveis à conclusão do programa.

À Universidade Federal de Viçosa, pelas facilidades colocadas à disposição dessa pesquisa.

Aos meteorologistas Heloisa Moreira Torres Nunes e Getúlio Soriano de Souza Nunes, do CETEC-MG, pelo fornecimento dos dados meteorológicos complementares codificados.

Ao analista Wathney Hermedorff e à programadora Maria das Graças Saraiva Valente Mendes, do CPD/UFV, pela paciência e pelo permanente apoio.

Ao professor Rubens Leite Vianello, pela segura orientação, pelos ensinamentos e admirável dedicação durante o curso e no decorrer desse trabalho.

Aos professores Dirceu Teixeira Coelho e José Maria Nogueira da Costa, membros do Comitê de Orientação e integrantes da banca de defesa da tese, pelas sugestões e pela colaboração constante durante todo o curso.

Aos professores Gilberto Chohaky Sadiyama e Marco Antonio Oliva Cano, pelas valiosas sugestões apresentadas por ocasião da defesa dessa tese.

A todos os colegas de curso, pelo companheirismo e pela amizade.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela atenção que sempre me distinguiram.

Ao Senhor José de Freitas Coelho, pelo apoio e pela amizade.

À Senhora Sônia Guimarães (UERJ), pelo trabalho inicial de datilografia; ao Paulo Afonso da Silva, pela forma final desse trabalho e à Eliane Ventura da Silva, pela revisão do Português.

À minha família, especialmente, minha esposa, Ângela Cristina, aos meus filhos Antonio Luiz, Ana Augusta e Milo Cesar, pela paciência, pelo sacrifício e, sobretudo, pelo estímulo.

À Vitoriosa, pelos momentos de felicidade que tive a oportunidade de viver e pelos amigos que deixei.

Finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
EXTRAIO	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Sistemas Atmosféricos de Larga-Escala	3
2.2. Sistemas Transientes	19
2.2.1. Anticiclones Polares e Frentes Frias	20
2.2.2. Linhas de Instabilidade Tropicais ...	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1. Dados de Ar Superior	30
3.2. Dados de Superfície	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Análise Climatológica do Estado de Minas Ge- rais	44
4.2. Fenômenos Meteorológicos Gerais, Ocorridos nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil	59
4.3. Características de Parâmetros Meteorológicos de Superfície, nos Dias de Ocorrência de Tem- po Severo, sobre Minas Gerais	60
4.4. Análise das Características do Ar Superior em Minas Gerais	64

4.4.1. Características do Vento em Altitude, nos Dias de Ocorrência de Tempo Severo, em Minas Gerais	65
4.4.2. Análise da Estabilidade Atmosférica..	67
4.5. Análise de Correlações de Séries Temporais..	81
4.5.1. Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Componente u - Viçosa - 500 hPa" com a Série "Componente u - Grade - 500 hPa", para o Mês de Janeiro de 1974/1975/1976	81
4.5.2. Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Componente u - Viçosa - 500 hPa" com a Série "Componente u - Grade - 500 hPa", para o Mês de Julho de 1974/1975/1976	95
4.5.3. Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Componente da Série "Desvio da Precipitação - Viçosa" com a Série "Desvio da Componente u - Grade - 500 hPa", para o Mês de Janeiro de 1974/1975/1976 ..	107
4.5.4. Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Desvio de Precipitação - Viçosa" com a Série "Desvio da Componente u - Grade - 850 hPa", para o Mês de Janeiro de 1974/1975/1976	114
4.5.5. Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Desvio de Espessura da Camada 850/500 hPa-Viçosa" com a Série "Desvio de Espessura da Camada 850/500 hPa - Grade", para o Mês de Janeiro de 1974/1975/1976	122
4.5.6. Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Desvio de Espessura da Camada 850/500 hPa-Viçosa" com a Série "Desvio de Espessura da Camada 850/500 hPa - Grade", para o Mês de Julho de 1974/1975/1976	132
5. RESUMO E CONCLUSÕES	141
BIBLIOGRAFIA	146
APÊNDICE	151

LISTA DE QUADROS

		Página
1	Categorias de Fenômenos Associados ao Fator K	40
2	Normais Climatológicas de Viçosa, MG	49
3	Cálculos Relacionados com as Normais Climatológicas de Viçosa, MG	52
4	Médias das Temperaturas Extremas Ocorridas nos Aeroportos do Galeão (SBGL) e Pampulha (SBBH), nos Meses de Janeiro e Julho de 1974, 1975 e 1976	61
5	Parâmetros Atmosféricos Predominantes nos Dias de Ocorrência de Trovoadas e/ou Relâmpagos, em Belo Horizonte	68
6	Análise de Estabilidade Atmosférica sobre o Galeão e Brasília, nos Meses de Janeiro e Julho de 1974, 1975 e 1976	69
7	Valores dos Índices de Contraste Subtropical-Polar-ICSTP para Correlações da Série da Componente z de Viçosa com a Componente w nos Pontos de Grade do Campo de Estudo, no Nível de 500 hPa, para Janeiro de 1974, 1975 e 1976 ..	85

8	Valores dos Índices de Contraste Subtropical - Polar-ICSTP para Correlações da Série da Componente u de Viçosa com a Componente u nos Pontos de Grade do Campo de Estudo, no Nível de 500 hPa, para Julho de 1974, 1975 e 1976 .	99
1A	Estabilidade nas Camadas 700/500 hPa e 850/700 hPa sobre o Calção, nos Meses de Janeiro e Julho de 1974, 1975 e 1976	152
2A	Estabilidade nas Camadas 700/500 hPa e 850/700 hPa sobre Brasília nos Meses de Janeiro e Julho de 1974, 1975 e 1976	153
3A	Frequência de Sistemas Sinóticos que Atuaram sobre Minas Gerais nos Anos de 1974, 1975 e 1976	154
4A	Valores de Temperatura das 09:00, 12:00, 15:00 e 18:00 UTC, Registrados na Estação de Belo Horizonte, nos Dias de Ocorrência de Trovoada e/ou Relâmpago, nos Meses de Janeiro dos Anos de 1974, 1975 e 1976	155
5A	Valores de Temperatura Máxima (TMAX), Temperatura Mínima (TMIN) e Horários das Máximas (EMAX) e Mínimas (EMIN) Ocorridas nos Dados de Trovoada e/ou Relâmpago, em Belo Horizonte, durante o Período de Estudo	156
6A	Frequência dos Horários de Início da Trovoada e/ou Relâmpago, em Belo Horizonte, durante o Período de Estudo	157
7A	Frequência de Direção do Vento em Superfície, para Defasagens de -3, -2, -1, Zero e +1 Dias em Relação ao Dia de Ocorrência de Trovoada e/ou Relâmpago, em Belo Horizonte, durante o Período de Estudo	158
8A	Frequência de Direção do Vento, nos Níveis de 850, 700 e 500 hPa, sobre Brasília (BR) e Calção (CL), nos Dias de Ocorrência de Trovoada e/ou Relâmpago, em Belo Horizonte, durante o Período de Estudo	159

	Página
9A Precipitação Pluviométrica em Viçosa, MG	160
10A Freqüência do Fator K para Galeão (GL) e Brasília (BR), nos Dias de Ocorrência de Trovoada e/ou Relâmpago, em Belo Horizonte, em Janeiro do Período de Estudo	161
11A Freqüência do Índice de Showalter (IS) para o Galeão (GL) e Brasília (BR), nos Dias de Ocorrência de Trovoada e/ou Relâmpago, em Belo Horizonte, em Janeiro do Período de Estudo ..	162
12A Freqüência do Fator K para Galeão (GL) e Brasília (BR), nos Dias de Ocorrência de Relâmpago e/ou Trovoada, em Belo Horizonte, em Julho do Período de Estudo	163
13A Freqüência do Índice de Showalter (IS) para o Galeão (GL) e Brasília (BR), nos Dias de Ocorrência de Trovoada e/ou Relâmpago, em Belo Horizonte, em Julho do Período de Estudo	164

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Configurações e Posições dos Centros de Ação sobre a América do Sul, em Superfície. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão	4
2 Escoramento Médio em 850 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão	10
3 Escoramento Médio em 700 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão	11
4 Escoramento Médio em 500 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão	12
5 Escoramento Médio em 300 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão	13
6 Escoramento Médio em 200 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão	14

7	Escoamento Médio em 150 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. 4 Significa Alta Pressão e 3 Baixa Pressão	15
8	Trajetoárias Preferenciais das Incursões dos "APM", sobre o Continente Sulamericano	22
9	Formação de Ondulações Ciclônicas nas Frentes Frias de Trajetória Atlântica	23
10	Ilustração de uma Carta Sinótica de Superfície, das 12:00 UTC do Dia 10 de Novembro de 1986, Mostrando a Penetração de uma Frente Fria no Rio de Janeiro; uma Linha de Instabilidade, Associada à Frente Fria, Está Atuando sobre São Paulo, Minas Gerais e Bahia.....	27
11	Campo de Utilização dos Dados de Satélite do "National Meteorological Center", Formação uma Matriz de Onze Linhas (Latitudes) x Quinze Colunas (Longitudes)	31
12	Normais Climatológicas da Altura Total da Precipitação e do Número de Dias de Chuva em Viçosa, MG (FONTE: Departamento de Engenharia Agrícola - UFV)	53
13	Normais Climatológicas do Total de Evaporação, Nebulosidade e Umidade Relativa em Viçosa, MG (FONTE: Departamento de Engenharia Agrícola - UFV)	54
14	Normais Climatológicas do Milho Solar e Radiação Global em Viçosa. (FONTE: Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa)	57
15	Mapa de Minas Gerais Mostrando a Área de Abrangência de Cada uma das Estações de Radiossomagens	65

- 16 Variação Temporal do Índice de Estabilidade de Showalter (Linha Tracejada) e do Fator K (Linha Contínua) para as Estações de Galeão (GL) e Brasília (BR), para Janeiro dos Anos de 1974, 1975 e 1976. a) GL - 74; b) BR - 74; c) GL - 75; FF Indica Precipitação em Viçosa (PRP VIC) devido à Frente Fria e d) BR - 75; e) GL - 76 e f) BR - 76 73
- 17 Variação Temporal do Índice de Estabilidade de Showalter (Linha Tracejada) e do Fator K (Linha Contínua) para as Estações de Galeão (GL) e Brasília (BR), para Julho dos Anos de 1974, 1975 e 1976. a) GL - 74; b) BR - 74; c) GL - 75; FF Indica Precipitação em Viçosa (PRP VIC) devido à Frente Fria; d) BR - 75; e) GL - 76 e f) BR - 76 75
- 18 Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Componente u - Viçosa - 500 hPa" com a Série "Componente u - Grade - 500 hPa", para Janeiro dos Anos de 1974, 1975 e 1976. Defasagens (em Dias): a) -5, b) -4 e c) -3, d) -2, e) -1 e f) Zero 82
- 19 Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Componente u - Viçosa - 500 hPa" com a Série "Componente u - Grade - 500 hPa", para Julho dos Anos de 1974, 1975 e 1976. Defasagens (em Dias): a) -5, b) -4, c) -3, d) -2, e) -1 e f) Zero 96
- 20 Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Desvio de Precipitação - Viçosa" com a Série "Desvio da Componente u - 500 hPa", para Janeiro dos Anos de 1974, 1975 e 1976. Defasagens (em Dias): a) -5, b) -4, c) -3, d) -2, e) -1 e f) Zero 109
- 21 Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Desvio de Precipitação - Viçosa" com a Série "Desvio da Componente u - 850 hPa", para Janeiro dos Anos de 1974, 1975 e 1976. Defasagens (em Dias): a) -5, b) -4, c) -3, d) -2, e) -1 e f) Zero 116

- 22 Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Desvio de Espessura da Camada 850/500 hPa - Viçosa" com a Série "Desvio de Espessura da Camada 850/500 hPa - Grade", para Janeiro dos Anos de 1974, 1975 e 1976. Defasagens (em Dias): a) -5, b) -4, c) -3, d) -2, e) -1 e f) Zero 124
- 23 Comparação dos Limites Obtidos pela Distribuição Geográfica das Correlações de Espessura da Camada 850/500 hPa (ver Figura), para a Defasagem Zero (a), com o Limite da Distribuição Geográfica de Máxima Precipitação Média no Nordeste, para o Mês de Dezembro (b). Adaptada de KOUSKY, 1979). Observe que o Limite Superior do Campo de Correlação, compreendido entre os Pontos x e y, coincide com o Limite de Máxima Precipitação no Nordeste 133
- 24 Distribuição Geográfico-Temporal dos Campos de Correlações da Série "Desvio de Espessura da Camada 850/500 hPa - Viçosa" com a Série "Desvio de Espessura da Camada 850/500 hPa - Grade", para Julho dos Anos de 1974, 1975 e 1976. Defasagens (em Dias): a) -5, b) -4, c) -3, d) -2, e) -1 e f) Zero 134

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Alta pressão.
AB	Alta da Bolívia.
ABR	Abril.
AC	Anticiclone Continental.
AGO	Agosto.
APM	Anticiclone Polar Migratório.
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul.
ASPS	Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul.
B	Baixa pressão.
BH	Belo Horizonte.
BR	Brasília.
C	Celsius.
cal	Calorias.
Cb	Camulonimbus.
cm	Centímetro.
D	Distância de x(VIC) a cada ponto de grade para a malha de estudo.
D ₇₀₀	Depressão de temperatura em 700 hPa.
DEZ	Dezembro.
DF	Distrito Federal.
E	Este ou Estável.
ENE	Este-Nordeste.
ESE	Este-Sudeste

EST	Estação.
ESTAB	Estabilidade.
F	Fria.
FEV	Fevereiro.
FF	Frente fria.
G	Ponto de Graça.
GL	Galeão.
h	Horas.
HMAX	Hora da máxima temperatura.
HMIN	Hora da mínima temperatura.
hPa	Hecto-Pascal.
I	Instável.
ICSTP	Índice de Contraste Subtropical-Polar.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia.
IS	Índice de Showalter.
JAN	Janeiro.
K	Fator K de instabilidade.
km	quilômetro.
L	Defasagem.
LIT	Linha de Instabilidade Tropical.
M	Ponto de máxima correlação.
M ₁	Primeiro máximo de correlação.
M ₂	Segundo máximo de correlação.
M ₃	Terceiro máximo de correlação.
M ₄	Quarto máximo de correlação.
M ₅	Quinto máximo de correlação.
M ₆	Sexto máximo de correlação.
m	Ponto de mínima correlação em metros.
m ₁	Primeiro mínimo de correlação.
m ₂	Segundo mínimo de correlação.
m ₃	Terceiro mínimo de correlação.
m ₄	Quarto mínimo de correlação.
m ₅	Quinto mínimo de correlação.
m ₆	Sexto mínimo de correlação.
MAI	Mai.
MAR	Março.

METAR	Meteorological Airport Report (Mensagens Meteorológicas de Aeródromo).
MG	Minas Gerais.
ml	Mililitro.
mm	Milímetro.
N	Estabilidade Neutra.
n	Número de linhas de uma matriz.
NCL	Nível de Condensação por Levantamento.
NE	Nordeste.
NEC	National Meteorological Centre (Centro Meteorológico Nacional).
NEE	Norte-Nordeste.
NNW	Norte-Noroeste.
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica).
NOV	Novembro.
NW	Noroeste.
OUT	Outubro.
P	Número de pontos vizinhos à x (VIC) e que formam um polígono.
p	Número de colunas de uma matriz.
PE	Poder Evaporativo.
PRP	Precipitação pluviométrica.
Q	Quente.
QUADR	Quadrante.
QPPDC	Quantidade de Precipitação Por Dia de Chuva.
r	Coefficiente de correlação linear.
RJ	Rio de Janeiro.
S	Sul.
SBBH	Aeroporto da Pampulha (Belo Horizonte).
SBBR	Aeroporto de Brasília (Distrito Federal).
SBGL	Aeroporto do Galeão (Rio de Janeiro).
sx	Desvio-padrão da série x .
sy	Desvio-padrão da série y .
SE	Sudeste.
SET	Setembro.
SSE	Sul-Sudeste.

SSW	Sul-Sudoeste.
SW	Sudoeste.
T	Temperatura do ar.
t	Tempo.
T'	Temperatura do ar determinada pela interseção da adiabática úmida, partindo do NCL, com o nível de 500 hPa.
T ₅₀₀	Temperatura do ar em 500 hPa.
T ₈₅₀	Temperatura do ar em 850 hPa.
TASA	Telecomunicações Aeronáuticas Sociedade Anônima.
TD ₈₅₀	Temperatura do ponto de orvalho em 850 hPa.
TMAX	Temperatura máxima.
TMIN	Temperatura mínima.
u	Componente zonal do vento.
USA	United State of America (Estados Unidos da América).
UTC	Universal Time Coordinate (Tempo Coordenado Universal).
V	Viçosa.
v	Componente meridional do vento.
VIC	Viçosa.
X	Ponto a ser interpolado, no caso em estado refere-se à Viçosa.
W	Oeste.
WAW	Oeste-Noroeste.
WSW	Oeste-Sudoeste.
Z(G)	Valor da variável em cada ponto de Grade G.
ZCIT	Zona de Convergência Inter-Tropical.
0	Graus
'	Minutos.

EXTRATO

MAIA, Luiz Francisco Pires Guimarães, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1986. *Alguns Aspectos Dinâmico-Climatológicos em Minas Gerais*. Professor Orientador: Rubens Leite Vianello. Professores Conselheiros: Dirceu Teixeira Coelho e José Maria Nogueira da Costa.

As influências dos sistemas de larga-escala, notadamente os Anticiclones Subtropicais do Atlântico e do Pacífico Sul, e dos sistemas Transientes (frentes frias e linhas de instabilidade) sobre Minas Gerais foram analisadas levando-se em consideração os efeitos topográficos locais.

Verificou-se a atuação da "Alta da Bolívia" sobre o regime de precipitação no Nordeste do Brasil.

O Estado de Minas Gerais, como ficou evidenciado, pode ser afetado por fenômenos desenvolvidos a longas distâncias, como é o caso do "El Niño", que ocorrendo em janeiro de 1976, pareceu reduzir a precipitação de Viçosa, MG.

Foram analisados dados de ar superior, oriundos de radiossondações do Galeão e de Brasília, na tentativa de se

determinar as características que pudessem servir como indicadores da ocorrência de instabilidade sobre a atmosfera de Minas Gerais.

Empregando dados de análises tropicais do "National Meteorological Center" dos Estados Unidos da América do Norte, procedeu-se às correlações estatísticas entre as séries temporais de Viçosa (série de referência) e as séries de 165 pontos de grade, contidos entre 20°W e 90°W e 5°S e 48.1°S , para vários parâmetros. Essas análises mostraram as influências dos sistemas atmosféricos sobre Minas Gerais, confirmando toda a descrição climo-sinótica feita anteriormente, mostrando a confiabilidade necessária para retratar as condições de tempo futuras sobre Viçosa, ou qualquer outra localidade.

1. INTRODUÇÃO

No interior do Brasil existe uma comprovada carência de informações diárias das condições de tempo, presente e futuro, apesar de, praticamente, todas as atividades humanas dependerem, em alto grau, do comportamento de tais fenômenos naturais.

Provavelmente, os agricultores são os que mais se beneficiariam com a criação de um sistema diário de previsão, de monitoramento e de divulgação de eventos meteorológicos mais relevantes. As invasões periódicas de massas de ar frio, propiciando a ocorrência de geadas, a associação de chuvas ao deslocamento dos sistemas frontais, o predomínio de condições meteorológicas favoráveis à ocorrência de veranicos, entre outros aspectos, são alguns fenômenos que poderiam, rotineiramente, ser previstos e divulgados junto à comunidade agrícola, com benefícios imediatos.

O atual estágio em que se acha a ciência meteorológica permite a prestação de uma ampla gama de benefícios à

humanidade. As técnicas sinóticas e computacionais, aplicadas à previsão do tempo, têm se enriquecido, consideravelmente, com o crescente ritmo de desenvolvimento dos satélites meteorológicos. Para previsão local do tempo, no entanto, a técnica da climatologia sinótica, aliada à estatística, tem se mostrado bastante eficiente, com o apoio dos satélites. Para um bom emprego dessas técnicas, o conhecimento da dinâmica da circulação atmosférica, que inclui a região de estudo, é de vital importância, visto que todos os fenômenos que ocorrem numa localidade estarem afetos à sistemas de escalas maiores, até mesmo globais.

No Brasil, onde grande área está contida predominantemente na faixa tropical, com características fisiográficas das mais diversas (topografia, vegetação, altitude, continentalidade), tem-se notado que, somente a partir dessa década, o conhecimento de sua atmosfera circundante tem atraído um certo número de pesquisadores, que utilizando as técnicas mais variadas, estudam as interações de larga-escala com fenômenos adversos ocorridos no País.

O presente trabalho visou o entendimento dos fenômenos que ocorrem em Minas Gerais, por meio do estudo da climatologia dinâmica da circulação atmosférica, partindo de um prévio conhecimento da climatologia dos sistemas de larga-escala afetos ao continente sulamericano e dos sistemas transientes (frentes frias e linhas de instabilidade), até chegar-se aos detalhes relativos à interação desses sistemas com as características do Estado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O continente sulamericano, face a sua posição e dimensão, é afetado por sistemas atmosféricos tropicais e polares. O comportamento médio desses sistemas determina a sua climatologia sinótica. A partir desse conhecimento, o entendimento dos fenômenos, mesmo a níveis locais, torna-se possível.

2.1. *Sistemas Atmosféricos de Larga-Escala*

A configuração do escoamento médio nos níveis mais baixos da troposfera, próximos à superfície terrestre, sobre a América do Sul e os oceanos circunvizinhos, reflete o mecanismo da circulação geral da atmosfera pela presença de dois anticiclones quase-estacionários: do Atlântico sul e do Pacífico Sul. Esses dois anticiclones são responsáveis pelas condições de tempo sobre o continente, pois, deles dependem os demais mecanismos de penetração de massas de ar provenientes do Sul, entre outros fenômenos. A Figura 1 mostra as

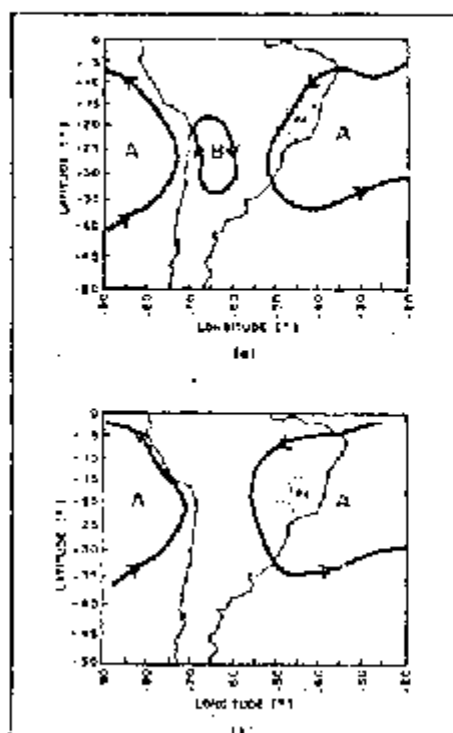


FIGURA 1 - Configurações e Posições dos Centros de Ação sobre a América do Sul, na Superfície. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão.

configurações e as posições dos centros desses sistemas, também chamados centros de ação, sobre a América do Sul.

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, um sistema estacionário (i.e., sistema existente durante todo o ano, porém, sofrendo variações em sua posição) apresenta no mês de janeiro seu centro posicionado próximo a $25^{\circ}\text{S}/20^{\circ}\text{W}$, atuando sobre a parte Leste do continente sulamericano, mais precisamente sobre Caravelas-BA e penetrando até próximo a 42°W , passando sobre o Rio de Janeiro-RJ. Tem, portanto, um limite latitudinal de 14°S a 33°S . Esse sistema é tratado também como Alta de Santa Helena ou de "Ascension" (36). A

circulação desse Anticiclone atua durante todo o ano na parte Este do continente sulamericano ocasionando, a exceção do Oeste da Amazônia, ventos de Este a Nordeste. A temperatura em seu interior é relativamente elevada, principalmente no verão, pela intensa radiação solar incidente sobre o sistema. Outra característica desse sistema de alta pressão é o elevado grau de umidade absoluta, devido a intensa evaporação que ocorre sobre a camada superficial da água oceânica. Sendo esse Anticiclone quente e úmido, é de se esperar extensas e bem desenvolvidas formações de nuvens. Tal processo não ocorre devido a subsidência (correntes verticais descendentes), caracterizando a estabilidade em um sistema desse natureza. A umidade, então, evaporada pela superfície líquida, fica limitada à camada mais superficial, originando, por vezes, nuvens baixas do tipo estratiforme. No entanto, essas características, até então típicas sobre o oceano, modificam-se sobre o continente, principalmente, no setor ocidental do Brasil. A inversão térmica superior, que limita a concentração da umidade nos níveis próximos à superfície, encontra-se mais elevada nessa região, haja vista a influência da corrente oceânica quente do Brasil.

MARQUES (18), ao estudar a importância dos processos advectivos na convecção amazônica, constatou a existência de um intenso fluxo de vapor de Leste para Oeste na baixa e média troposfera, em Belém e em Manaus, proveniente do Oceano Atlântico. Sobre o Nordeste ocorre também um transporte do vapor d'água, proveniente do oceano, que pela ausência de mecanismos favoráveis, não origina precipitação na região; esse

vapor é transportado em direção ao interior do Brasil, pela circulação decorrente do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Na sua borda oriental, não ilustrado pela Figura 1, o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul atinge a costa ocidental da África. A corrente oceânica atuante naquele setor é a corrente fria de Benguela, proveniente das latitudes mais elevadas, o que concorre para uma atenuação do aquecimento solar em suas águas superficiais, daí resultando numa estabilização do ar.

Pelo exposto, conclui-se que a borda Leste do sistema em discussão tem características estáveis, enquanto a borda Oeste apresenta condições instáveis. Com relação ao seu centro, este, face as correntes descendentes, apresenta domínio da estabilidade, inibindo qualquer formação de nebulosidade tipo cumuliforme e, por conseguinte, qualquer fenômeno meteorológico. Por vezes, somente uma névoa seca é percebida sobre locais afastados dos grandes centros urbanos; na proximidade desse, estando a atmosfera estável, percebe-se uma mistura de poluentes e de névoa seca, tornando o ar bastante contaminado.

O outro sistema de grande-escala vizinho à América do Sul, conforme já mencionado, é o Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul. Esse sistema não atua diretamente sobre o continente nos baixos e médios níveis, devido ao bloqueio físico causado pela Cordilheira dos Andes, fazendo com que mantenha-se exclusivamente sobre o Pacífico. A circulação atmosférica na sua borda Leste é induzida pela orientação da cordilheira, predominantemente Sul-Norte, trazendo ar de

latitudes mais elevadas para latitudes mais baixas. Essa circulação troposférica fria e seca, associada com a circulação marítima - corrente fria de Humbolt - estabelece um elevado grau de estabilidade, daí a ausência de precipitações na costa oeste do continente. O papel mais importante do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) parece ser o de atuar na absorção ou no bloqueio e posterior desvio de sistemas polares migratórios com trajetórias pelo Oceano Pacífico.

Esses sistemas subtropicais sofrem ligeiras modificações em suas características, do verão para o inverno, ocorrendo ligeira intensificação e deslocamento para o Norte, devido a variação havida no gradiente térmico do hemisfério Sul.

No inverno, ainda, o "ASAS" exerce maior penetração continental, atuando na parte leste e central do Brasil equatorial; o continente apresenta-se relativamente mais frio que os oceanos circunvizinhos. Nota-se, portanto, que a movimentação sazonal, bem como as temporárias, no "ASAS", exercem papel fundamental sobre o clima do Brasil, em particular sobre Minas Gerais, que conforme pode-se verificar, fica sob seu domínio, principalmente, no inverno, adquirindo condições predominantemente de pouca ou nenhuma nebulosidade e ausência de precipitação, caracterizando o período seco. O "ASPS" apesar de mais intensificado não exerce influência direta sobre as condições de tempo no continente, pela baixa e média troposfera.

Pode-se destacar, ainda, as diferenças ocorridas na circulação sobre os trópicos da América do Sul e África; essas seriam ditadas pelas diferenças fisiográficas dos dois

continentes, onde a Cordilheira dos Andes exerce uma atuação marcante, sem similar no continente africano (17).

Um outro sistema, de dimensões menores que o "ASAB", presente no verão sobre o continente sulamericano, é o Anticiclone Continental (AC) - um sistema também permanente nessa época do ano. Estende-se de 10°S a 25°S e de 52°W a 72°W , com centro localizado em 17°S a 62°W , aproximadamente^{1/}.

Um sistema de destaque sobre o continente é a Baixa do Chaco, localizada sobre o Chaco Paraguai ($17^{\circ}\text{S}/65^{\circ}\text{W}$, aproximadamente), que é formada devido ao grande aquecimento continental no verão. Essa Baixa, puramente térmica, gera convergência do ar circunvizinho nos baixos níveis, liberando calor latente na alta troposfera pela convecção profunda no interior do continente (16). Essa situação apresenta uma grande modificação sazonal, não ocorrendo no inverno devido ao continente estar relativamente mais frio do que os oceanos circunvizinhos. Uma das formas de resposta da atmosfera a essa convecção profunda reside no surgimento de uma perturbação anticiclônica (ou uma crista) difluente no escoamento dos altos níveis troposféricos. Essa perturbação é mantida na região de origem do processo convectivo face ao seu deslocamento ter frequência menor do que a do ciclo diurno da convecção tropical continental (32). Esse sistema, segundo GUTMAN e SCHWERDTFAGER (10), pode ser encontrado nas análises do geopotencial e do fluxo, nos níveis próximos à tropopausa, sobre o Planalto Boliviano, daí receber a designação de "Alta da Bolívia".

^{1/} COSTA, J.A.M. - TASA - Comunicação Pessoal.

Interpretando a circulação de superfície (Figura 1), verifica-se uma maior penetração do "ASAS" sobre a parte leste do Brasil, em julho (inverno), trazendo "bon tempo" àquela região. No interior do continente, em janeiro, a presença do sistema de baixa pressão, denominado Baixa do Chaco, gera uma extensa faixa de convergência com a circulação proveniente do "ASAS", que induz a penetração de umidade, nos baixos níveis, transportada pelos Alísios do Hemisfério Norte ao Oeste da Amazônia e pelos Alísios do Hemisfério Sul, na costa do Nordeste. Essa faixa é responsável diretamente pela estação chuvosa nas regiões Central e Sudeste do Brasil. No inverno, essa convergência desaparece, bem como a faixa de precipitações, caracterizando o período seco, interrompido pelas penetrações de sistemas frontais de origem polar.

A Figura 2 mostra o escoamento médio em 850 hPa, sobre a América do Sul, no verão e no inverno. NISHIZAWA e TANAKA (29) discutiram essas situações, destacando para o verão a influência dos Alísios no Nordeste do Brasil. O centro ciclônico nesse nível está localizado próximo a $28^{\circ}\text{S}/65^{\circ}\text{W}$, induzindo um escoamento de Norte/Noroeste entre esse ciclone e o "ASAS", tal como em superfície. No inverno destaca-se um cavado no escoamento dos Oestes (zonal) a Este dos Andes.

A persistência de uma circulação ciclônica, em vários níveis adjacentes da troposfera, significa uma consistência vertical do próprio sistema, isto é, se um sistema ciclônico é formado na superfície, como é o caso da Baixa do Chaco, e sua circulação se mantém até, por exemplo, 500 hPa, significa que esse sistema está bastante desenvolvido até aquele

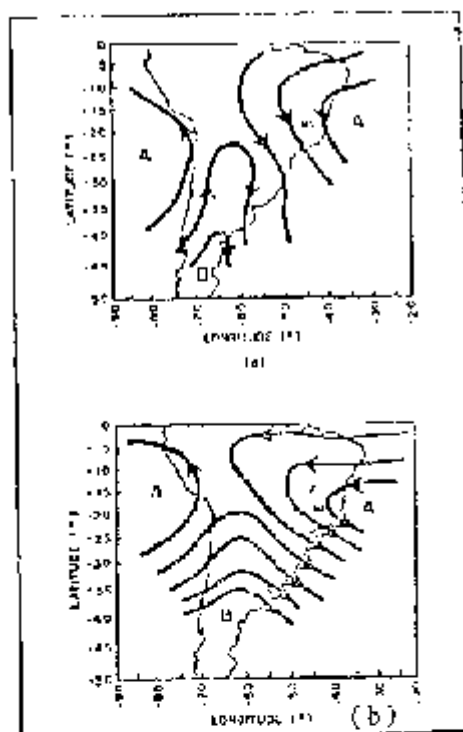


FIGURA 2 - Escoamento Médio em 850 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão.

nível, associando-se esse fato diretamente à sua intensidade e ao tempo decorrente em superfície.

Na baixa troposfera, ainda representada pelo nível de 700 hPa, no verão (Figura 3a), a célula de alta pressão subtropical do Atlântico Sul (ou "ASAS") mostra a tendência de enfraquecimento na sua borda Noroeste sobre o Brasil. No inverno, o centro do "ASAS" sofreu um deslocamento para o Norte (até 10°S), tornando-se mais fortalecido que no verão.

No nível de 500 hPa, mostrado pela Figura 4, a célula no inverno (parte b) estende-se através do continente interno, do Equador a 20°S . Observa-se que para o Verão (Figura 4a),

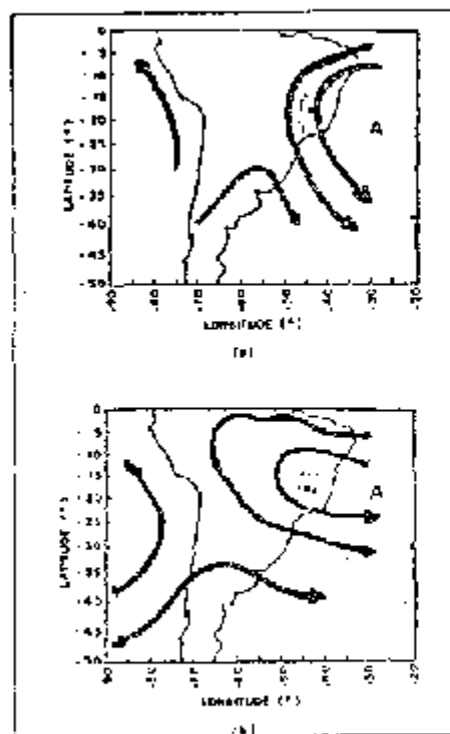


FIGURA 3 - Escoamento Médio em 700 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão

o sistema anticiclônico vai sendo suprimido mais para o interior, enquanto o desenvolvimento de uma circulação anticiclônica vai se pronunciando sobre a Bolívia, parecendo como uma invasão do sistema do Pacífico.

Em 300 hPa, no verão (Figura 5a), já não se percebe a presença do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, sendo substituído por um cavado ou um sistema de convergência em altos níveis. A intensificação da crista no interior é tanta que se torna um sistema anticiclônico fechado. Para a situação de inverno o escoamento passa a adquirir uma característica zonal, com um cavado na parte Leste do Brasil (3).

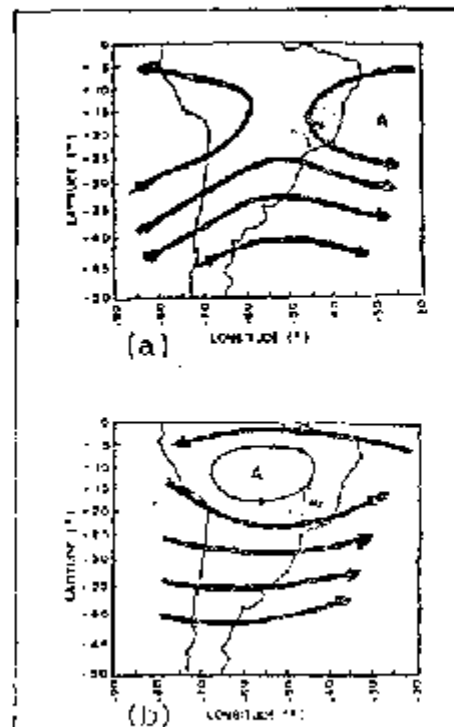


FIGURA 4 - Escoamento Médio em 500 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão.

Para o nível de 200 hPa, mostrado pela Figura 6, o sistema "Alta da Bolívia" apresenta-se bem definido e associado a um pronunciado cavado sobre o Nordeste do Brasil. No inverno a situação permanece zonal, destacando-se a maior intensidade dos ventos de Oeste, associados às velocidades das correntes de jato (17).

A configuração de janeiro, no nível de 150 hPa (Figura 7), é similar àquela descrita por VITTI (39), ou seja, um anticiclone de núcleo quente, próximo a $18^{\circ}\text{S}/65^{\circ}\text{W}$, apresentando divergência superior, que é compensada por uma zona de convergência, ou cavado, no Nordeste do Brasil. Desse

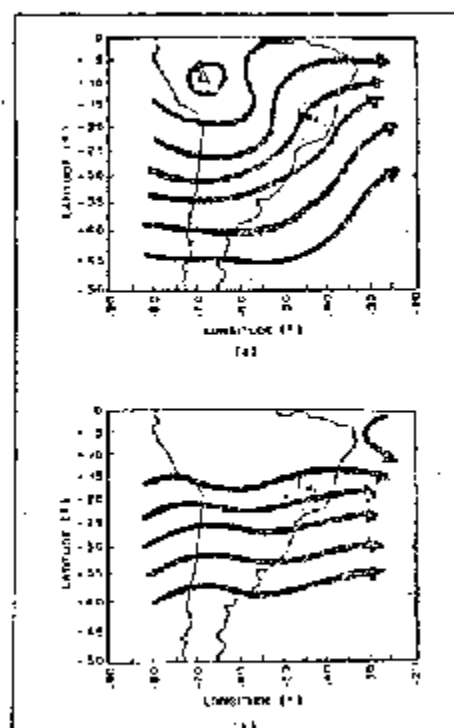


FIGURA 5 - Escoamento Médio em 300 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão.

cavado resulta um movimento descendente que inibe, pois, a formação de nuvens, eliminando a possibilidade de precipitação (7).

O conhecimento da climatologia do ar superior sobre a América do Sul, a partir do conhecimento da estrutura vertical no interior do continente, principalmente no verão, onde se apresenta a "Alta da Bolívia", pode então ser mais aprofundado.

Muitos pesquisadores associaram o regime de precipitação em várias regiões do Brasil às características dos maiores componentes de circulação troposférica sobre o continente,

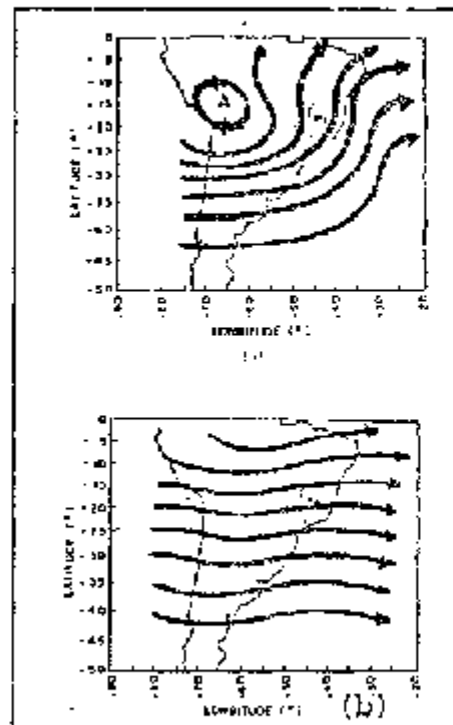


FIGURA 6 - Escoamento Médio em 200 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão.

notadamente a Alta da Bolívia (AB). Segundo WALKER (41), tal relação tem como suporte a idéia que importantes relações entre o tempo de distantes regiões da terra devem levar em consideração a circulação geral da atmosfera. O mesmo autor, em 1928, mostrou que a precipitação sobre o Estado do Ceará estava relacionada com o fenômeno denominado "Oscilação do Sul", que exerce uma grande influência sobre o Hemisfério Sul (40). ROUSKY e MCLION (16), estudando os mecanismos que influenciam a precipitação sobre a Amazônia, determinaram três configurações próprias da troposfera que, em conjunto, exercem tal influência. Uma delas é a "Alta da Bolívia", enquanto

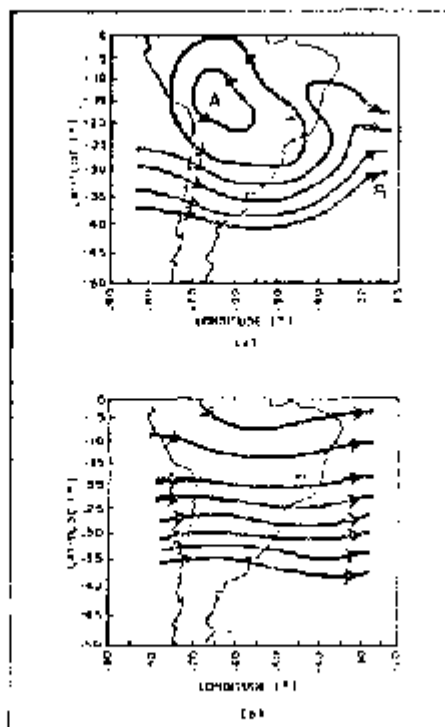


FIGURA 7 - Escoamento Médio em 150 hPa, sobre a América do Sul. a) Verão e b) Inverno. A Significa Alta Pressão e B Baixa Pressão.

as demais são as zonas de convergência, que se originam das penetrações dos sistemas frontais, e a circulação da brisa marítima, que afeta a costa Norte do Brasil causando linhas de instabilidade que se deslocam em direção aos Andes, arrastadas pelo fluxo do Este. KOUSKY e KAGANO (14) associaram as configurações dos campos de vento e geopotencial sobre a América do Sul com os regimes de precipitação sobre o Amazonas, concluindo que a sua variação sazonal parece estar relacionada com a posição e a intensidade da "Alta da Bolívia".

VITTI (39), estudando a circulação troposférica de verão sobre a América do Sul, baseado nos dados de velocidade das

nuvens, mostrou que os movimentos ascendentes sobre a maior parte da Bacia do Rio São Francisco não compensados por movimentos descendentes sobre o Nordeste do Brasil, inibindo, dessa maneira, a formação de nuvens e uma conseqüente precipitação sobre aquela região.

Investigando a relação entre a variação anual da circulação troposférica e a precipitação nas regiões tropical e subtropical da América do Sul, NISHIZAWA e TANAKA (29) mostraram que essa complexa configuração da variação anual de regime de precipitação foi devida a uma forte influência dos maiores componentes da circulação troposférica. STRANG (37), utilizando os valores médios mensais dos parâmetros atmosféricos do ar superior para toda a América do Sul, deteve-se a observar as características normais sobre o Nordeste brasileiro e suas correlações com estações vizinhas. Além disso, estudou, também, os desvios que essas circulações sofrem em anos tipicamente secos e chuvosos, tendo percebido a importância que as configurações do Anticiclone Quase-Estacionário do Atlântico Sul têm na definição do tipo de estação chuvosa que ocorre na região semi-árida.

Os processos convectivos sobre a Amazônia surgem quando da presença da "Alta da Bolívia". KOESKY *et alii* (15) sugeriram a existência de uma circulação de Walker, durante o verão, na região da América do Sul e Oceano Atlântico Sul. Assim sendo, os anticiclones da alta troposfera, encontrados no interior do continente sulamericano e na Austrália, bem como o cavado no meio do Oceano Pacífico, são, possivelmente, mais fracos durante os eventos de "El Niño" e da Oscilação do

Sul, apresentando uma tendência dos fluxos serem zonais nas latitudes subtropicais e médias.

SANTOS (32) mostrou a dependência entre a variabilidade interanual da precipitação amazônica e as variações da circulação em larga escala. Assim, durante o período em que a "Alta da Bolívia", em 200 hPa, está situada sobre a Bolívia e o Mato Grosso, os ventos nos altos níveis divergem fortemente dessa região, fazendo com que sejam observados sobre Manaus ventos de S/SE e sobre Belém ventos procedentes do Sul.

No verão, massas de ar úmido são transportadas do Nordeste e do Leste para alimentar a convecção nas camadas inferiores sobre o interior do continente (17); no inverno, por sua vez, essa situação não ocorre. Essa diferença marcante na unidade disponível no interior do continente é responsável pela grande variação sazonal no regime dos ventos sobre a região. KOUSKY e MCLION (16), estudando a climatologia da dinâmica atmosférica sobre a Amazônia, ressaltaram o fato de os fluxos da alta troposfera serem influenciados pelo forte aquecimento superficial e da liberação de calor latente pela convecção profunda no continente. A energia transportada para os altos níveis é transformada em energia cinética perturbada, que produz os campos de vorticidade anticiclônica. Esses campos podem assumir valores de intensidade do vento, vorticidade e divergência, muito maiores que a média (32).

KOUSKY e KAGANO (14) observaram pelos dados de geopotencial, que quando o anticiclone está localizado sobre a

Bolívia e o Mato Grosso, os ventos em altos níveis sofrem uma forte divergência a partir desse setor, atravessando o equador com significativa componente de Sul, enquanto nos baixos níveis configura-se um sistema de baixa pressão ao Sul do Manaus.

Os Estes tropicais sobre o Amazonas e o Norte da América do Sul, oriundos da "Alta da Bolívia", são pouco desenvolvidos na maior parte do ano. Na baixa troposfera, as montanhas dos Andes, mais ao Norte, interrompem sua continuidade E/W (33).

Segundo ARKIN (2), os aglomerados de nuvens cumuliformes (cumulonimbus) sobre o interior do continente, no verão, podem ser influenciados pela configuração da convecção no Pacífico equatorial e ao "El Niño", face ao forçamento exercido. A influência direta da "Alta da Bolívia", sobre os ventos em altitude, se dá na interrupção dos Oeste, tornando-os fortemente meridionais no verão. O jato subtropical também é afetado, de modo que passa a descrever um cavado a Oeste e outro a Leste do referido sistema (32). No inverno, com redução drástica da quantidade e da profundidade dos sistemas convectivos continentais, o escoamento torna-se quase zonal no sentido zonal, caracterizando uma grande variabilidade anual, desconfigurando qualquer hipótese de que a crieta, ou o anticiclone em altitude, seja produzido por efeitos puramente dinâmicos (8).

STRANG (36), analisando as anomalias da pressão atmosférica normal mensal, nas regiões sulamericana e atlântica, detectou um centro negativo de anomalias no continente, ao que se pode associar à "Baixa do Chaco".

Ainda, com relação à "Alta da Bolívia", há de se destacar o ramo descendente daquele sistema, nos altos níveis, configurado por um cavado. Essa depressão em altos níveis gera uma corrente descendente que em períodos normais atua sobre o Nordeste do Brasil, inibindo as possíveis formações de nuvens sobre a região (8). Verifica-se, portanto, que tanto a "Alta da Bolívia" como o cavado localizado sobre o Nordeste, a ele associado, determinam as condições sinóticas médias da troposfera tropical, no verão do hemisfério Sul. Esses mecanismos sofrem uma grande variabilidade sazonal e, por vezes, podem ser afetados por outros mecanismos distantes, sendo difícil detalhar esses processos.

2.2. Sistemas Transientes

Além das influências dos sistemas de grande-escala, as condições de tempo locais são determinadas também por perturbações de mesoescala, que migram e modificam-se enquanto transportadas pela circulação dominante de larga-escala. Esses sistemas, chamados transientes, têm durações variadas, desde horas até dias e atuam em todas as latitudes (28).

As frentes frias, originadas do deslocamento das massas polares em direção às baixas latitudes, são os sistemas transientes dominantes nas latitudes médias. As frentes quentes e as linhas de instabilidade ocorrem também nas latitudes tropicais, embora essas regiões, por serem condicionalmente instáveis e essencialmente barotrópicas, estejam principalmente sujeitas aos mecanismos convectivos, tendo nas

nuvens cumuliformes, seus agentes mais importantes (32).

2.2.1. Anticiclones Polares e Frentes Frias

O anticiclone polar, como o próprio nome sugere, constitui-se numa massa de ar que tem origem na superfície gelada da região, no Hemisfério Sul, pelo continente Antártico e pela banquisa fixa. Como anticiclone, esse sistema polar apresenta circulação anti-horária, com ventos divergentes à superfície dirigidos para a zona depressiônica subantártica, originando nessa região as chamadas massas de ar polar. Essas massas, doravante chamadas de Anticiclones Polares Migratórios (APM), invadem periodicamente o continente sulamericano numa trajetória de SW para NE. Desde sua origem o "APM" passa por várias regiões com características distintas, o que causa alterações em suas propriedades. Na sua origem, o "APM" apresenta forte inversão de temperatura, com ar frio e seco, portanto, muito estável. À medida que o sistema se desloca em direção ao equador vai absorvendo calor e umidade da superfície, relativamente mais quente, do mar, o que vai tornando-o instável à medida que se aproxima das baixas latitudes. Com essa estrutura, o "APM" invade o continente sulamericano entre os dois anticiclones quase-estacionários, o "ASAS" e o "ASPS", segundo trajetórias distintas: uma a Oeste e outra a Leste dos Andes.

O "ASPS" e o "ASAS", no entanto, exercem um efeito bloqueador aos "APM", impedindo o seu deslocamento para as latitudes mais baixas, fazendo com que esses derivem para Leste.

A sazonalidade é um fator importante, tanto para as características, como para as trajetórias adquiridas pelos "APM". Durante o inverno, os "APM" que se deslocam em direção às latitudes mais baixas são mais intensos (mais energia) e de maiores dimensões que nas demais épocas do ano. Sua frequência, normalmente, também é maior. Ao atingirem o continente, essas massas de origem polar sofrem, nos níveis mais baixos, um maior efeito do atrito, face à rugosidade da superfície, sofrendo até bloqueios por parte da fisiografia característica do local, por onde esteja passando. Se a frente fria (faixa de separação entre a massa de ar polar e a massa de ar tropical) é empurrada por uma intensa massa de ar essa não será tão deformada quando atingir as montanhas (tal como a Serra do Mar), penetrando mais para o Norte, sem perdas, contudo, na sua forma original.

No verão, além das incursões de ar de origem polar serem menos frequentes, os "APM" que avançam em direção ao Norte têm pouca intensidade (pouca energia) e penetrabilidade continental, resultando em condições de tempo menos severas do que no inverno. Em sua marcha periódica para o equador, o "APM" é forçado a penetrar entre as duas células de alta pressão ("ASPS" e "ASAS"), percorrendo três trajetórias diferentes sobre a América do Sul.

As variações sazonais, em intensidade e tamanho, nas massas polares, no "ASPS" e no "ASAS", além da topografia do continente (Cordilheira dos Andes e Maciço Brasileiro), são fatores condicionantes ao deslocamento e trajetórias preferenciais dos "APM", conforme ilustra a Figura 8.

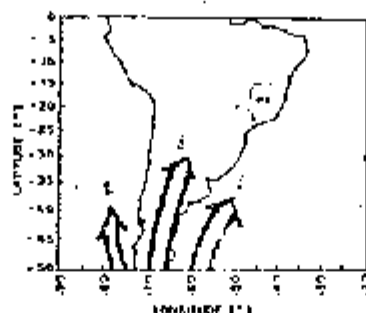


FIGURA 8 - Trajetórias Preferenciais das Incurções dos "APM", sobre o Continente Sulamericano.

Uma trajetória preferencial do "APM", e de suas frentes associadas, é a pelo Oceano Pacífico, denominada "trajetória do pacífico". Devido a grande altura da Cordilheira, sobretudo a partir de 30°S , as massas que percorrem (a) trajetória apóiam-se na vertente Oeste das montanhas, sem ultrapassá-la (trajetória 1 - figura 8). No Peru, no entanto, com a mudança de direção da costa, já é possível distinguir frentes nas invasões excepcionalmente fortes do inverno, sem que a massa consiga ultrapassar os Andes. A pequena energia em invasões de verão não permite que o "APM" ultrapasse a zona central do Chile. Sobre a Baixa Continental no interior do continente, a presença da "Alta da Bolívia" induz uma circulação de SW que tende a conduzir o "APM" para o litoral do Atlântico, impedindo as trajetórias pelo continente onde os ventos em altitude são de NW. Os "APM" que percorrem a trajetória atlântica, atingindo a zona equatorial, chegam bastante transformados, de modo que é pouco sensível o seu efeito sobre a temperatura (trajetória 2 - Figura 8). Essas massas frias,

ao se dirigirem às latitudes mais baixas, tendem a se opor à circulação de N-NE da borda NW do "ASAS", formando frentes bem definidas. Essas frentes se deslocam para NE com o avanço do "APM" e apresentam ondulações ciclônicas, sobretudo no mar (Figura 9). A partir de 15°S, na região dos Alíseos de SE, o "APM" vai perdendo suas características, uma vez que o caminho é longo e marítimo, sendo incorporado ao Anticiclone dinâmico, "ASAS".

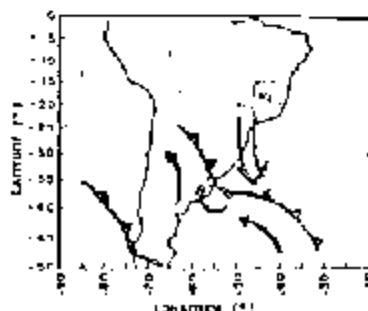


FIGURA 9 - Formação de Ondulações
Ciclônicas nas Frentes
Frias de Trajetória Atlân-
tica.

No terceira trajetória, o ar polar segue pelo inte-
rior do continente entre a Cordilheira dos Andes e o Maciço
Brasileiro, conduzindo ar frio através de Mato Grosso em di-
reção ao Alto Amazonas e provocando, em casos excepcionais de
grande intensidade, a chamada "friagem".

Num caso de forte invasão de inverno, conforme relatou
SERRA e RATIBONNA (34), a massa polar pode seguir as três
trajetórias, simultaneamente. Ocorre que, pelo continente, o

ar ao progredir forma uma frente fria bastante nítida. Ao passar entre os dois anticiclones quase-estacionários, o "ASPS" e o "ASAS", esse último mais estendido para Oeste, a massa polar percorre sua trajetória continental apoiada na vertente Leste da Cordilheira dos Andes Argentinos e Bolivianos, onde é mais poderosa e o seu resfriamento mais intenso, e vai diminuindo em força com menor queda de temperatura para Leste. Ao atingir o paralelo 15° , desaparecendo o obstáculo dos Andes a Oeste, em virtude da força defletora do movimento da terra, a massa dirige-se para NW e invade o Alto Amazonas, formando uma extensa frente estacionária que se estende na direção NW-SE.

O fenômeno térmico chamado "friagem" consiste na invasão durante o inverno de um vigoroso anticiclone frio, de origem polar, cuja trajetória se orienta pelo interior do continente, atingindo, praticamente, até além do equador. Em razão das elevadas temperaturas na Floresta Amazônica, a invasão fria torna-se notável, não só pela raridade, mas também pela extraordinária queda de temperatura que ocorre (34). No inverno o "ASAS" encontra-se mais expandido sobre o continente, fazendo com que a passagem entre essa célula e o "ASPS" se desloque para Oeste. No verão, no entanto, devido a presença da baixa continental, com circulação de N a NW no interior, a penetração desses "APM" na trajetória continental é dificultada. Portanto, a terceira trajetória é mais frequentemente percorrida no inverno, sendo que nem sempre se apresentam como "friagem", devido às transformações ocorridas durante seu percurso. Em alguns casos, durante o verão, as

frontes frias tornam-se quase-estacionárias sobre a costa Sudeste do Brasil, próximo a 20°S . Uma convecção organizada surge em associação a essa frente, intensificando a atividade frontal sobre a região, entre $15^{\circ}\text{S}/20^{\circ}\text{S}$ e $40^{\circ}\text{W}/50^{\circ}\text{W}$, podendo ocasionar precipitações intensas. Dependendo do tempo de atuação desse sistema sobre a região, poderão surgir índices elevados de precipitação pluviométrica em determinados locais suficientes para originar grandes desvios em relação a precipitação normal. A variabilidade interanual de precipitação pode estar ligada a tais situações anômalas. Situação característica foi descrita por Kousky, citado por SANTOS (32), ao discutir as chuvas excepcionais, ocorridas em 1979, sobre a costa Leste do Brasil.

Ainda, com relação a quase-estacionaridade da frente polar, destaca-se a condição peculiar pós-frontal, ou seja, na retaguarda frontal a ocorrência de precipitação trata de caráter contínuo, de origem estratiforme. Essa situação é chamada operacionalmente de "efeito de circulação marítima" e é devida ao bloqueio da massa polar por parte do "ASAS", mantendo a circulação Leste-Sudeste em direção ao litoral, carregando, portanto, umidade. Havendo a continuidade, a umidade adveçada do mar pode ser acumulada entre a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira; havendo algum aquecimento sobre aquela umidade armazenada, poderá haver uma intensificação do tempo próximo à área, no final da tarde^{2/}.

A partir do estudo das anomalias da pressão atmosférica

^{2/} VIOLA, P.E. e PEREIRA, L.C.G. - TASA - Comunicações Pessoais.

normal à superfície sobre a América do Sul e Oceano Atlântico Sul, STRANG (36), mostrou que os meses de verão (de janeiro a fevereiro) apresentam um significativo cavado ao longo de todo bordo Leste dos Andes, associado a uma forte depressão na região do Chaco (62°W e 28°S) e à zona de bloqueio das frentes frias no Sul do Brasil. No inverno, todo o interior da América do Sul fica sob efeito de intensa e persistente anomalia de altas pressões à superfície, com um centro na costa Sul do Brasil e outro na região amazônica.

ROUSKY (13), ao estudar as variações na circulação atmosférica associadas com anomalias de precipitação sobre o Brasil Tropical, concluiu que a zona de convergência associada às frentes frias do Sul desempenhava um papel vital na iniciação e organização das atividades convectivas no interior do Brasil.

A Figura 10 mostra uma parte de uma carta sinótica de superfície, das 12:00 UTC, elaborada pela EASA, onde se destaca uma frente fria, com trajetória pelo Atlântico e interior do continente, sobre Minas Gerais e linhas de instabilidade mais ao Norte.

2.2.2. Linhas de Instabilidade Tropicais

As linhas de instabilidade tropicais (LIT) são depressões barométricas, na forma de linhas alongadas, acopladas em pequenas dorsais pelos sistemas de altas pressões originários do interior do continente. São formadas sobre os Estados do Pará e Amazonas, como resultado do ciclo de aquecimento

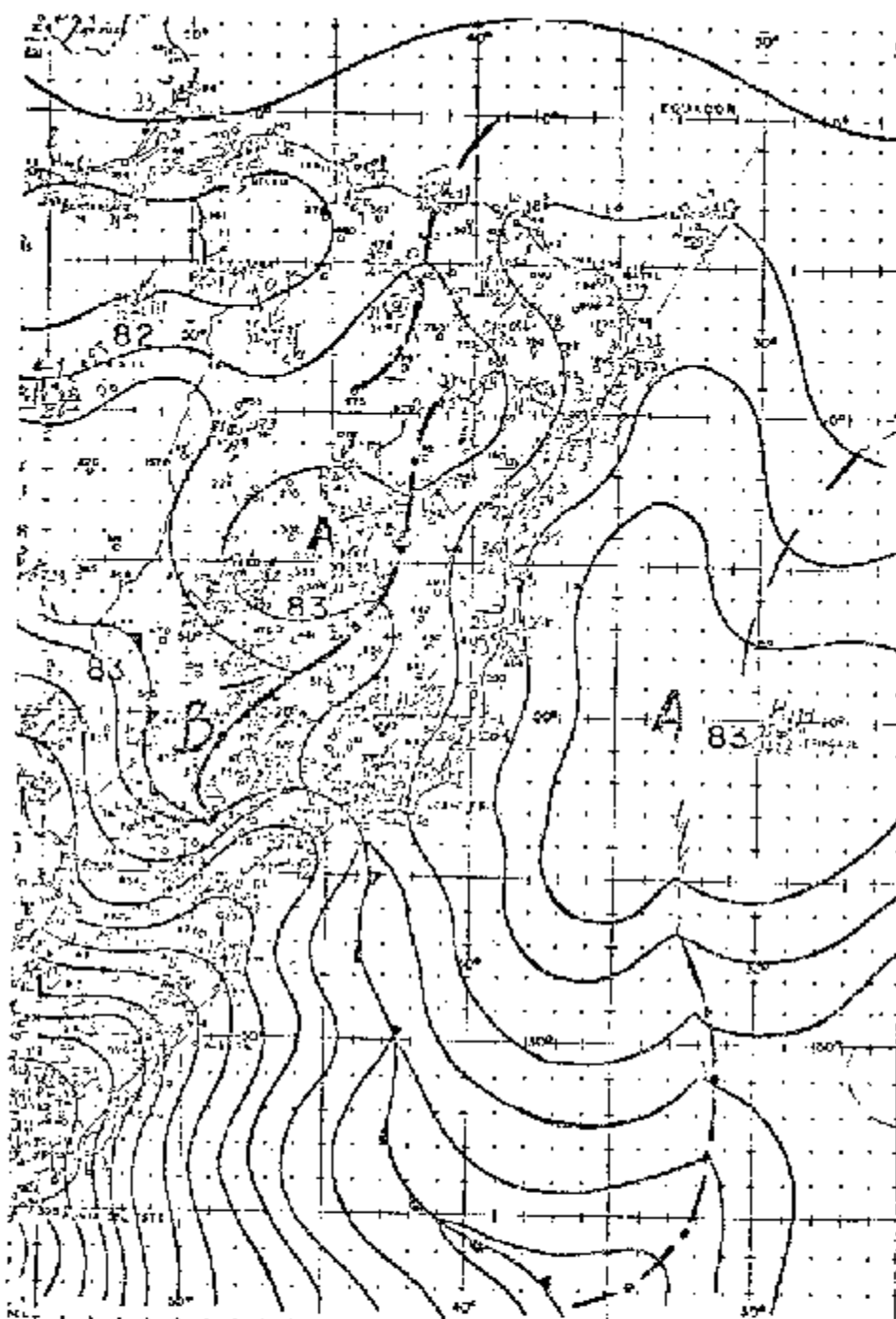


FIGURA 10 - Ilustração de uma Carta Sinótica de Superfície, das 12:00 UTC, do Dia 10 de Novembro de 1986, Mostrando a Penetração de uma Frente Fria no Rio de Janeiro; uma Linha de Instabilidade, Associada à Frente Fria, Está Atuando sobre São Paulo, Minas Gerais e Bahia.

diurno e, enquanto tendem a um estágio de maturidade, deslocam-se para Sudeste. Sua formação se dá entre 12:30 e 18:00 UTC. Essas "LIT", que constituem um sistema dinâmico de convergência, causam uma ascensão do ar, que dependendo do grau de umidade e da força ascensional, causam chuvas e trovoadas, embora de curta duração, acompanhadas de ventos com rajadas que atingem de 60 a 90 km/h. Tais fenômenos ocorrem especialmente no verão e são devidos a um decaimento geral da pressão, motivado pelo forte aquecimento do interior do continente. Sua origem parece estar ligada ao movimento ondulatório que se verifica na frente polar, ao contato com o ar quente da zona tropical. A partir dessas ondulações, formam-se, ao Norte da frente polar, uma ou mais linhas de instabilidade tropicais sobre o continente, que se deslocam para Sudeste. Observa-se que quando uma frente fria está atuando na área do Rio de Janeiro ocorre um atraso no deslocamento da "LIT". Esses sistemas são detectados em cartas sinóticas diárias, podendo-se manter por um período de quatro a seis dias sem qualquer atividade, apenas formações de alto-cumulus que migram arrastados pela circulação dominante sobre a região^{3/}. Na situação em que essa descontinuidade tropical está distante, a NW de Brasília, pequenas "altas" se localizam entre Brasília e Belo Horizonte, desfazendo os grandes cúmulos, e dando origem a estratocúmulos com a mesma base, deslocando-se na direção da circulação^{4/}. Essas linhas, em sua trajetória NW-SE, atingem Minas Gerais, provocando trovoadas e relâmpagos

3/ COSTA, J.A.M. - TASA - Comunicação Pessoal.

4/ ASSUMPTÃO, J.J.M. - TASA - Comunicação Pessoal.

acompanhados, por vezes, de fortes precipitações no final do dia. No verão, apesar de as "LIT" que atravessam Minas Gerais de NW para SE serem mais freqüentes que as frentes frias, os máximos valores de precipitações são observados em locais de relevo acentuado (Diamantina, Ouro Preto, entre outros), o que demonstra a importância da topografia associada aos altos índices de umidade relativa, induzindo precipitações isoladas ou intensificando as linhas de instabilidade. No inverno, com o resfriamento do continente e o fortalecimento dos anticiclones polares, as frentes frias são os únicos mecanismos capazes de provocar chuvas significativas em Minas Gerais, e, muitas vezes, chegam a alcançar latitudes mais baixas (38). As linhas de instabilidade ocorrem em regiões continentais quentes, com suficiente suprimento de umidade. Na área continental da África, ocorrem tempestades mais freqüentes, no final da tarde, associadas com linhas de instabilidade que são formadas na costa e migram para o interior do continente; na área oceânica os máximos de precipitação ocorrem no início da tarde (19).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. *Dados de Ar Superior*

Para a compreensão dos fenômenos que ocorrem no continente sulamericano, há necessidade do conhecimento da sua estrutura vertical, que é obtida por meio de dados do ar superior.

As análises tropicais do "National Meteorological Center (NMC)", dos Estados Unidos da América do Norte, constituem uma valiosa fonte de informações de ar superior, visto conter dados de vários parâmetros meteorológicos em muitos níveis de pressão sobre regiões da Terra, onde normalmente não se realizam observações rotineiras, como é o caso dos oceanos. Esses dados abrangem a faixa latitudinal de $48,1^{\circ}$ N a $48,1^{\circ}$ S, originalmente dispostos em pontos de grade de cinco em cinco graus de longitude, em toda a extensão longitudinal e igualmente espaçados em coordenadas Mercator, na direção meridional. A área de estudo escolhida ficou compreendida de 5° S a $48,1^{\circ}$ S e 20° W a 90° W, que inclui a quase totalidade

do continente sulamericano e parte dos oceanos circunvizinhos. Com isso, a gênese e o desenvolvimento de perturbações sobre o continente, no inverno e no verão, representados por julho e janeiro, respectivamente, podem ser detectados e interpretados à luz da climatologia da dinâmica da circulação, a partir dos dados de temperatura do ar e dos componentes zonal (u) e meridional (v), nos níveis de 850 hPa e 500 hPa, das 12:00 UTC, para os anos de 1974, 1975 e 1976; anos em que as séries das grandezas utilizadas encontravam-se contínuas. A Figura 11 mostra o campo de emprego dos dados do NMC, para o presente trabalho.

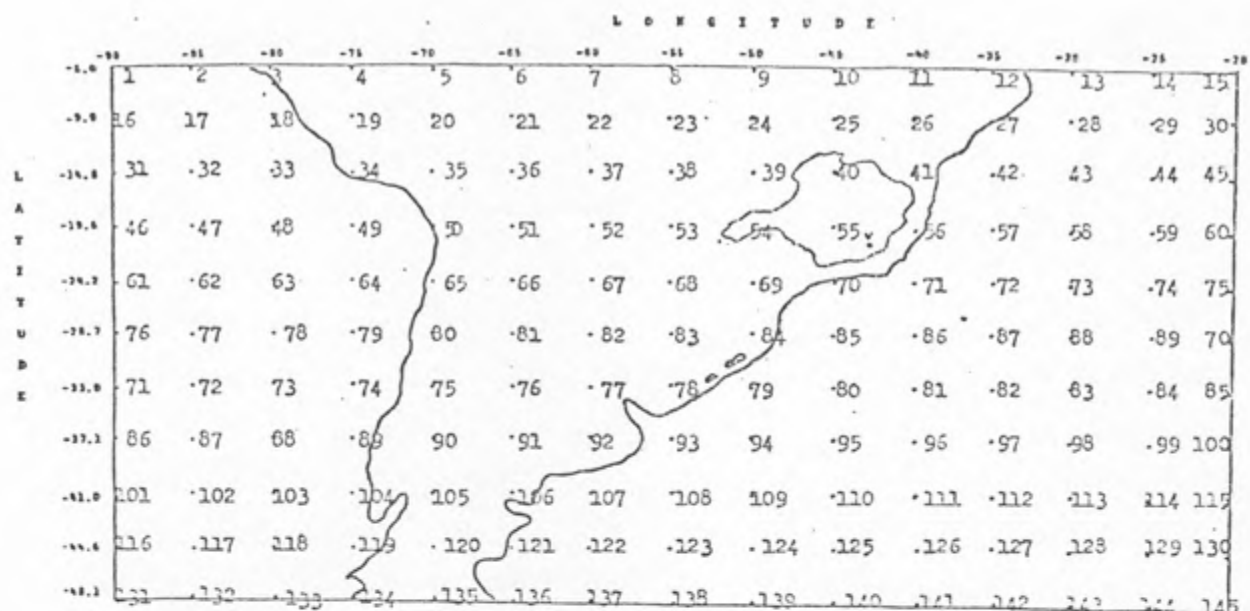


FIGURA 11 - Campo de Utilização dos Dados de Satélite do "National Meteorological Center", Formando uma Matriz de Onze Linhas (Latitudes) x Quinze Colunas (Longitudes).

Utilizaram-se, para base no presente estudo, os dados de temperatura do ar, componente u e componente v em cada ponto de grade. Assim, 165 pontos ou estações foram estabelecidos na área de estudo, fornecendo condições de mostrar as configurações de cada parâmetro meteorológico direto ou derivado, em cada dia, para cada mês selecionado (janeiro e julho), nos níveis de 850 e 500 hPa. Para maior confiabilidade dos tratamentos foram considerados os anos de 1974, 1975 e 1976. Dessa forma considerados para cada ponto de grade, foram formadas séries temporais com 93 elementos. Cabe ressaltar que as funções e níveis citados mostraram-se mais completos que as restantes nos referidos três anos, daí a razão pela qual foram selecionados.

No entanto, como um dos objetivos do trabalho foi o de determinar a influência de qualquer local ou área no campo de estudo, com a localidade de Viçosa (tomada como referência para o Estado de Minas Gerais, numa escala sinótica), houve a necessidade de se dispor de informações nos níveis superiores, tal como se esta dispusesse de radiossondagens; como não dispunha, procedeu-se, então, a uma interpolação linear a partir dos quatro pontos de grade que formam o quadrilátero, onde Viçosa está incluída.

Como os dados disponíveis de ar superior não se apresentavam exatamente sobre as coordenadas geográficas de Viçosa, MG, e a pesquisa necessitava desses dados para investigar possíveis relações entre a ocorrência de precipitação em Viçosa com fatores externos, foi necessário o emprego da técnica de interpolação por aproximação numérica. Essa técnica

utiliza uma expressão matemática, onde os dados vizinhos ao ponto a ser interpolado, i.e., os quatro pontos que formam um quadrilátero, são usados.

A referida expressão é:

$$X(\text{VIC}) = \frac{\sum_{G=1}^P \left(\frac{Z(G)}{D_G^4} \right)}{\sum_{G=1}^P \left(\frac{1}{D_G^4} \right)} \quad \text{Eq. 1}$$

em que:

$X(\text{VIC})$ é o ponto a ser interpolado; para o caso em estudo, refere-se a Viçosa, MG;

P é o número de pontos que são vizinhos a $X(\text{VIC})$ e que formam um polígono;

D é a distância de $X(\text{VIC})$ a cada ponto de tal polígono, ou ponto de grade para a malha de estudo;

$Z(G)$ é o valor da variável em cada ponto de grade G .

Dessa forma, após a determinação das distâncias entre Viçosa e os pontos de grade envolvidos na interpolação, resultou:

$$\begin{aligned} X(\text{VIC}) = & 0,6291897 Z(55) + 0,2543001 Z(56) + 0,048285 Z(71) + \\ & + 0,0682244 Z(70) \end{aligned} \quad \text{Eq. 2}$$

em que:

$Z(55)$, $Z(56)$, $Z(71)$ e $Z(70)$ são valores nos pontos 55, 56, 71 e 70, da grade, respectivamente.

A expressão acima foi testada com dados reais e mostrou

bastante coerência espacial. Com isso, as séries temporais de Viçosa, das funções temperatura e componente u nos níveis de 850 hPa e 500 hPa, para os meses de janeiro e julho, puderam ser estimadas para posterior tratamento estatístico. As séries temporais, nos 165 pontos de grade que formam a área de estudo, foram correlacionadas com a série de Viçosa (de referência, mantida fixa), para defasagem de zero a menos cinco dias, obtendo-se assim, sucessivos campos de coeficientes de correlações para os meses de janeiro e julho. Para cada mês foi identificado o local em que a correlação foi máxima para cada "defasagem".

Para o cálculo das correlações cruzadas com defasagens (para o que se têm hipóteses plausíveis) foi usada a técnica proposta por PANOFSKY e BRIER (31), ou seja:

$$r_L = \frac{\bar{X}_t \bar{Y}_{t+L} - \bar{X}\bar{Y}}{s_x s_y} \text{ para } L = -5, -4, -3, -2, -1 \text{ e } 0$$

Eq. 3

em que:

r_L é o coeficiente de correlação cruzada com defasagem L ;

X é a série de referência;

Y é a série a correlacionar;

s_x e s_y são os respectivos desvios-padrão;

t é o tempo; e a barra sobre cada variável identifica a média temporal.

As correlações acima de 0.20 foram consideradas significativas, ao nível de 95% de confiança, baseadas na hipótese nula de correlação zero.

As correlações efetuadas foram as seguintes:

- a) "Componente u - 500 hPa - Viçosa" com "Componente u - 500 hPa - Grade", janeiro 1974/1975/1976;
- b) "Componente u - 500 hPa - Viçosa" com "Componente u - 500 hPa - Grade", julho 1974/1975/1976;
- c) "Desvio de precipitação - Viçosa" com "Desvio da Componente u - 500 hPa - Grade", janeiro 1974/1975/1976;
- d) "Desvio de precipitação - Viçosa" com "Desvio da Componente u - 850 hPa - Grade", janeiro 1974/1975/1976;
- e) "Desvio de espessura da camada 850-500 hPa - Viçosa" com "Desvio de espessura da camada 850-500 hPa - Grade", janeiro 1974/1975/1976; e
- f) "Desvio de espessura da camada 850-500 hPa-Viçosa" com "Desvio de espessura da camada 850-500 hPa-Grade", julho 1974/1975/1976.

Considerou-se como série de desvios de precipitação, a série das diferenças entre cada valor observado e a média da série de precipitação.

Os desvios dos demais parâmetros foram calculados da seguinte maneira:

- 1º) tomou-se o valor médio espacial para a área de estudo (165 pontos), para cada um dos 93 dias da série, e
- 2º) para cada ponto de grade subtraiu-se a média espacial, obtida para cada dia, do valor no referido ponto.

A cada correlação feita foi aplicada a sub-rotina "Zebra" que imprimia o campo de um dado parâmetro a partir dos dados contidos numa matriz n linhas x p colunas, resultando em campos de correlações. As isocorrelações (isolinhas de coeficientes de correlações lineares), traçadas para cada

defasagem temporal, foram as de valor 0.20, que é o coeficiente de correlação ao nível de significância de 5%, a partir do qual pode-se afirmar que as séries estão bem correlacionadas estatisticamente.

Após a aplicação da sub-rotina "Zebra" para cada correlação, procedeu-se a composição gráfica dos campos defasados, de modo a se poder detectar o deslocamento espacial de suas configurações e núcleos de máxima correlação.

Para um maior detalhamento de situações de perturbações troposféricas, no interior, do continente foram consultadas as cartas sinóticas de altitude elaboradas pelo Departamento de Meteorologia da TASA - Telecomunicações Aeronáuticas Sociedade Anônima, para as condições de estudo, ou seja, janeiro e julho dos anos de 1975, 1975 e 1976, das 12:00 UTC, nos níveis de 850 e 500 hPa. Essas cartas, pela riqueza de informações e pela qualidade de análise, de certo, fornecem subsídios importantes para o conhecimento da circulação na baixa e média troposferas.

Utilizaram-se os dados de radiossondagens, efetuadas nas estações do Galeão (RJ) e Brasília (DF), transcritos dos arquivos do 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia, para se tentar interpolar uma possível estrutura vertical das perturbações transientes sobre Minas Gerais, visto serem essas duas estações de lançamento de radiossondas, as vizinhas mais próximas do local de destaque no estudo.

Para os períodos de estudo foram feitas análises de advecção de temperatura para as camadas 850/700 e 700/500 hPa,

resultando na verificação qualitativa da estabilidade da camada 850/500 hPa como um todo (Quadros 1A e 2A).

Quando houve ausência de informações numa camada, utilizou-se a letra X para indicar tal fato e a impossibilidade de interpretação quanto ao tipo de estabilidade resultante.

As situações possíveis foram esquematizadas de maneira semelhante às frações, sendo que no numerador aparece o tipo de advecção de temperatura (F = fria e Q = quente) da camada 700-500 hPa, enquanto no denominador, colocou-se também o tipo de advecção de temperatura (F ou Q), porém, para a camada 850-700 hPa. Se não houve advecção, esse fato foi indicado por N, de nula.

Os tipos possíveis de estabilidade, resultantes das advecções de temperatura nas camadas 700/500 e 850/700 hPa, são:

$$\frac{F (700/500)}{F (850/700)} = \text{estabilidade neutra (N);}$$

$$\frac{F (700/500)}{Q (850/700)} = \text{instabilidade (I);}$$

$$\frac{F (700/500)}{N (850/700)} = \text{instabilidade (I);}$$

$$\frac{Q (700/500)}{F (850/700)} = \text{estabilidade (E);}$$

$$\frac{Q (700/500)}{Q (850/700)} = \text{estabilidade neutra (N);}$$

$$\frac{Q (700/500)}{N (850/700)} = \text{estabilidade (E);}$$

$$\frac{N (700/500)}{F (850/700)} = \text{estabilidade (E);}$$

$$\frac{N (700/500)}{Q (850/700)} = \text{instabilidade (I); e}$$

$$\frac{N (700/500)}{N (850/700)} = \text{estabilidade neutra (N)}$$

em que:

N significa Neutra;

I significa Instável; e

E significa Estável.

O grau de estabilidade total da atmosfera local, determinada por uma radiossondagem, é normalmente expresso sob a forma de um valor numérico simples, denominado índice de estabilidade, que serve como recurso auxiliar na previsão do tempo. Esse índice é de grande utilidade quando combinado com outros dados e considerações sinóticas. Utilizaram-se os índices de estabilidade de Showalter e Fator K para verificar suas relações com a precipitação em Viçosa, MG.

O método usual utilizado para a determinação do índice de Showalter, sobre um diagrama termodinâmico (Skew T Log P ou Stüve), foi o seguinte:

FASE 1 - Partindo do valor de temperatura (T_{850}) no nível de 850 hPa, traçou-se uma linha paralela às adiabáticas secas, ascendentemente até o Nível de Condensação por Levantamento (NCL).

FASE 2 - Partindo do NCL traçou-se uma linha paralela às adiabáticas úmidas, até o nível de 500 hPa; a temperatura nesse ponto de interseção à 500 hPa é chamada de "T'".

FASE 3 - Subtraiu-se, algebricamente, T' de T . O valor encontrado (incluindo o sinal) é o valor do Índice de Showalter. Índices com valores positivos indicam maior estabilidade de sondagem. Esse método é descrito no Manual de Análise do Diagrama "Shew T, Log P" (21).

Dessa forma:

$$IS = T_{500} - T' \quad \text{Eq. 4}$$

em que:

T_{500} é a temperatura no nível de 500 hPa.

A seqüência de valores para o Índice de Showalter (IS), para fins de previsão nos Estados Unidos, tem a seguinte forma:

- $IS \leq 3$ - probabilidade de pancadas com algumas trovoadas podem ser esperadas na área;
- $-2 < IS < 1$ - a probabilidade de trovoadas aumenta rapidamente
- $IS \leq -3$ - trovoadas severas;
- $IS < -6$ - possibilidade de ocorrências de tornados.

Não deve ser esquecido, no estudo, que a previsão do tempo severo deve ser examinada a partir de condições sinóticas, sendo o IS um recurso auxiliar apenas, que por si só não é muito fidedigno (35).

Bastante empregado nos centros de previsão do tempo como indicador da possibilidade de ocorrência de tempestades, o Fator K ou Índice K foi obtido pela fórmula:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + (TD_{850} - D_{700}) \quad \text{Eq. 4}$$

em que:

- K é o índice de estabilidade K;
- T_{850} é a temperatura do ar no nível de 850 hPa;
- T_{500} é a temperatura do ar no nível de 500 hPa;
- TD_{850} é a temperatura do ponto de orvalho no nível de 850 hPa;
- D_{850} é a depressão do ponto de orvalho no nível de 700 hPa.

A interpretação do valor algébrico do índice K é dada no Quadro 1.

QUADRO 1 - Categorias de Fenômenos Associados ao Fator K

K	Categoria do Fenômeno
$K \leq 20$	Nenhum; estabilidade da massa.
$20 < K \leq 25$	Possibilidade de cumulonimbus isolados.
$25 < K \leq 30$	Possibilidade de cumulonimbus esparsos.
$30 < K \leq 35$	Cumulonimbus esparsos.
$K > 35$	Numerosos cumulonimbus.

Introduziu-se nas análises de correlações o conceito empírico de "Índice de Contraste Subtropical-Polar" (ICSTP) em algumas correlações, definido como a soma dos módulos da mínima correlação da configuração localizada mais ao Sul, sobre o Oceano Atlântico, associada ao "APM", com a máxima

correlação da configuração localizada imediatamente ao Norte, associada ao sistema Oeste (jato subtropical)/borda S/SW do "ASAS". Esses pontos de mínima e máxima correlações foram designados por m e M , respectivamente, e contêm índices numéricos crescentes. Por exemplo, se numa dada correlação para uma determinada defasagem aparecem quatro configurações de correlação positiva, seus pontos de máxima correlação serão M_1 , M_2 , M_3 e M_4 , obedecendo à forma crescente dos valores de seus coeficientes de correlação.

O "ICSTP" fornece uma idéia do deslocamento desses sistemas subtropicais e polares, em analogia ao balanço do campo de pressão entre o "ASAS" e o "APM". Se o "ASAS" apresentar um valor de pressão atmosférica central, maior que o do "APM" haverá uma forçante no sentido de que este último seja bloqueado no seu deslocamento; caso contrário haverá uma tendência de deslocamento em direção às baixas latitudes.

3.2. *Dados de Superfície*

Para entendimento do que ocorre nas camadas inferiores da atmosfera, utilizaram-se os dados, chamados de superfície, que indicam os fenômenos ocorridos, além de outras informações ao nível de estação de observação.

As perturbações transientes e, principalmente, as perturbações de origem térmica na troposfera são detectadas, além das análises de altitude, por análises das grandezas meteorológicas ao nível da superfície. Tais análises constituem, pois, um elemento indicador do tempo significativo resultante

de perturbações atmosféricas associadas, por vezes, às condições fisiográficas locais.

Foram consultadas as cartas sinóticas de superfície, elaboradas pelo Departamento de Meteorologia das Telecomunicações Aeronáuticas Sociedade Anônima, para o período de estudo.

Para verificar os mecanismos causadores de fenômenos meteorológicos em Viçosa, MG, foram levantados os dados de precipitação daquela localidade, para o período de estudo, coletados pela Estação Climatológica Principal de Viçosa (83642) pertencente à rede do Instituto Nacional de Meteorologia, em convênio com a Universidade Federal de Viçosa.

Para dar maior consistência às análises de cartas sinóticas de superfície, foram consultadas as imagens do satélite NOAA-2, do visível e do infra-vermelho, contidas em microfílm do "Bureau of Meteorology" do "Australian Meteorological Center". Dessa forma, pode-se observar com mais detalhamento as características e o comportamento das perturbações transientes sobre a América do Sul, principalmente, das frentes frias, dia a dia, no período de estudo.

Uma interpretação climo-sinótica de mapas climatológicos, principalmente, os de precipitação pluviométrica de janeiro e julho, contidos no Atlas Climatológico de Minas Gerais, foi desenvolvida em associação ao conhecimento da circulação atmosférica de larga-escala.

Procedeu-se, também, à análise das Normais Climatológicas de Viçosa, com vistas a comprovar os regimes climáticos locais, decorrentes de situações sinóticas de macro-escala, sazonalmente.

Com o intuito de se ter uma idéia do comportamento da atmosfera sobre a região Sudeste do Brasil, da qual Minas Gerais faz parte, foram consultados os "Boletins Agroclimatológicos" do Instituto Nacional de Meteorologia. Dessa forma, o grau de intensidade dos sistemas sinóticos e os fenômenos adversos decorrentes para as regiões Sul e Sudeste puderam ser observados.

Análises das mensagens meteorológicas utilizadas para a aviação, METAR (Meteorological Airport Report), foram feitas para as estações do Galeão, RJ e Belo Horizonte, MG.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. *Análise Climatológica do Estado de Minas Gerais*

O Estado de Minas Gerais é caracterizado por grande diversidade de climas, dos úmidos aos semi-áridos, dos continentais quentes aos climas amenos montanhosos, originados, fundamentalmente, pelo fato de grande parte de seu território apresentar uma topografia bastante acidentada, com altitudes que oscilam de 250 m até valores superiores a 2.700 m. Toda essa diversificação fisiográfica interage com a circulação atmosférica, originando os vários microclimas existentes (1, 6, 11).

Com base nos argumentos acima, tentaram-se associar as configurações resultantes das análises de várias grandezas climatológicas, elaboradas para o Estado de Minas Gerais (9), com os sistemas meteorológicos de grande escala, para os meses de janeiro e julho, considerados representativos do verão e inverno, respectivamente.

No mês de janeiro, como já foi visto, Minas Gerais está

sujeito, principalmente, às penetrações de linhas de instabilidade que atravessam o Estado de Nordeste para Sudeste, muito embora possam atuar sistemas polares, os quais são menos freqüentes nessa época do ano.

Considerando o deslocamento das linhas de instabilidade ao se dirigirem para Sudeste, levadas pela circulação troposférica, depararam com barreiras topográficas que induzem um levantamento forçado do ar à barlavento, provocando precipitações do tipo convectiva. ^{DE ACORDO COM ESTUDOS REALIZADOS} Um dos mais elevados índices de precipitação total no Estado, para o mês de janeiro, ocorreu em Araxá, com mais de 300 mm, situada na Serra da Canastra, cuja altura é superior a 1.000 metros. Outros máximos de precipitação ocorrem próximo a Dimantina, Ouro Preto, São João del Rei, Oeste de Juiz de Fora e Varginha, todas com altitudes superiores a 1.000 metros, sujeitas a mecanismos idênticos ao que atua em Araxá. Importante ressaltar o fato das cidades localizadas ao Sul do Estado estarem sujeitas às linhas de instabilidade e também às poucas frentes frias que atuam mais perto do litoral nessa época do ano. Outra consideração se faz com relação a umidade presente numa localidade, seja por advecção ou seja por demanda atmosférica. Sua presença em elevados índices constitui um fator altamente favorável à intensificação tanto das linhas de instabilidade ou depressões barométricas, que se deslocam sobre a região, como dos sistemas convectivos locais, que se transformam em extensos cumulonimbus. Essas nuvens se desenvolvem durante o dia, atingindo o estágio de maturação ao final da tarde, ocasionando precipitação com pancadas de chuvas, trovoadas e rajadas.

Pequenas áreas, ou núcleos isolados, de máxima precipitação também ocorrem no mês de janeiro, próximas a Caxambú e Poços de Caldas. Seus mecanismos causadores parecem estar ligados à orografia, resultando em formações e fortes atividades bem localizadas. O regime pluviométrico de todo Estado apresenta, portanto, uma grande variabilidade espacial devido, principalmente, aos fatores topográficos.

Atentando às outras situações particulares, destaca-se uma região bastante seca, localizada ao Norte/Nordeste do Estado, próxima ao Vale do Jequitinhonha, apresentando índice de umidade relativa média mais baixo que as regiões vizinhas, além de elevada temperatura máxima média. Observa-se que nessa região os fatores são desfavoráveis para a formação de nuvens, daí a característica no Vale do Jequitinhonha de baixos índices de precipitação total anual. Interessante mencionar também a presença de um núcleo de máxima precipitação no prolongamento do referido vale, em direção a Oeste, entre Grão Mongol e Montes Claros. O Vale do Jequitinhonha atua, pois, como um duto, escoando o ar que é proveniente da borda Noroeste do "ASAS" e que ao deparar com a Serra do Espinhaço é elevado adiabaticamente, formando nuvens e conseqüente precipitação.

As frentes frias raramente atingem o interior do Estado, no verão, limitando suas atuações ao litoral, deslocando-se em seguida para o Oceano Atlântico. Quando ocorrem situações de bloqueio pelo Anticiclone do Atlântico Sul, as frentes frias mantêm-se semi-estacionárias sobre a região Sudeste, num processo de regeneração aparente, ou ocorre um "retorno

de frente". Isso se explica porque a frente, mantendo-se estacionária, perde energia, mas o escoamento de vapor proveniente do litoral ao transpor a Serra do Mar fica aprisionado. Havendo um desequilíbrio temporário do Anticiclone do Atlântico Sul, essa concentração de vapor poderá ser advectada na direção Sudeste, como se fosse uma frente quente, causando chuvas que cessam péla madrugada. Essa umidade concentrada pode, também, ser advectada para o interior do continente, provocando precipitações intensas.

No inverno, com o resfriamento do continente e o fortalecimento dos anticiclones polares, as frentes frias são os únicos mecanismos capazes de provocar chuvas significativas em Minas Gerais e, muitas vezes, chegam a alcançar latitudes bem baixas. Entretanto, ao deslocar-se, a massa polar vai se tornando cada vez mais seca; com isso, a precipitação é escassa, exceto nas cotas mais altas onde a presença de umidade é elevada, facilitando os processos pluviais (9).

Partindo dessas considerações gerais, a um nível de situações locais, em Minas Gerais, pode-se verificar, por exemplo, que no inverno o Estado apresenta-se praticamente num regime de ausência de precipitações, excetuando algumas regiões mais próximas do limite com o Espírito Santo, as localizadas em Teófilo Otoni, a Sudeste de Caratinga, a Nordeste de Muriaé e ao Sul de Caxambú. Essas regiões, com precipitações máximas de 30 ou 40 mm em julho, bordejando a parte Leste do Estado, estão localizadas em regiões elevadas, acima de 500 metros, e dispostas de tal maneira que estão sujeitas aos efeitos de circulação dos sistemas polares mais intensos

e à atuação das próprias frentes frias.

Destacam-se também nessa análise o posicionamento da Serra da Mantiqueira, Serra dos Aimorés, Serra da Canastra, em Minas Gerais, associadas às Serras do Mar e dos Órgãos, que exercem uma barreira aos sistemas frontais. O ar frio ao se elevar nesses relevos se resfria mais ainda, condensando quase todo o vapor, porventura existente ou advectado, fazendo que o ar ainda frio que transpõe essas barreiras atinja o interior do continente seco e menos frio. Em termos de precipitação, o interior do continente apresenta os valores médios para o mês de julho, inferiores a 15 mm, observando-se valores menores que 5 mm numa extensa faixa entre as Serra dos Pilões, Serra da Canastra, Grande Sapucaí e Serra do Espinhaço, que contêm o Rio São Francisco.

Pag 82 (anexo TISE)
 Pode-se constatar, a partir de uma visão regionalizada, que a combinação de parâmetros meteorológicos com o relevo e com os sistemas de escala sinótica resulta numa condição climática local. Partindo dessa idéia, cabe agora aprofundar o conhecimento sobre cada localidade do Estado, de modo a conhecer sua climatologia local. Como tal estudo requer um nível de detalhamento muito grande, demandando muito tempo e pessoal, tomou-se para exemplificação do processo os dados climatológicos normais (1931-1960) da Estação Climatológica Principal de Viçosa (83642), elaborados pela Universidade Federal de Viçosa, através do Departamento de Engenharia Agrícola (Quadro 2).

O primeiro elemento a ser discutido, localizado na primeira coluna do Quadro 2, é a pressão atmosférica. Observa-

QUADRO 2 - Normais Climatológicas de Viçosa, MG

CLIMATOLOGIA																
Estação: VIÇOSA		Estado: Minas Gerais				Período: 1931 a 1960										
Latitude: 20° 45' S		Longitude: 42° 51' W				Altitude: da estação (Rp): 631,00 m da cota do barômetro (Ds): 652,00 m										
MÊSES	A T M O S F E R I C A (mb)	TEMPERATURA DO AR (°C)						C O M P E N S A D A (°C)	R E L A T I V I D A D E (%)	PRECIPITAÇÃO			E V A P O R A Ç Ã O (mm)	I N D I C E M E T E O R O L Ó G I C O (horas x décimas)	C U C U B A D O (mm)	
		Máxima		Mínima		Total	Máxima em 24 horas									
		absoluta		absoluta			Altura (mm)			Altura (mm)	Data					
		Graus	Data	Graus	Data											
Janeiro	937,8	29,0	17,4	35,2	17/1954	12,2	10/1955	22,1	81,0	7,2	232,7	169,8	27/1952	54,1	171,4	15
Fevereiro	938,1	28,8	17,4	34,0	2/1952	12,2	21/1955	22,0	81,1	7,1	174,0	173,2	19/1948	52,0	170,4	13
Março	938,8	27,8	17,2	32,0	22/1958	11,4	22/1954	21,4	82,8	7,1	155,8	129,0	27/1951	56,6	168,0	16
Abril	940,6	26,2	14,8	31,4	17/1955	6,2	27/1955	19,5	82,9	6,4	66,1	52,0	10/1953	47,0	160,4	8
Mai	942,2	24,0	12,0	26,8	24/1953	3,0	26/1955	17,1	83,1	5,6	29,4	61,8	31/1941	44,0	160,7	5
Junho	943,7	22,2	9,5	29,4	24/1950	0,0	10/1955	15,4	82,4	5,3	20,1	28,4	18/1952	42,6	157,4	3
Julho	945,1	22,4	5,0	28,5	18/1955	0,8	8/1958	15,0	78,7	5,3	11,6	28,4	20/1941	47,8	152,4	4
Agosto	946,0	24,6	8,2	32,2	28/1952	1,2	8/1951	16,0	76,5	4,7	11,5	47,8	12/1947	62,7	155,1	2
Setembro	941,9	25,8	12,4	32,8	24/1954	2,4	1/1956	18,2	75,8	5,8	49,5	62,0	24/1936	67,4	141,2	6
Outubro	939,3	26,5	15,1	34,8	23/1945	4,0	6/1955	19,8	76,9	7,3	124,1	72,6	20/1946	63,4	137,7	12
Novembro	937,5	26,7	16,2	32,4	21/1958	7,8	11/1953	20,7	79,1	7,6	182,2	107,5	14/1940	26,1	127,2	25
Dezembro	937,3	27,4	17,1	32,0	1/1955	10,0	7/1954	21,2	81,4	7,5	283,2	78,4	2/1943	51,0	122,7	20
ANO	940,6	26,1	14,0	35,2	-	0,0	-	19,0	80,0	6,5	1342,2	173,2	-	650,0	1924,7	120

FONTE: Departamento de Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa.
Ministério da Agricultura - Instituto Nacional de Meteorologia.

se um aumento gradual a partir de janeiro, cujo valor é de 937,8 mb, atingindo um máximo em julho (945,1 mb), daí diminuindo até atingir o mínimo anual em dezembro, com 937,3 mb. Essa variação está intimamente ligada com a característica sazonal do sistema atmosférico dominante sobre o Brasil, conforme será visto adiante. Pode-se constatar que o mês de abril apresentou a condição média anual em termos de pressão atmosférica, visto o valor da pressão daquele mês ser igual ao da média anual.

Em termos de temperatura do ar, o Quadro 2 apresenta variações daquele parâmetro, quais sejam: média das máximas, média compensada, média das mínimas, máxima absoluta e mínima absoluta; essas duas últimas com as devidas datas de suas ocorrências. Para a média das máximas, observou-se um valor

máximo de $29,0^{\circ}\text{C}$ para o mês de janeiro e um valor mínimo de $23,2^{\circ}\text{C}$ para o mês de junho. Essa amplitude anual de $5,8^{\circ}\text{C}$, aparentemente pequena, é bastante significativa em termos de aquecimento da região. A média das mínimas, por sua vez, mostrou um valor máximo de $17,4^{\circ}\text{C}$ para os meses de janeiro e fevereiro e um valor mínimo de $9,0^{\circ}\text{C}$ para o mês de julho, caracterizando um verão com madrugadas relativamente amenas e um inverno com noites e madrugadas relativamente frias. A máxima absoluta de temperatura em Viçosa ocorreu em 17 de janeiro de 1956, onde foi atingido o valor de $35,2^{\circ}\text{C}$. Em se tratando do verão, esse valor, apesar de ser superior ao da média compensada, que foi de $22,1^{\circ}\text{C}$, não surpreende tanto como a situação do mês de julho, que teve no dia 18 do ano de 1935 o valor de $28,5^{\circ}\text{C}$, ou $13,5^{\circ}\text{C}$ acima da média compensada. São casos em que a atmosfera deve ter apresentado anomalias, sendo merecedores de um estudo mais detalhado. No tocante às mínimas absolutas, observou-se que os meses de janeiro e fevereiro foram contemplados com o máximo das mínimas de $12,2^{\circ}\text{C}$, nos dias 10 e 21, dos anos de 1935 e 1955, respectivamente. A mínima das mínimas ocorreu em 10 de junho de 1933 e teve o valor de $0,0^{\circ}\text{C}$. Interessante destacar que o ano de 1956 contemplou, em setembro, tanto a máxima absoluta de $33,8^{\circ}\text{C}$, como a mínima absoluta de $2,6^{\circ}\text{C}$. A média compensada apresentou característica semelhante à das demais variáveis de temperatura, tendo um máximo de $22,1^{\circ}\text{C}$ em janeiro e um mínimo de $15,0^{\circ}\text{C}$ em julho.

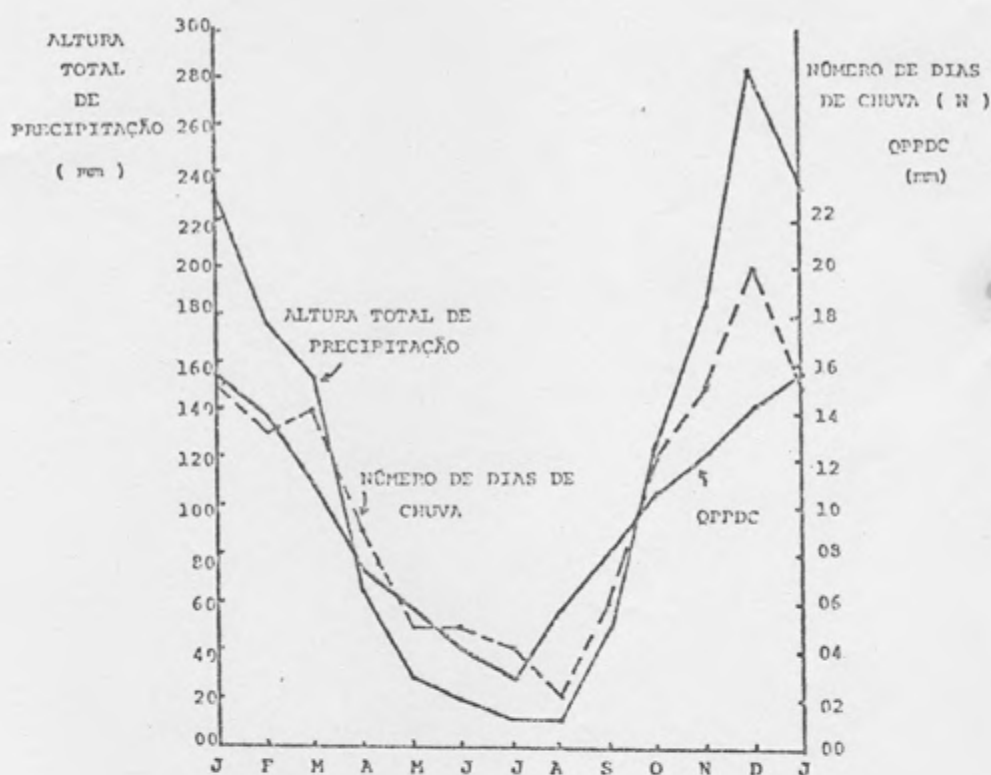
As normais das alturas totais de precipitação caracterizam nitidamente o trimestre novembro/dezembro/janeiro como o

mais chuvoso, detendo 699,1 mm, sendo que o mês de dezembro contribuiu com o máximo (283,3 mm). O trimestre menos chuvoso foi o de junho/julho/agosto, com 43,2 mm, sendo o mês de agosto, apresentando o total de 11,5 mm, o menos chuvoso. Somente por observação dos dados apresentados já se pode notar que Viçosa apresenta durante o ano um período chuvoso e um período, praticamente, seco, que devem ser justificados pelos mecanismos de circulação atmosférica.

A coluna referente à máxima precipitação em 24 horas mostra que, apesar de anômalos, os valores obedecem, em linhas gerais, a característica normal anual, com um período de máximo e um período de mínimo valores, excetuando-se a máxima do mês de novembro. Destaque pode ser dado às situações dos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, ocorridas em datas diversas, cujos valores de precipitação em um dia ultrapassaram a altura total do referido mês, caracterizando, portanto, situações de extrema anomalia.

O Quadro 3 mostra o desvio de máxima em 24 horas em relação à média por dia de chuva, em cada mês. Nota-se que o mês de fevereiro, o quarto mais chuvoso do ano, é imediatamente após o trimestre mais chuvoso, formando, pois, o quadrimestre mais chuvoso, apresentou no dia 19 de 1948 um total de precipitação 1.182,9% a mais do que a quantidade de precipitação média para um dia de chuva. Esse índice, pelo menos até 1960, certamente deve evidenciar uma possível catástrofe registrada na história do Município de Viçosa. De fato, ocorreu o rompimento de uma das barragens na cidade, ocasionando grandes inundações.

A Figura 12 mostra o número de dias de chuva média, para cada mês do ano, em associação com a altura de precipitação total e a quantidade precipitada para um dia de ocorrência de chuva. Como as escalas são diferentes, pode-se tirar apenas idéias qualitativas de seus componentes, embora em conjunto, sendo que uma das observações é que todos os parâmetros plotados relativos à precipitação seguem a característica anual de uma estação chuvosa no verão e uma estação pouco chuvosa, ou seca, nos meses de inverno.



Quantidade Precipitada por Dia de Chuva
- QPPDC -

FIGURA 12 - Normais Climatológicas da Altura Total da Precipitação e do Número de Dias de Chuva em Viçosa, MG (FONTE: Departamento de Engenharia Agrícola - UFV).

Serão discutidos, a seguir, os comportamentos da umidade relativa do ar, da evaporação e da nebulosidade, que são mostrados na Figura 13. A evaporação, na verdade, seria melhor designada por poder evaporativo do ar, visto ter sido baseada em leituras no Evaporímetro de Pichê.

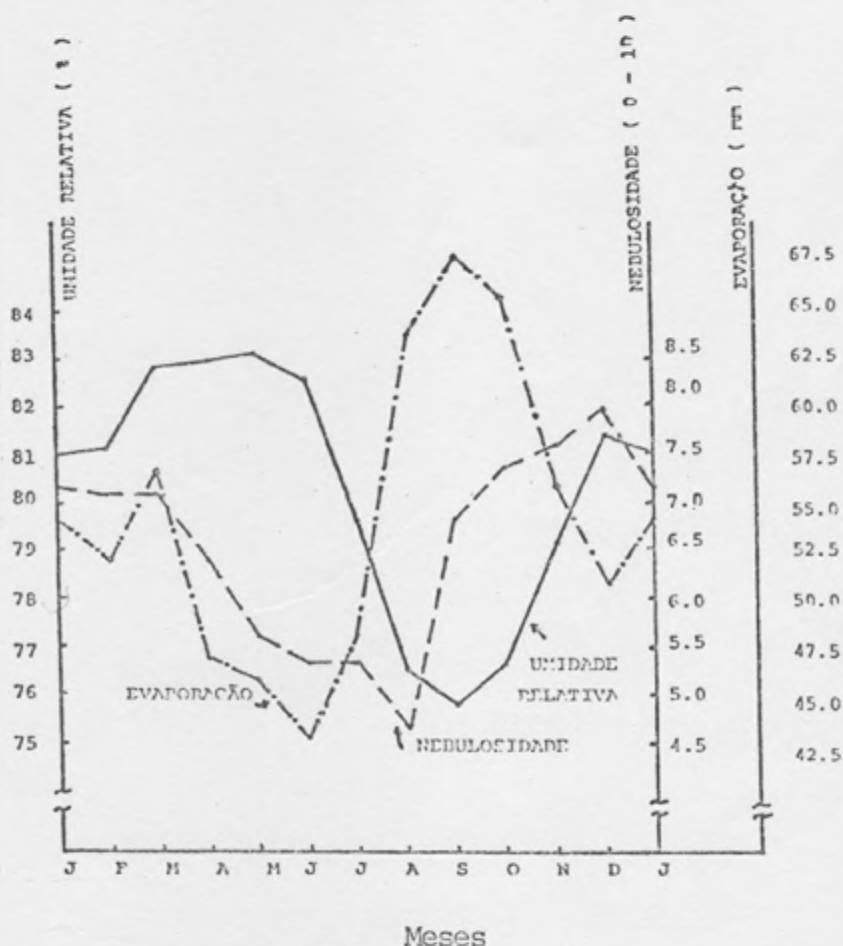


FIGURA 13 - Normais Climatológicas do Total de Evaporação, Nebulosidade e Umidade Relativa em Viçosa, MG (FONTE: Departamento de Engenharia Agrícola - UFV).

Inicialmente, na análise da umidade relativa, observa-se um elevado índice daquele parâmetro, durante o ano. O

comportamento observado é de maiores valores de umidade relativa nos meses mais quentes e chuvosos (nebulosos), com poder evaporativo razoavelmente elevado, enquanto os mínimos ocorrem entre agosto e outubro, praticamente do inverno para a primavera, os meses mais frios e relativamente secos (menor nebulosidade), mas com elevada demanda de vapor para a atmosfera. A nebulosidade, por isso, mostra-se com índice mais elevado no verão, principalmente, no trimestre novembro/dezembro/janeiro, onde, no mês de dezembro, o céu encontra-se com 79% de cobertura de nuvens ou em outras palavras, nublado.

Ao se tentar uma análise isolada, por exemplo, do poder evaporativo, verificou-se que o seu comportamento durante o ano foi bastante peculiar, pois, apresentou três máximos e três mínimos. A explicação para esses picos, evidentemente, deve estar associada ao comportamento de outros parâmetros meteorológicos, bem como ao número de dias do mês.

Observando, novamente, o Quadro 2, as normais da média das mínimas e da altura total de precipitação, verifica-se que esses parâmetros adquirem os maiores valores também nesse mesmo trimestre, enquanto outros parâmetros meteorológicos, tais como a média das máximas temperaturas e a média compensada de temperatura, não apresentam os meses de novembro/dezembro/janeiro como o mais intenso, muito embora, nesse período, seus valores terem se apresentado relativamente elevados.

Parece evidente, então, que as características climatológicas para o trimestre em foco são decorrentes da

combinação dos parâmetros locais, superficialmente discutidos, muito embora alguns desses sejam oriundos de regiões distantes de Viçosa, em função dos sistemas sinóticos dominantes. Notadamente, a convergência do escoamento de Noroeste do ciclone continental (Baixa do Chaco), centrado próximo a $28^{\circ}\text{S}/65^{\circ}\text{W}$, com o escoamento do Norte/Nordeste decorrente do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que encontra-se pronunciado sobre a parte Leste do Brasil, resulta num corredor de chuvas fortes desde a Bacia Amazônica na direção de São Paulo, em janeiro, conforme apreciado por NISHIZAWA e TANAKA (29).

Portanto, apesar de Viçosa estar situada a cerca de 200 km do Oceano Atlântico pelo litoral do Rio de Janeiro (em $22^{\circ}20'\text{S}$) e Sul do Espírito Santo (em $21^{\circ}5'\text{S}$), o vapor d'água (elemento básico para a efetivação de todos os processos atmosféricos), que é recebido, provém do Oceano Atlântico, predominantemente de seu setor mais equatorial, onde os alíseos desempenham o papel de agentes transportadores do ar marítimo para o interior do continente, até a altura da Bacia Amazônica, de onde é conduzido pelo citado duto de convergência para direção SE. Esse ar tropical úmido, portanto instável, interagindo com outros fatores (calor e topografia), pode originar situações de tempo mais severas ao longo de seu percurso.

A Figura 14 mostra o comportamento anual da radiação solar global e do brilho solar (número total de horas de brilho do sol) em Viçosa. Observa-se claramente uma inversão de comportamento das duas curvas, de abril até dezembro.

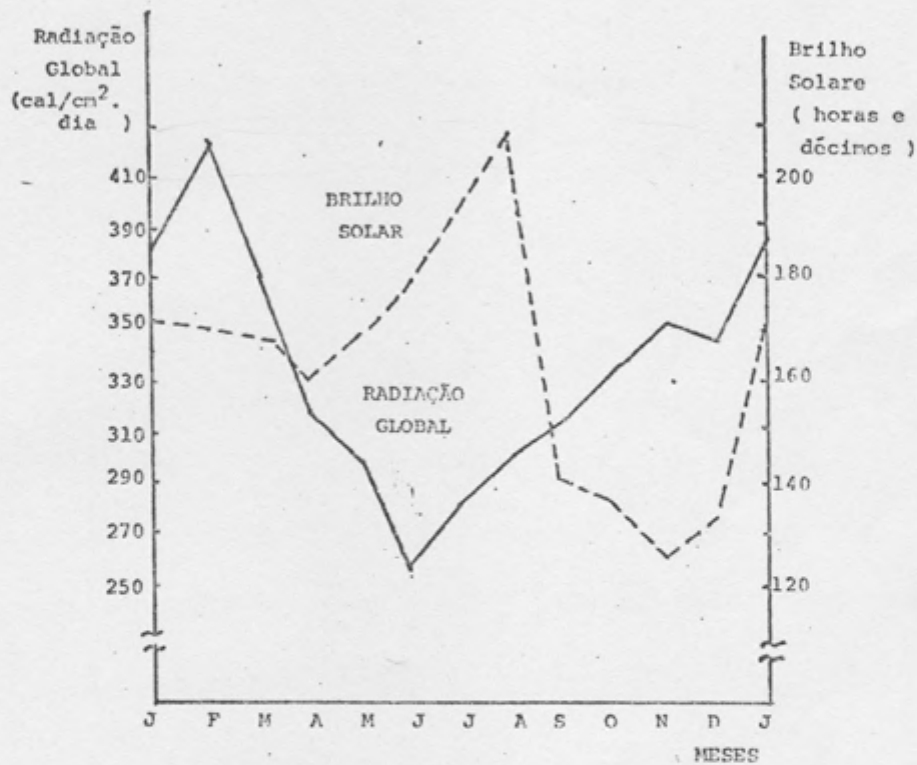


FIGURA 14 - Normais Climatológicas do Brilho Solar e Radiação Global em Viçosa.
(FONTE: Departamento de Engenharia Agrícola-UFV).

Isso se deve ao afastamento relativo do sol para o Norte e do maior número de horas do brilho solar face à redução ou à ausência de nebulosidade até agosto; daí em diante, como o sol já retorna para o Sul, ocorre um aumento na radiação global, enquanto o aumento de nebulosidade acarreta redução do brilho solar à superfície. Um ponto a destacar na curva de radiação global é a sua redução de novembro para dezembro. Essa tendência está diretamente ligada à máxima nebulosidade, impedindo que parte da radiação solar atinja a superfície. Comparando a curva de radiação solar dessa figura com a curva da altura total de precipitação da Figura 12, observa-se um comportamento semelhante de fevereiro até novembro, exceto uma defasagem de dois meses em relação ao mínimo. Para explicar esse comportamento evoca-se a Figura 13; constata-se que o mínimo de precipitação coincide com um mínimo de nebulosidade, enquanto o mínimo de radiação global ocorre em junho, época em que o sol está no máximo de inclinação em relação ao zenite. O poder evaporativo, chamado de evaporação, é mínimo também no mesmo mês em que a radiação global é mínima. O mês de dezembro mostra-se, nas figuras citadas, como um mês peculiar, em que a máxima nebulosidade e a máxima precipitação concorrem para alterações nas outras grandezas.

Outro fator que merece ser investigado é a direção e a intensidade médias do vento, haja vista sua influência no processo evaporativo. Essa apreciação já serviu para destacar a importância do conhecimento da variabilidade dos parâmetros atmosféricos em outras escalas de maiores dimensões, levando-se em consideração também os sistemas fisiográficos.

4.2. Fenômenos Meteorológicos Gerais, Ocorridos nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil

Verificou-se que para o mês de janeiro os fenômenos adversos registrados foram ligados às chuvas e às ventanias. Normalmente, nessa época do ano, os fenômenos ocorridos nessas áreas estão associados às penetrações de massa polar, com suas linhas de instabilidade não pré-frontais, ou às linhas de instabilidade tropicais (22).

Para o mês de julho pode-se perceber um maior número de fenômenos adversos, principalmente geada e neve. No ano de 1974 oito localidades, em três Estados do Sul do Brasil, registraram a ocorrência de geadas. Em 1975, 40 localidades registraram o mesmo fenômeno, enquanto em 1976, foram 22. Esses números mostram que o mês de julho de 1974 teve o menor número de ocorrência de geadas, enquanto o de 1975 registrou o fenômeno em um maior número de localidades, significando, nesse último ano, que os sistemas polares estiveram mais intensificados que nos anos anteriores (23). A ocorrência de neve também foi registrada nos anos de 1975 e 1976, sendo que o ano de 1975 teve maior número de ocorrências (24, 25, 26, 27).

Notou-se que os fenômenos adversos ocorridos na região Sul do Brasil, eram, na sua maioria, devidos às massas de ar de origem polar. Esses fenômenos esporadicamente ocorrem na região Sudeste, devido às transformações ocorridas na massa de ar ao se deslocar em direção às baixas latitudes. Esses sistemas podem atingir o Estado de Minas Gerais, causando

chuvas, trovoadas e baixando a temperatura, contudo, sem risco de ocorrência dos fenômenos adversos, tais como aqueles que ocorrem no Sul do Brasil.

Com relação aos sistemas transientes que atuaram em Minas Gerais, no período de estudo, pode-se, a partir de consultas às cartas sinóticas, elaborar um quadro sintético (Quadro 3A) das freqüências das LIT e FF, em janeiro e em julho. Nele, pode-se ver claramente o predomínio marcante de LIT no verão, enquanto no inverno predominam as frentes frias(9). Um detalhe importante pode ser percebido: apesar dos números de frentes frias atuantes em Minas Gerais, em janeiro de 1974, 1975 e 1976, terem sido praticamente os mesmos, nesse último ano o regime de precipitação em Viçosa foi menor, significando que outros mecanismos atuaram de modo a inibir tais processos.

4.3. *Características de Parâmetros Meteorológicos de Superfície, nos Dias de Ocorrência de Tempo Severo, sobre Minas Gerais*

O Quadro 4 compara as médias de valores de temperaturas extremas ocorridas nos Aeroportos do Galeão (GL) - Rio de Janeiro e Pampulha (BH), nos meses de janeiro e julho, para os anos de 1974, 1975 e 1976.

Nota-se que o Aeroporto do Galeão registrou média das máximas em torno de 31°C para o mês de janeiro, enquanto Belo Horizonte registrou cerca de 29°C . Em julho, a média das máximas temperaturas no Galeão teve o valor de $25,4^{\circ}\text{C}$; para Belo Horizonte o valor médio foi de $24,0^{\circ}\text{C}$, para os três anos

QUADRO 4 - Média das Temperaturas Extremas Ocorridas nos Aeroportos do Galeão (SBGL) e Pampulha (SBBH), nos Meses de Janeiro e Julho de 1974, 1975 e 1976

MÊS	ANO	GALEÃO		BELO HORIZONTE	
		MÉDIA			
		MÁXIMAS	MÍNIMAS	MÁXIMAS	MÍNIMAS
JANEIRO	74	31.9	23.1	28.6	19.8
	75	30.1	22.4	28.1	19.3
	76	32.9	23.9	30.3	19.7
	MÉDIA	31.7	23.2	29.0	19.6
JULHO	74	26.8	17.1	24.4	11.0
	75	24.4	16.0	23.6*	11.8
	76	24.9	16.9	24.2	12.8
	MÉDIA	25.4	16.7	24.1	11.9

FONTE: TASA.

* - 29 dias de observação.

de estudo. As diferenças ocorridas chegaram a atingir $2,6^{\circ}\text{C}$ para janeiro e $1,3^{\circ}\text{C}$ para julho, não representando uma expressiva diferenciação desse parâmetro entre as duas localidades.

Para a média das mínimas já se observa uma diferença mais significativa no verão entre o Galeão e Belo Horizonte, enquanto no inverno tornou-se muito mais pronunciada. A proximidade do oceano e a altitude parecem os principais fatores que conduzem a essas diferenças.

Outras análises também foram feitas com o objetivo de detectar as características prevaletentes de vários parâmetros meteorológicos, em vários horários, quando da ocorrência

de trovoadas e relâmpagos sobre o Aeroporto de Belo Horizonte, para o mês de janeiro, quando as formações convectivas, associadas aos sistemas tropicais, são mais comuns do que os sistemas polares sobre a região.

Considera-se, então, que a estação de Belo Horizonte seja uma amostra do Estado de Minas Gerais para esses fenômenos, e espera-se que as características obtidas possam servir, associadas às informações de altitude, para a elaboração de um modelo de condições favoráveis à ocorrência de tempo severo com presença de cumulonimbos.

O Quadro 4A mostra a estatística dos valores da temperatura à superfície das 09:00, 12:00, 15:00 e 18:00 UTC, para Belo Horizonte, ocorridos nos dias que houve trovoadas e/ou relâmpagos, para os anos de 1974, 1975 e 1976. Desse quadro, pode-se concluir que, em dias de trovoadas associadas aos sistemas tropicais ou, em outras palavras, às instabilidades da própria massa de ar, as temperaturas predominantes de 09:00, 12:00, 15:00 e 18:00 UTC foram 20, 25, 29,5 e 30°C, respectivamente. Esse grupo de informações é insipiente para servir como indicador para ocorrência dos fenômenos citados, havendo necessidade de associar outros parâmetros.

O Quadro 5A mostra as predominâncias das máximas e mínimas temperaturas, bem como as horas preferenciais de suas ocorrências. Conclui-se que a temperatura máxima ocorreu em torno das 18:00 UTC e tem os valores predominantes de 29 e 30°C, pelo que considera-se o de 30°C. Para a temperatura mínima, a hora preferencial de sua ocorrência, em janeiro, é às 06:00 UTC, com o seu valor predominante de 20°C. Portanto,

uma amplitude térmica de 9°C ocorreu, em média, em um dia de trovoadas e/ou relâmpagos, já servindo como um indicador a mais.

A hora predominante do início do fenômeno considerado pode ser tirada do Quadro 6A, que mostra a estatística das horas de início de relâmpago e/ou trovoadas, para o mês de janeiro, dos anos em estudo. Nota-se, pois, que o horário preferencial situou-se entre 22:00 e 23:00 UTC. Comparando o número de ocorrências do fenômeno em termos anuais, verifica-se que o ano de 1974 apresentou índice maior.

O Quadro 7A mostra a direção predominante do vento, ocorrida nas três horas precedentes, na hora de ocorrência de trovoadas e/ou relâmpago e uma hora após, para a estação de Belo Horizonte (SBBH). Conclui-se pela análise do referido Apêndice, que o vento apresentou-se, na maioria dos casos, calmo em todos os cinco horários. No entanto, observada a segunda predominância verificou-se uma mudança de interpretação. Nesse caso, os quatro horários (três antecedentes e o de ocorrência do fenômeno) apresentaram vento proveniente do octante compreendido entre as direções Norte e Nordeste. No entanto, uma hora após ter ocorrido a primeira trovoadas e/ou relâmpago, o vento passou a soprar do octante compreendido entre as direções Sul e Sudoeste, caracterizando um giro de cerca de 180° . Esse giro é característico da mudança de direção do vento em superfície, sempre que pelo local passar um Cumulonimbus (Cb).

4.4. *Análise das Características do Ar Superior em Minas Gerais*

O Estado de Minas Gerais atualmente é desprovido de estações de lançamento de radiossondas, sendo que as estações mais próximas são: Galeão (83746), no Rio de Janeiro, São Paulo (83780), em São Paulo e Brasília (83378), no Distrito Federal.

Considerando que uma radiossondagem tenha uma validade de interpretação para um raio de 300 km, pode-se observar que a sondagem do Galeão é significativa também para Viçosa e a zona Sul do Estado, atingindo parte da Mantiqueira e da Serra dos Aimorês, enquanto que a sondagem de São Paulo é representativa para o extremo Sul do Estado, abrangendo Caxambu e Muzambinho. A sondagem de Brasília, por sua vez, abrange perto do Oeste do Estado, englobando a parte dos Pilões. Portanto, Minas Gerais, mesmo com o somatório dessas pequenas coberturas por parte das estações de Galeão, Brasília e São Paulo, é descoberta de informações de ar superior, em sua maior parte.

Empregou-se as estações do Galeão (SBGL) e de Brasília (SBBR) para verificar a validade de se considerar, mesmo rudemente, Viçosa como uma situação intermediária dessas localidades. Utilizou-se, pois, os dados de radiossondagens de Brasília e do Galeão para os meses de janeiro e julho dos anos de 1975, 1975 e 1976. Os dados de radiossondagem de São Paulo não estiveram disponíveis.

A Figura 15 mostra o mapa de Minas Gerais, delimitando

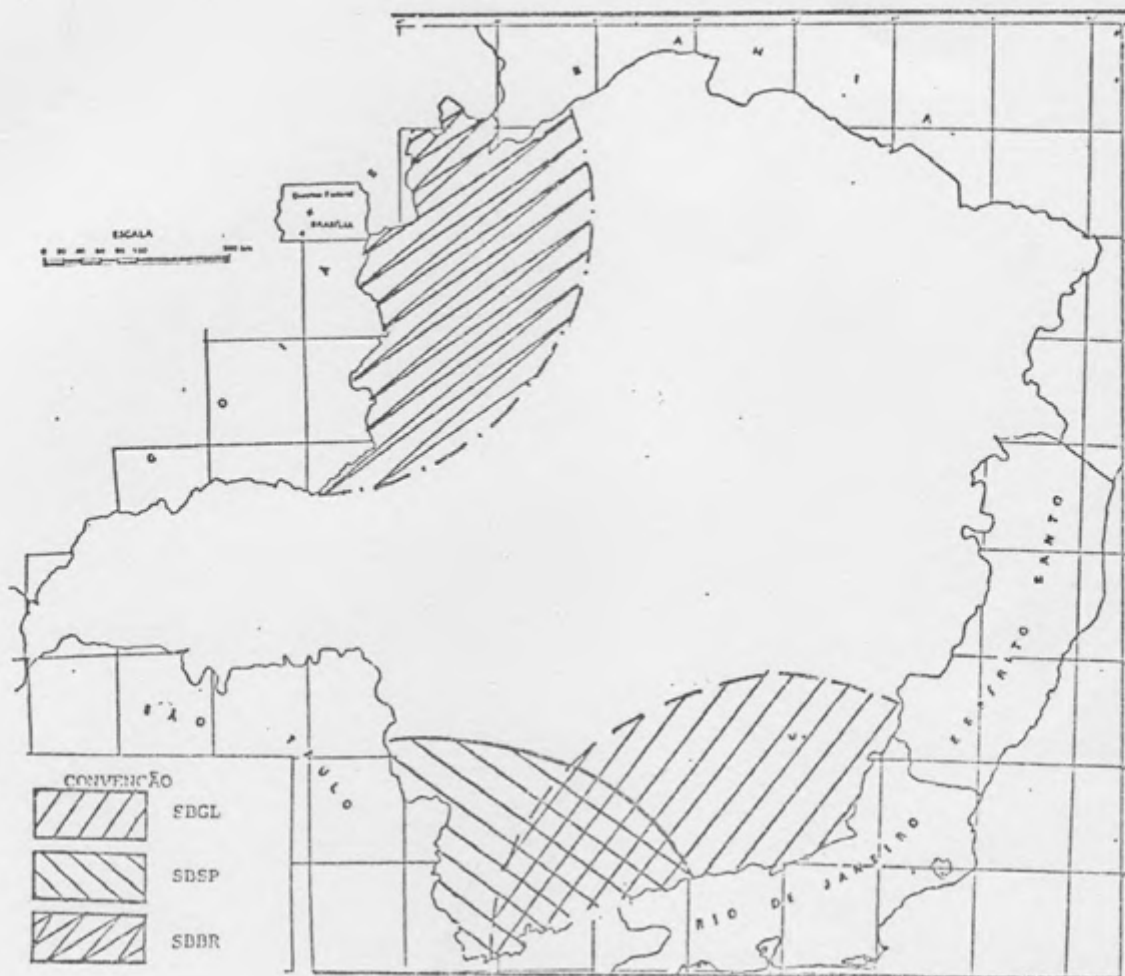


FIGURA 15 - Mapa de Minas Gerais Mostrando a Área de Abrangência de Cada uma das Estações de Radiossondagens.

as áreas de abrangência das radiossondagens efetuadas pelo Galeão e Brasília. Viçosa, como pode ser observado, está contida na área coberta pelo Galeão.

4.4.1. Características do Vento em Altitude, nos Dias de Ocorrência de Tempo Severo, em Minas Gerais

Considerando que no verão o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul atue na parte Leste do continente, presume-se que sobre essa região as características em um determinado

nível na atmosfera sejam semelhantes, concorrendo, fora os efeitos locais, para um mesmo tipo de tempo significativo originado por sistemas migratórios de meso-escala ou pela própria instabilidade da massa. As localidades de Brasília e Galeão, dominadas no verão pelo referido sistema subtropical, são utilizadas para constatar se ocorre similaridade de "condições de tempo". Foram, então, determinadas as predominâncias do vento nos níveis de 850, 700 e 500 hPa, nos dias em que foram registradas trovoadas e/ou relâmpagos, a partir de dados de radiossondagens efetuados pelas estações do Galeão (SBGL) e Brasília (SBBR), às 12:00 UTC, para janeiro, dos anos de 1974, 1975 e 1976, detalhadas no Quadro 8A. Observa-se que, no nível de 850 hPa, o vento registrado sobre o Galeão e Brasília eram predominantemente de N/NW. O nível de 700 hPa mostrou para o Galeão um vento predominante de W/NW, enquanto para Brasília apresentava procedência preferencial de N/NE. No nível de 500 hPa, os octantes WN/W e N/NW eram de origem preferencial dos ventos sobre o Galeão, sendo que para Brasília, a predominância era de ventos de E/SE, seguida dos ventos de N/NE.

A circulação sobre Brasília e Galeão em 850 hPa em janeiro, nos anos de estudo, ajusta-se perfeitamente com a circulação média sobre aquelas localidades obtidas por NISHIZAWA e TANAKA (29). KREUELS *et alii* (17), estudando a circulação troposférica média sobre a América do Sul, nas estações extremas, obtiveram configurações que confirmam os ventos predominantes obtidos para o Galeão, em primeira predominância, nos níveis 700 e 500 hPa, enquanto para Brasília houve

ajustamento com o vento de primeira predominância em 700 hPa e o de segunda predominância em 500 hPa. O fato do referido ajustamento sô ter ocorrido em segunda predominância, deve-se à ausência de 10 informações das 38 utilizadas para a estatística.

O Quadro 5 mostra para cada parâmetro analisado sua maior freqüência, ao que supõe-se constituir as condições médias que ocorrem em dias de trovoadas e/ou relâmpagos, associadas à instabilidade de massa, em janeiro, em Belo Horizonte (SBBH).

4.4.2. *Análise da Estabilidade Atmosférica*

A atmosfera, como um fluido, está sujeita a perturbações em seu escoamento, cuja origem pode ser dinâmica ou térmica. Essas perturbações (ou a estabilização do ar) são fatores indutores nas condições de tempo, o que torna sua determinação um elemento importante para a previsão do tempo.

Dos graus de estabilidade que Brasília e Galeão estavam sujeitos, no período de estudo, mostrados qualitativamente nos Quadros 1A e 2A, elaborou-se o Quadro 6, que oferece uma visão quantitativa, tornando possível interpretações quanto ao seu equilíbrio mecânico.

Uma massa de ar é considerada em equilíbrio estável, ou simplesmente estável, se uma parcela de ar em seu interior for deslocada e na nova posição estiver sujeita a forças que tendem a reconduzi-la a sua posição inicial. Se, ao contrário, na nova posição, a parcela estiver sujeita a forças que

QUADRO 5 - Parâmetros Atmosféricos Predominantes nos Dias de Ocorrência de Trovoadas e/ou Relâmpagos, em Belo Horizonte

Local	Nível	Parâmetro	Hora	Valor				
				I	II	III	IV	
BS	Superfície	Temperatura	09:00	20,3				
			12:00	25,3				
			15:00	28,5				
			18:00	30,3				
			Temperatura Máxima	18:00	30,3			
			Temperatura Mínima	06:00	20,3			
			Início do Fenômeno	22:00 / 23:00				
			Direção do Vento	3 Antes 2 Antes 1 Antes Fenômeno 1 Após	Calm Calm Calm Calm Calm	N/NE N/NE N/NE N/NE E/SW	E/SE S/SW	W/NW
	GL	850 hPa	Direção do Vento	12 Horas	N/NW			
		700 hPa		12 Horas	W/NW			
		500 hPa		12 Horas	W/NW			
	ER	850 hPa	Direção do Vento	12 Horas	N/NW			
700 hPa			12 Horas	N/NE				
500 hPa			12 Horas	E/SE				

FONTE: TASA.

QUADRO 6 - Análise de Estabilidade Atmosférica sobre o Galeão e Brasília, nos Meses de Janeiro e Julho de 1974, 1975 e 1976

Tipo de Atmosfera		Estável		Instável		Neutra	
Ano / Est.		Jan.	Jul.	Jan.	Jul.	Jan.	Jul.
1974	SBGL	9	10	11	8	7 (4)	11 (2)
	SBBR	5	11	8	7	14 (4)	10 (3)
1975	SBGL	6	6	8	10	16 (1)	13 (2)
	SBBR	10	9	13	7	7 (1)	14 (1)
1976	SEGL	12	7	8	6	11	16 (2)
	SBBR	0	3	3	4	7 (21)	22 (2)
Total	SBGL	27	23	27	24	34 (5)	40 (6)
	SBBR	15	23	24	18	28 (26)	46 (6)

() - Número de dados ausentes.

tendem a causar a continuação de seu movimento, diz-se que a atmosfera está em equilíbrio instável, ou, simplesmente, instável. Se, por sua vez, na nova posição não estiver sob a influência de nenhuma força que tenda a reconduzi-la à posição inicial ou afastá-la da nova posição, diz-se que a atmosfera está em equilíbrio indiferente ou simplesmente, neutra (20).

Antes de se analisar o Quadro 6, cabem alguns comentários com relação às radiossondagens. Por recomendação da

Organização Meteorológica Mundial, o horário de lançamento de radiossondas, em todo o mundo, deve se dar às 12:00 UTC e às 00:00 UTC. Muitos países, dentre os quais o Brasil, passaram a lançar somente um radiossonda por dia, no horário de 12:00 UTC, o que trás prejuízos na previsão do tempo. Esse horário no Brasil corresponde às 09:00 horas local, portanto, encontrando uma atmosfera geralmente estável, sob o ponto de vista térmico, já que os efeitos do aquecimento à superfície não são transmitidos, ainda, para a troposfera.

Passando à análise do Quadro 6, nota-se que a atmosfera sobre o Galeão apresentou maior número de casos de estabilidade e instabilidade em janeiro e em julho, sugerindo uma condição regular dessas características. Já a condição de neutralidade é maior em julho do que em janeiro. A essa abordagem, pode-se associar o fato que, em julho, a área do Rio de Janeiro também estava sujeita ao domínio do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que encontrava-se mais intensificado devido a três fatores: 1) a marcha aparente do sol para o Hemisfério Norte; 2) as incursões de intensos Anticiclones Polares nas latitudes mais baixas, trazendo consigo ar frio que será incorporado, se bem que com menor intensidade, a Alta Subtropical do Atlântico Sul e 3) a intensificação das correntes frias, trazendo águas mais frias das altas latitudes. Essas condições contribuem para um maior grau de estabilidade naquele sistema. Para a área do Rio de Janeiro, localizada entre o mar e as Serras, situações peculiares de tempo podem ocorrer graças a esses elementos; no entanto, obedecendo sempre aos mecanismos de maior escala. Para a estação

de Brasília o quadro mostra-se diferente do Galeão para a condição de estabilidade, apresentando uma coerência climo-sinótica, ou seja, em julho a atmosfera encontrava-se mais estável, enquanto em janeiro teve como característica principal a instabilidade. Para o caso de neutralidade verifica-se que em julho houve um predomínio desse em relação ao mês de janeiro. A análise de neutralidade foi prejudicada face a ausência de muitos dados, conforme indicado no Quadro 6.

Comparando as duas localidades verifica-se um ajuste de características, ou seja, tanto o Galeão como Brasília apresentaram maior número de casos de instabilidade em janeiro, enquanto para neutralidade, o mês de julho apresentou maior número. Pode-se concluir, então, que Brasília e Galeão estão mais sujeitos à instabilidade em janeiro (verão) do que em julho (inverno), onde o elemento atuante da escala sinótica é a circulação úmida de Noroeste, já discutido anteriormente. O mês de julho, caracteristicamente seco em ambas as localidades, tem pelo domínio do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, um forte agente estabilizador, compensado, às vezes, pelos efeitos do jato subtropical em altos níveis ou pelo aquecimento à superfície. A estabilidade, por seu turno, é bem definida para Brasília no mês de julho, enquanto para o Galeão mostrou-se numericamente maior em janeiro. O caráter estável desses resultados leva a crer que é fortemente influenciado pela continentalidade.

Nos meses de transição, entre o verão e inverno sobre o Rio de Janeiro, as condições atmosféricas apresentam características muito peculiares com relação à evolução e tempo