



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá
Brasil

da Assunção Borsato, Victor; de Souza Filho, Edvard Elias
A dinâmica atmosférica na vertente oriental da bacia do alto rio Paraná e a gênese das chuvas
Acta Scientiarum. Technology, vol. 30, núm. 2, 2008, pp. 221-229
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226522014>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

A dinâmica atmosférica na vertente oriental da bacia do alto rio Paraná e a gênese das chuvas

Victor da Assunção Borsato¹ e Edvard Elias de Souza Filho^{2*}

¹Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Jandaia do Sul, Jandaia do Sul, Paraná, Brasil. ²Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: edvardmarilia@wnet.com.br

RESUMO. O ritmo dos sistemas atmosféricos e a intensidade variam no tempo e no espaço. Por isso, para caracterizar a dinâmica climática de uma região é necessário estudar a dinâmica das massas de ar ao longo de uma série. Estudaram-se, por meio da dinâmica das massas de ar, a participação dos sistemas atmosféricos atuantes e as porcentagens das chuvas convectivas e frontais ao longo da vertente oriental da bacia do alto rio Paraná. Verificou-se que, nessa vertente, nos meses mais frios, predomina a atuação da massa tropical Atlântica e da polar Atlântica. Nos meses mais quentes, além de predominar a atuação dos sistemas de baixa pressão equatorial continental e tropical continental, têm-se as chuvas convectivas. Verificou-se, também, progressivo aumento na participação das chuvas convectivas, a partir da década de 1990, corroborando a teoria das mudanças climáticas.

Palavras-chave: sistemas atmosféricos, análise rítmica, pluviosidade.

ABSTRACT. The atmospheric dynamics on the eastern slope of the Paraná river basin and the genesis of rain. The rhythm and intensity of atmospheric systems vary in time and space. Therefore, it is necessary to study the dynamics of air masses over a temporal series in order to characterize the climate dynamics of a region or area. The participation of the active atmospheric systems and the percentage shared by convective and frontal rains along the eastern slope of upper Paraná River were studied based on the dynamics of air masses. It was observed that, in such a slope, during the coldest months, the actions of the Atlantic tropical mass and polar Atlantic mass prevail. However, during the warmer months, in addition to the predominance of the action of equatorial continental and tropical continental low atmospheric pressure systems, convective rains also take place. It was also noted that, from the 1990s onward, a progressive increase was observed in the participation of convective rains, strengthening the theory of climatic change.

Key words: atmospheric systems, rhythmic analysis, pluviosity.

Introdução

A climatologia geográfica do Brasil carece de pesquisas que tratem da dinâmica dos sistemas atmosféricos no espaço e na temporalidade cronológica. Setzer (1946) *apud* Maia (2003), um dos primeiros a estudar as variáveis do clima do Estado de São Paulo, demonstrou preocupações com a variabilidade das chuvas e concluiu que as estiagens estavam prolongando-se e a estação chuvosa tornando-se mais curta e intensa. Sant'Anna Neto (1995) estudou a variabilidade pluvial no Estado de São Paulo nos últimos 100 anos (1888-1993) e concluiu que o clima apresenta periodicidade, alternando épocas mais úmidas e épocas menos úmidas, e que a pluviosidade tem apresentado tendência de aumento conforme o passar do tempo.

A dinâmica das massas de ar que atuam no Sul e Sudeste do Brasil já foi caracterizada a partir dos

estudos de Monteiro (1969), embora os trabalhos sobre a pluviosidade precedam o referido trabalho. Schroder (1956) analisou a distribuição das chuvas no Estado de São Paulo no período de 1941 a 1951, Monteiro (1976) caracterizou as gêneses das chuvas e a dinâmica das massas de ar por meio da análise rítmica, assim como Boin (2000) que fez estudos sobre as chuvas e erosão no Oeste Paulista, utilizando o mesmo método, dentre outros.

A grande maioria dos estudos que trata da climatologia dinâmica adotou o ano padrão, as excepcionalidades ou, ainda, um curto período do ano, uma estação (Monteiro, 1971). Como a dinâmica das massas de ar que atuam no Centro-Sul do Brasil já está suficientemente estudada e caracterizada, é interessante proceder aos estudos de uma série (Brasil, 1980-2003) em uma escala temporal diária, em que se verificará o

comportamento da dinâmica, ou seja, a sucessão dos sistemas atmosféricos. Dessa forma, é possível identificar o que é mais habitual para a região e se há perspectivas de tendência de alterações na dinâmica das massas de ar e na gênese das chuvas.

Os Estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul são atravessados pelo trópico de Capricórnio. Por essa razão, apresentam climas tropical e subtropical. Como já é do conhecimento da comunidade científica, a região é caracterizada pela transição climática e apresenta duas estações bem definidas: verão quente e úmido e inverno com temperatura branda e baixa pluviosidade. Com relação aos sistemas atmosféricos que atuam nessa região, eles também já são conhecidos. Nos meses mais quentes, há predomínio de massas de ar de baixa pressão; nos meses mais frios, prevalecem as de alta pressão.

O Sudeste do Brasil experimenta a ação dos sistemas frontais intensos nas regiões sul, sudeste e litoral e, esporadicamente, na noroeste e norte. Devido à sua localização, o Sudeste caracteriza-se por ser região de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos de tipo temperado das latitudes médias (Nimer, 1979). Para o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE, 1996), o Sudeste é caracterizado pela atuação de sistemas que associam características de sistemas tropicais com sistemas típicos de latitudes médias.

Os estudos climatológicos da dinâmica das massas de ar efetuados na área explicam a alternância de estação chuvosa e não-chuvosa, e a análise rítmica explica a gênese das chuvas, assim como a variabilidade espacial, desde que seja realizada para duas ou mais localidades que representam uma dada área.

Por outro lado, a região sudeste abriga parte considerável da bacia do rio Paraná, e o entendimento dos processos que envolvem a precipitação na parte oriental da bacia são de grande importância para a compreensão de parte do aporte de água desse sistema.

Portanto, o objetivo deste trabalho é caracterizar a dinâmica atmosférica em toda vertente oriental do rio Paraná no Sudeste do Brasil de forma a possibilitar o entendimento da gênese e variabilidade das chuvas.

Material e métodos

A área estudada estende-se da fronteira interestadual do Estado de São Paulo com o Paraná, passando pelo Sudoeste de Minas Gerais e Sul de

Goiás, ou seja, do leito do rio Paraná até os divisores de água do Atlântico e do São Francisco. Essa região recebe os sistemas frontais que avançam de sudoeste para nordeste com eixo no sentido Noroeste-Sudeste.

A caracterização da dinâmica climática dessa área foi realizada por meio da análise rítmica (Monteiro, 1971) e do estudo das massas de ar e dos tipos de tempo (Pedelaborde, 1970), a partir dos dados das estações climatológicas de São Paulo, Estado de São Paulo, Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, primeira classe, e de dados climáticos completos para a série. Foram utilizadas as cartas sinóticas da Marinha do Brasil, 12h TMG, na escala diária, e, eventualmente, imagens de satélites no canal infravermelho do CPTEC/INPE.

Os sistemas atmosféricos considerados para a análise foram aqueles que atuaram no Centro-Sul do Brasil, ou seja, Sistema Frontal (SF), Massa Tropical Continental (MTC), Massa Tropical Atlântica (MTA), Massa Polar Atlântica (MPA), Massa Equatorial Continental (MEC) e o Sistema de Cavado (CV) (Ferreira, 1989; Vianello, 2000; Varejão-Silva, 2000).

Esses sistemas foram identificados e interpretados a partir da leitura das cartas sinóticas. Para essa identificação e quantificação, foram elaboradas tabelas em planilhas anuais, subdivididas em unidades mensais com colunas para a pluviosidade e para os sistemas atmosféricos atuantes. Esses dados foram processados e obtiveram-se médias dos sistemas atmosféricos anuais e da série 1980-2003, exceto 1982.

As cartas sinóticas foram também utilizadas para a caracterização da gênese das chuvas, e todos dados foram colocados em planilhas. As planilhas foram elaboradas por meio do "software" Microsoft Excel. As estações climatológicas de Maringá, Presidente Prudente, Franca, Uberaba e Goiânia foram utilizadas para auxiliar a identificação e evolução dos sistemas atmosféricos.

A partir dos dados organizados nas planilhas, foram somadas as horas de atuação para cada sistema e calculada a porcentagem de atuações mensais, anuais e também para as estações do ano, assim como a elaboração de gráficos. A porcentagem de atuação dos sistemas atmosféricos foi calculada para as estações de Maringá, São Paulo, Juiz de Fora e Goiânia.

Os gráficos da análise rítmica da série 1980-2003 foram confeccionados por programa computacional (Borsato *et al.*, 2004), e o resultado foi sintetizado em planilhas anuais por meio do

Corel Draw 10 e distribuído na sequência: Maringá, São Paulo, Juiz de Fora e Goiânia. Os sistemas frontais puderam ser acompanhados por imagens de satélite no canal infravermelho a partir de 1994 e também pela edição comemorativa de dez anos da Climanálise (CPTEC/INPE, 1996). De posse dos dados e gráficos, procedeu-se à análise e interpretação dos resultados.

Uma outra técnica utilizada foi a média móvel para as chuvas convectivas e para as frontais. Segundo Christofletti (1991), a média móvel fornece visão geral amenizando as variações isoladas. As médias móveis são calculadas para encontrar médias para grupos de valores sucessivos. Adotaram-se, no presente trabalho, médias móveis de cinco

anos.

Uma outra ferramenta utilizada foi a espacialização da pluviosidade diária com os dados das localidades circunscritas na área de estudos. Considerando a grande distância entre as estações climatológicas principais, organizaram-se os dados pluviais diários em planilhas do “software” *Microsoft Excel* e elaboraram-se gráficos mensais em 3D para 61 postos pluviométricos (Figura 1 e Tabelas 1 e 2), dos quais 38 estão situados no Estado de São Paulo e 25 no Estado de Minas Gerais (dados do Ministério da Agricultura e do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – Sigrh, 2004).

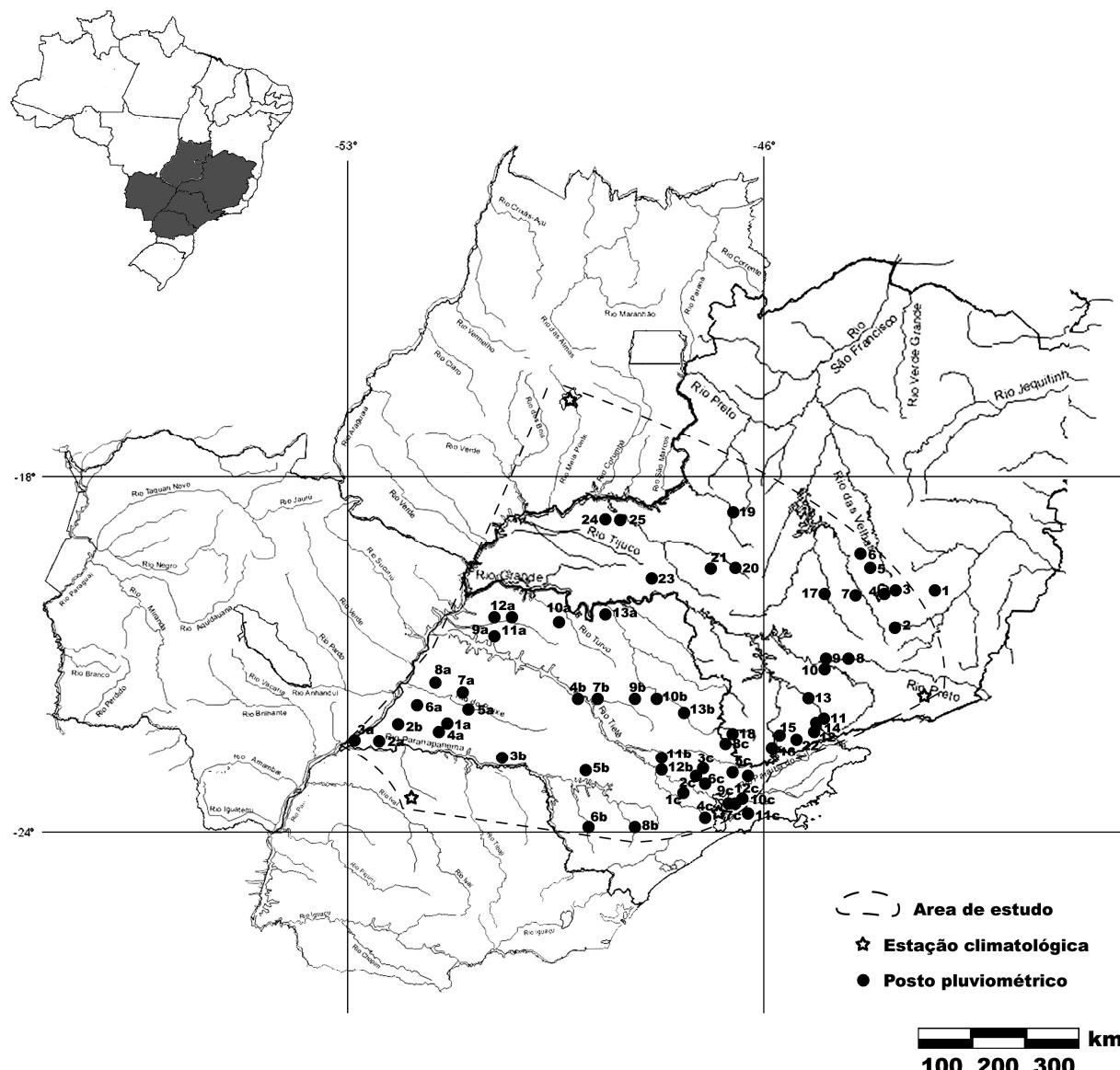


Figura 1. Localização da área de estudos e distribuição dos postos pluviométricos dos Estados de São Paulo e Minas Gerais.

Tabela 1. Relação dos postos pluviométricos utilizados na confecção das Figuras com a distribuição pluviométrica para o Estado de São Paulo (mostrados nas Figuras 4 e 6).

Postos pluviométricos	*	Ordem	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Colômbia	A	12	20,15'	48°39'	500
Jales	A	11	20,18'	50°33'	450
Fernandópolis	A	10	20,18'	50°15'	520
Palestina	A	09	20,23'	49°26'	540
Auriflama	A	08	20,42'	50°33'	450
Dracena	A	07	21,28'	51°32'	415
Adamantina	A	06	21,41'	51°05'	440
Presidente Venceslau	A	05	21,53'	51°50'	400
Rancharia	A	04	21,57'	50°56'	320
Pirapozinho	A	03	22,16'	51°30'	470
Rosana	A	02	22,28'	52°53'	260
Presidente Prudente	A	01	22,06'	51°26'	460
Pirassununga	B	13	22°02'	47°25'	670
Rio das Pedras	B	12	22°52'	47°37'	615
Piracicaba	B	11	22°43'	47°39'	500
São Carlos	B	10	21°47'	47°47'	620
Araraquara	B	09	21°47'	48°10'	670
Capão Bonito	B	08	23°57'	48°13'	620
Ibitinga	B	07	21°47'	48°51'	510
Itapeva	B	06	23°58'	48°57'	620
Avaré	B	05	22°55'	48°59'	680
Borborema	B	04	21°42'	49°08'	390
Assis	B	03	22°38'	50°24'	560
Teodoro Sampaio	B	02	22°22'	52°19'	440
Euclides da Cunha	B	01	22°33'	52°35'	300
Pirassununga	C	13	22°02'	47°25'	670
Piracicaba	C	12	23°04'	46,18'	900
Santo André	C	11	23°46'	46°21'	760
Guarulhos	C	10	23°25'	46°24'	770
São Paulo (Tietê)	C	09	23°30'	46°37'	760
Águas de Lindóia	C	08	22°28'	46°38'	1040
São Paulo	C	07	23°28'	46°38'	790
Jundiaí	C	06	23°12'	46°59'	730
Bragança Paulista	C	05	22°56'	46°32'	800
Cotia	C	04	23°41'	47°01'	936
Campinas	C	03	22°53'	47°05'	710
Indaiatuba	C	02	23°05'	47°13'	630
Sorocaba	C	01	23°25'	47°24'	570

*Os dados dos postos pluviométricos apresentados nas Figuras 4 e 6 subdividem-se em A, B e C.

Tabela 2. Relação dos postos pluviométricos utilizados na confecção dos gráficos das Figuras 3 e 5. Distribuição pluviométrica para o Estado de Minas Gerais.

Postos pluviométricos	Ordem	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Rio Piracicaba	01	19°55'	43°11'	623
Congonhas - Montante	02	20°30'	43°51'	871
Belo Horizonte	03	19°54'	43°55'	915
Ibirite	04	20°01'	44°02'	1073
Sete Lagoas	05	19°28'	44°15'	732
Horto Florestal	06	19°17'	44°24'	733
Itaúna-Montante	07	20°04'	44°34'	798
Ibituruna	08	21°08'	44°44'	799
Divinópolis	09	20°05'	44°58'	644
Lavras	10	21°14'	45°00'	910
São Lourenço	11	22°06'	45°01'	900
Virgínia	12	22°20'	45°06'	930
Três Corações	13	21°42'	45°16'	841
Santa Rita do Jacutinga	14	22°10'	45°06'	530
Conceição da Ibitipoca	15	22°25'	45°47'	850
Machado	16	21°40'	45°55'	873
Bambuí	17	20°01'	45°58'	654
Inconfidentes	18	22°19'	46°20'	875
Patos de Minas	19	18,36'	46°31'	940
Ibiá	20	19°29'	46°31v	855
Araxá	21	19°34'	46°56'	1004
São João Do Itajubá	22	22°23'	45°27'	845
Uberaba	23	19°46'	47°56'	743
Fazenda Cachoeira	24	18°42'	48°47'	930
Capinópolis	25	18°41'	48°34'	621

Os postos foram escolhidos por sua localização, de forma a permitir maior e melhor cobertura sobre a vertente da bacia. Os dados possibilitam também a interpretação da evolução dos sistemas atmosféricos, causadores das chuvas.

Resultados e discussão

A apresentação de todos os gráficos anuais elaborados não é viável, face ao grande número de planilhas para cada estação climatológica principal. Dessa forma, serão apresentados apenas os resultados das análises elaboradas a partir deles.

A atuação das massas de ar, a gênese das chuvas e a pluviosidade

Os estudos indicaram que a região da cidade de São Paulo apresenta verões chuvosos e invernos com baixos índices pluviométricos, ou seja, a partir de abril ou maio, as chuvas escasseiam. Esse período se estende até o mês de agosto ou setembro. A partir de outubro, as chuvas gradativamente se intensificam. As chuvas, nos meses mais frios, estão condicionadas aos avanços dos sistemas frontais e à atuação da MTA; no verão, a MTC e a MEC também geram condições de instabilidade. Os gráficos da Figura 2A e B mostram a distribuição da pluviosidade na estação climatológica da cidade de São Paulo. Na Figura 2A, é apresentado um comparativo entre as porcentagens de chuvas convectivas e frontais e, na Figura 2B, um comparativo do volume mensal registrado naquela estação.

Chuvas frontais x convectivas - São Paulo 1980 / 2003

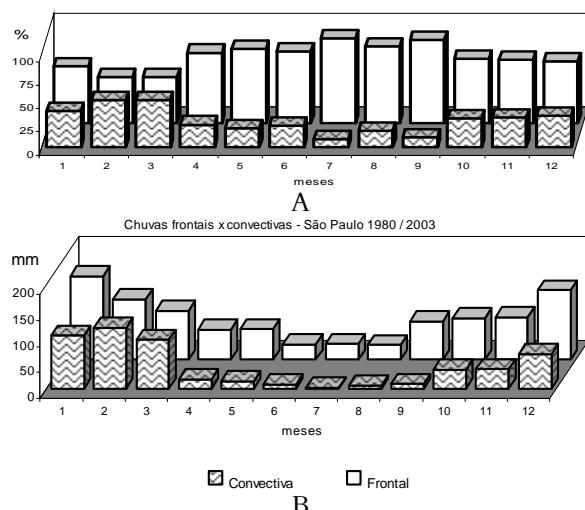


Figura 2. Em A, porcentagem média das chuvas convectivas e frontais na cidade de São Paulo; em B, totais médios das chuvas frontais e convectivas na série 1980-2003.

A espacialização da pluviosidade não é estacional em toda a vertente. No inverno, as chuvas, em cada

episódio, aparecem mais intensas nas áreas de maior latitude; nos verões, nas de menor. Isso é explicado pelo fato de a maioria dos sistemas frontais bordejar o Sudeste de São Paulo antes de escoar para o Atlântico.

A participação do sistema frontal (SF) variou de 20 a 30% do ano, com mínimo de 19,8%, em 2002, e máximo de 31,0%, em 1985. Nesses anos, as chuvas frontais corresponderam a 40,1% do total de 1642,7 mm e 70% do total de 1197,2 mm (Inmet, 2004). Verifica-se que quanto maior a participação do SF, maior será a porcentagem de chuvas frontais. Nos anos de atuação do *El Niño*, os sistemas frontais se intensificam e ampliam o tempo de atuação, por isso, nos anos de manifestação do fenômeno, a participação das chuvas frontais é maior.

Em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, a atuação do SF variou entre 18 a 34% do tempo. O ano com maior participação foi o de 1983, com 34,4%, e o de menor foi 2001 com 18,0%. Com relação à pluviosidade, em 2001, a altura foi de 1.559,9 mm (Inmet, 2004), sendo 57,8% resultantes de chuvas frontais. Em 1983, a altura foi de 2.300,7 mm (Inmet, 2004), dos quais 70,4% foram frontais. Em Juiz de Fora, também foi constatado que o tempo maior de participação dos sistemas frontais resultou em maior pluviosidade.

Os sistemas frontais apresentaram pequena redução no tempo médio de atuação, a partir dos anos de 1990, na estação climatológica da capital paulista. A redução reflete-se na altura pluviométrica, considerando que nos anos de maior altura pluviométrica o maior incremento é por conta das chuvas frontais.

O ano de 2003 foi o de menor altura pluviométrica para a estação climatológica da capital paulista: 1.092,4 mm (Inmet, 2004); o ano de 1996, o de maior: 2.023,2 mm. Juiz de Fora registrou a menor pluviosidade no ano de 1999, com 1.086,5 mm, e a maior em 1983, com 2.367,5 mm (Inmet, 2004). Com relação aos sistemas atmosféricos causadores da pluviosidade, no ano de 2003, em São Paulo, 59,9% das chuvas foram frontais e 40,1% convectivas. Em 1996, foram 49,8% frontais e 50,2% convectivas. Em Juiz de Fora, no ano de 1999, os sistemas frontais contribuíram com 64% e as convectivas com 36%, em 1983, 70,4% foram frontais e 29,6%, convectivas.

Com relação à dinâmica dos sistemas de alta pressão MPA e MTA, enquanto em São Paulo, a MPA dominou em 37,5% do tempo, em Juiz de Fora, o mesmo sistema atuou em 23,0%. Por outro lado, a MTA atuou em 40,2% em Juiz de Fora e 23,2% em São Paulo. A explicação pela diferença de tempo de atuação entre duas localidades tão próximas é que a MPA atua em São Paulo antes de avançar para o Atlântico.

Os demais sistemas atmosféricos apresentaram as seguintes participações: em São Paulo, a MTC atuou 9,7% do tempo, a MEC 2,3% e o CV 1,5%; já na estação

de Juiz de Fora, a MTC atuou 6,9% do tempo, a MEC 3,9% e CV 1,5%. Os sistemas frontais, responsáveis pelas chuvas frontais, atuaram 25,6% do tempo em São Paulo e 23% em Juiz de Fora.

As análises e, principalmente, a média móvel aplicada aos totais mensais para as chuvas convectivas e frontais mostraram tendência da diminuição das chuvas frontais, a partir de 1990. Como não se constata diminuição no volume total, verifica-se incremento nas chuvas convectivas. Essa constatação é importante porque vem ao encontro da teoria do aquecimento global. Com a elevação gradativa da temperatura, as correntes convectivas são intensificadas e a probabilidade de chuvas convectivas é maior.

As cartas sinóticas, as imagens de satélite no canal infravermelho e o estudo sintético das massas de ar mostram que a região, de uma forma geral, encontra-se na área de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), embora seja comum o Estado de São Paulo ficar ao Sul dessa faixa. Deve-se considerar também que, nas cartas sinóticas, essa faixa de convergência é, às vezes, interpretada como uma frontólide. Por isso, no cômputo dos tipos de chuvas, aparecerá como frontal.

Com relação à espacialização, tanto São Paulo como Juiz de Fora receberam volume de chuva semelhante, embora se verifique que, para o interior da bacia do alto rio Paraná, os efeitos do *El Niño* e *La Niña* são intensificados. No ano de 1983 (ano de *El Niño*), Juiz de Fora recebeu o maior volume de chuva da série e, em 1999 (ano de *La Niña*), recebeu o menor.

No período estudado, houve mais dois períodos de forte manifestação do *El Niño* (1990-1993 e 1997-1998) (CPTE/INPE, 1996), e não se constata anomalia na pluviosidade nesses anos. Por isso, não há um padrão característico de alterações na altura das chuvas no Sudeste do Brasil nos anos de manifestação dos eventos.

Uma vez que os sistemas frontais desviam-se para o oceano antes de atingir os Estados de Goiás e de Minas Gerais nos meses mais quentes (de novembro a abril), a MEC e a MTC passam a dominar também o Centro-Sul do Brasil e causam instabilidades tropicais, principalmente em Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais (chuvas convectivas).

A distribuição espacial das chuvas

Os pluviogramas elaborados com os dados diários para os Estados de São Paulo e de Minas Gerais mostram a participação e a espacialização dos sistemas frontais, por meio da pluviosidade. As chuvas geradas pelos sistemas frontais apresentam-se concentradas nos dias de atuação e avanços dos sistemas frontais, como pode ser observado nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

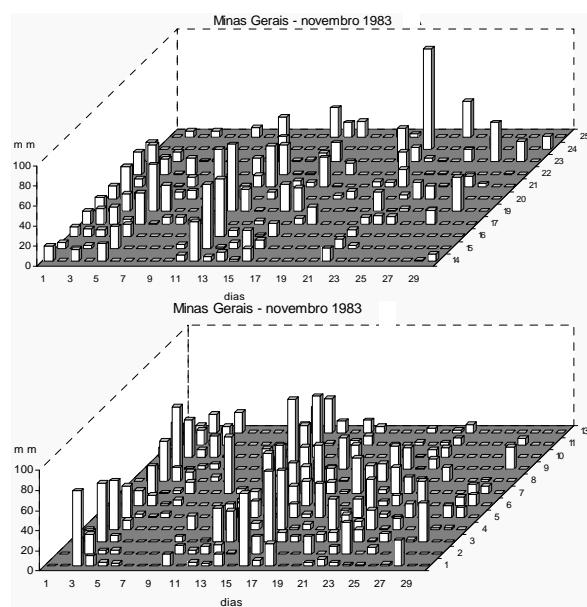


Figura 3. Distribuição pluviométrica em Minas Gerais, no mês de novembro de 1983. A sequência numeral na borda direita da Figura representa os postos pluviométricos apresentados na Tabela 2.

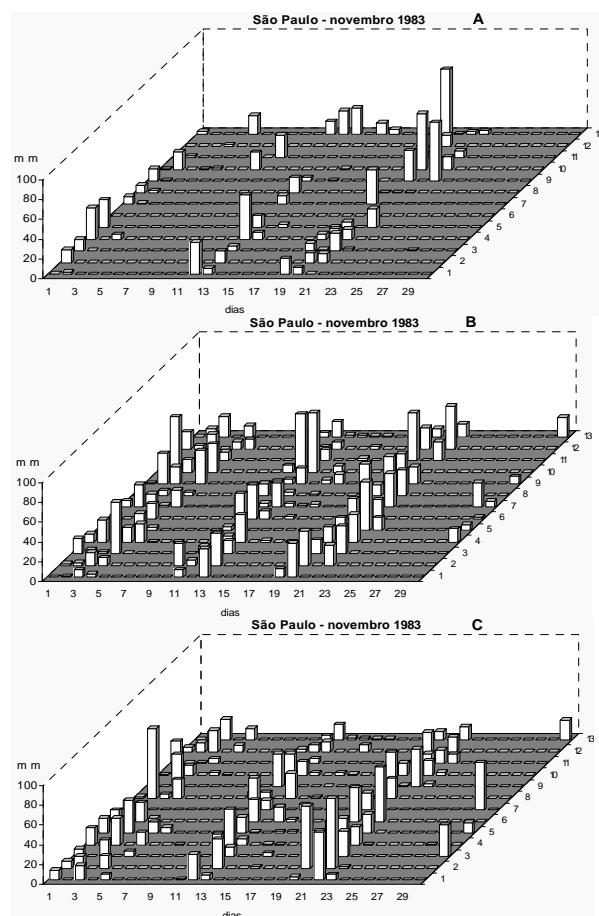


Figura 4. Distribuição pluviométrica no Estado de São Paulo, no mês de novembro de 1983. A sequência numeral na borda direita da Figura representa os postos pluviométricos apresentados na Tabela 1, agrupados conforme a área geográfica A, B e C.

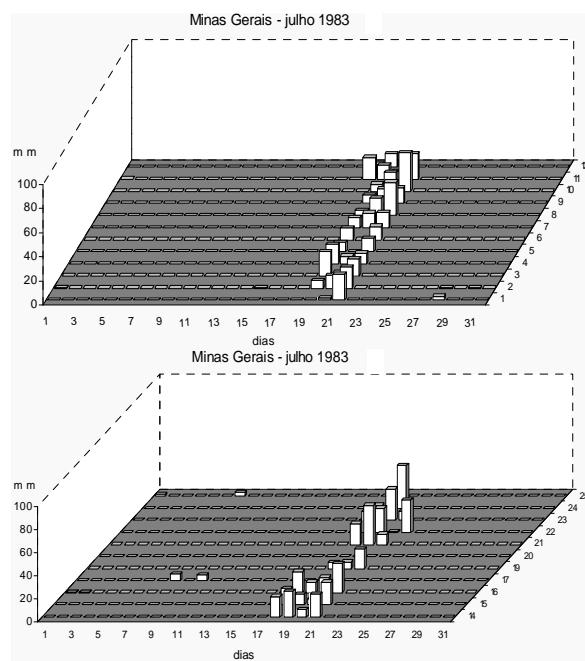


Figura 5. Distribuição pluviométrica em Minas Gerais no mês de julho de 1983. A sequência numeral na borda direita da Figura representa os postos pluviométricos apresentados na Tabela 2.

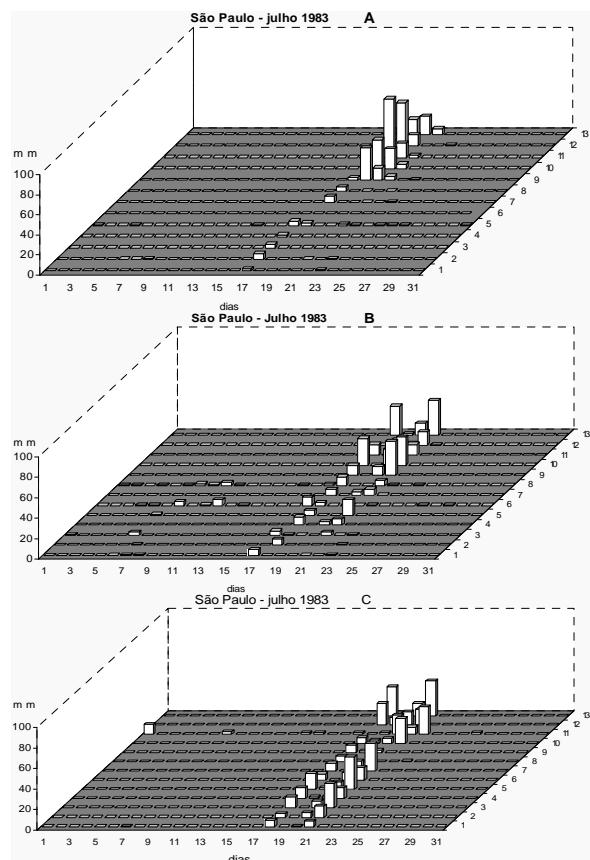


Figura 6. Exemplo da distribuição pluviométrica no Estado de São Paulo no mês de julho de 1983. A sequência numeral na borda direita da Figura representa os postos pluviométricos apresentados na Tabela 1, agrupados conforme a área geográfica A, B e C.

Outra importante constatação é o caráter convectivo das chuvas em Minas Gerais para os meses mais quentes (Figuras 3 e 4). Para os postos do Estado de São Paulo, a pluviosidade do mês de novembro apresentou-se concentrada em três episódios, o primeiro do dia 1º ao 4º, o segundo do 10º ao 13º e o terceiro do 19º ao 22º dia, coincidindo com os períodos em que os sistemas frontais avançaram pela região. Por outro lado, em Minas Gerais, as chuvas distribuíram-se por vários dias, com um ligeiro aumento na intensidade nos dias sob a influência do SF (Figura 3).

As chuvas convectivas ocorrem com mais frequência nos meses mais quentes e se intensificam à medida que diminui a latitude. Para os meses de inverno, em toda a área estudada, as chuvas são eminentemente frontais. As Figuras 5 e 6 ilustram a distribuição pluviométrica para os postos selecionados para os Estados de Minas Gerais e de São Paulo no mês de julho de 1983. Ambas as Figuras indicam a concentração das chuvas nos dias 17º, 18º e 19º, período em que um sistema frontal avançou pela região e estacionou próximo ao paralelo de 20ºS, causando chuva frontal em toda a região. A MPA, associada ao sistema frontal, com 1026hPa, avançou pelo interior do Brasil. Depois da passagem do sistema frontal, o anticiclone (MPA) causou queda na temperatura em todo o Centro e Sul do Brasil.

A carta sinótica da Marinha do Brasil do dia 19 de julho de 1983 (12 TMG), Figura 7, ilustra o centro da MPA sobre o Uruguai, e o sistema frontal no Estado de São Paulo, o qual permaneceu estacionário, causando chuvas frontais intensas no norte de São Paulo e em Minas Gerais.

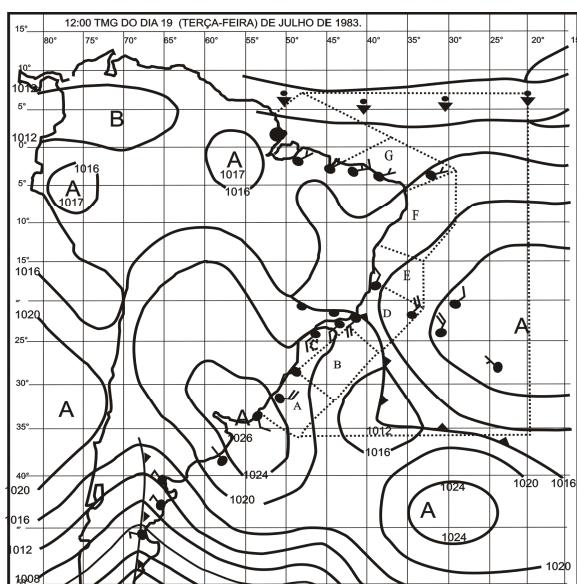


Figura 7. Carta sinótica do dia 19 de julho de 1983 da Marinha do Brasil 12h TMG. BRASIL. Ministério da Marinha (1980/2003).

Conclusão

A dinâmica dos sistemas atmosféricos mostra que, ao longo da série, a intensidade e a frequência, assim como as trajetórias, seguiram um padrão e uma sazonalidade.

No verão, os sistemas de baixa pressão MTC e MEC atuam com mais freqüência; no inverno, a MPA e a MTA são os dois sistemas predominantes. Os avanços dos sistemas frontais são responsáveis pela maior porcentagem das chuvas. O domínio de chuvas frontais é quase absoluto no inverno e, apesar de diminuir no verão, ainda é mantido. Esse domínio é reduzido, contudo, à medida que diminui a latitude sendo possível estabelecer um limite médio para a série 1980 a 2003, localizada pelo menos dois graus de latitude ao norte da Zona estabelecida por Monteiro (1973) (Figura 8).

As chuvas frontais, mais intensas ou mais escassas, estão relacionadas com as intensidades e as trajetórias dos sistemas frontais. Verificou-se que, em 1983, ano de maior altura pluviométrica, o fator gerador desse elevado aumento no volume das chuvas em todo o Centro-Sul do Brasil esteve fora da área de estudos, pois foi um ano de manifestação do *El Niño*. A porcentagem das chuvas convectivas apresentou pouca variação, portanto, todo incremento foi atribuído aos sistemas frontais que, em função da manifestação do *El Niño*, foram intensificados em todo o Centro-Sul do Brasil. Maior número de sistemas frontais ou maior tempo de permanência, no interior do Brasil, determina maior precipitação, conforme verificado por Boin (2000).

Foi constatado, contudo, que, a partir da década de 1990, os Sistemas Frontais, a Massa Polar Atlântica e a Massa Tropical Atlântica têm diminuído o tempo de atuação, enquanto as massas de baixa pressão, a MTC e principalmente a MEC têm aumentado.

A hipótese para essas alterações é explicada pelo maior aquecimento do Centro-Sul do Brasil. O intenso desmatamento verificado, a partir da década de 1950, em toda essa região, expôs o solo mais diretamente à ação da luz e do calor solar. O aumento da temperatura se reflete na dinâmica das massas de ar e da participação dos sistemas de baixa pressão e nas chuvas convectivas. Por outro lado, como consequência, as chuvas frontais também apresentaram redução, embora haja indicação de aumento da pluviosidade anual, nesse caso, via chuvas convectivas. Dessa forma, havendo continuidade do processo, os verões deverão ser mais úmidos e os meses mais frios deverão ser mais secos.



Figura 8. Esquema representativo das feições climáticas individualizadas no território paulista, acrescido da zona limite de atuação dos sistemas frontais médios da série 1980 a 2003.

Fonte: Monteiro (1973), modificado pelo autor.

Tais dados indicam que os afluentes da margem esquerda do rio Paraná poderão vir a ter o aporte de água com sazonalidade bem marcada, ou seja, cheias maiores e estiagens mais intensas. Uma vez que todos eles estão controlados por barragens, os controladores dos reservatórios devem levar esse quadro climático em consideração para a operação das Usinas Hidrelétricas.

Por outro lado, a dinâmica dos sistemas atmosféricos apresentou variações interanuais menores que as verificadas na altura pluviométrica. Por isso, a pluviosidade depende, além da circulação local, das interconexões intra e extratrópicos que trazem influências na dinâmica climática da região.

Referências

- BOIN, M.N. *Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada*. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)—Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- BORSATO, V.A. et al. Análise rítmica e a variabilidade temporal – espacial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. TEORIA E METODOLOGIA EM CLIMATOLOGIA, 6., 2004, Aracaju. *Anais...* Aracaju: Universidade Federal de Sergipe. Núcleo de Pós-graduação Geográfica, 2004. 1 CD-ROM.
- BRASIL. Ministério da Marinha. Serviço Meteorológico da Marinha. *Cartas sinóticas*. Rio de Janeiro, 1980/2003. 1 CD-ROM.
- CHRISTOFOLETTI, A.L.H. *Estudo sobre a sazonalidade da precipitação do rio Piracicaba SP*. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)—Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, 1991.
- CPTEC/INPE. *Revista Climanálise*, 1996. Edição comemorativa de 10 anos. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/diesp10a/index1.shtml>>. Acesso em: 25 mar. 2005.
- FERREIRA, C.C. *Ciclogêneses e ciclones extratropicais na região sul-sudeste do Brasil e suas influências no tempo*. São José dos Campos, SP: INPE-4812-TDL/359, 1989.
- INMET-Instituto Nacional de Meteorologia. *Dados climáticos diários (1980 – 2003)*. Brasília, 2004. 1 CD-ROM.
- MAIA D.C. *Variabilidade climática e a produtividade do milho em espaços paulistas*. 2003. Dissertação (Mestrado em Geociências e Ciências Exatas)—Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2003.
- MONTEIRO, C.A.F. *A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul (Oriental do Brasil contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil)*. São Paulo: IGEOG/USP, 1969. (Série Teses e monografias, 1).
- MONTEIRO, C.A.F. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e arredores

- para um programa de trabalho. *Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo*, São Paulo, (1 Climatologia), n. 1, p. 1-21, 1971.
- MONTEIRO, C.A.F. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo*. São Paulo: IGEOG/USP, 1973.
- MONTEIRO, C.A.F. *O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo*. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. (Série Teses e monografias, 28).
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil: recursos naturais e meio ambiente*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- PEDELABORDE, P. *Introducion a l'étude scientifique du climat*. Paris: Sedes, 1970.
- SANT'ANNA NETO, J.L. *As chuvas no Estado de São Paulo*. 1995. Tese (Doutorado em Geografia Física)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- SIGRH-Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo. Bancos de dados pluviométricos. *Dados diários por municípios*. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/bancodedados/plu/plu.htm>>. Acesso em: 20 out. 2004.
- SCHRODER, R. Distribuição e curso anual das precipitações no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v. 15, n. 18, p. 193-249, 1956.
- VAREJÃO-SILVA M.A. *Meteorologia e climatologia*. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2000.
- VIANELLO, R.L. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV, 2000.

Received on March 27, 2007.

Accepted on March 27, 2008.