



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

EPISÓDIOS DE CHEIAS NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO EM ABRIL DE 1985: UM ESTUDO DAS ESCALAS DOMINANTES E CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS ASSOCIADAS

Maryfrance de Cássia Santos Diniz¹, Magaly de Fatima Correia², Ewerton Cleudson de Sousa Melo³ Wendell Rondinelli Gomes Farias⁴; Maria Regina da Silva Aragão⁵

RESUMO

Este trabalho visa determinar as escalas dominantes, a contribuição relativa das variáveis meteorológicas e os processos físicos envolvidos em eventos de chuvas intensas e formação de cheias que resultaram em inundações no Submédio São Francisco em abril de 1985, com ênfase ao período de 9 a 12 desse mês, denominado aqui de *período crítico*. Dados de observações de superfície e altitude da área de Petrolina-PE e dados de reanálise foram analisados usando a técnica de análise fatorial através de componentes principais (ACP). Os resultados mostram que um modelo com três componentes é suficiente para representar a estrutura das variáveis na escala local, retendo 74% da variância total e a existência de dois grupos de processos físicos dominantes nessa escala: o primeiro, relacionado com o teor de umidade e a instabilidade da atmosfera, e o segundo, com o aquecimento radiativo da superfície. Para o conjunto de dados de reanálise um modelo com quatro componentes é adequado, retendo 75% da variância total. As cargas fatoriais mais significativas indicam que condições em escala sinótica foram determinantes através do elevado teor de umidade na baixa troposfera e de convergência (divergência) de massa na baixa (alta) troposfera. A aplicação da ACP aos dados de reanálise do nível de 925 hPa indica que o primeiro fator, relacionado com a escala sinótica, e o segundo, com escalas sub-sinóticas, apresentam cargas fatoriais significativas com as variáveis, exceto o dia 12 para a temperatura, quando domina o terceiro fator, possivelmente um aquecimento em mesoescala causado pelos processos convectivos.

Palavras-chave: componentes principais, processos convectivos, evento extremo

FLOODING EPISODES IN THE SEMI-ARID REGION OF THE SÃO FRANCISCO RIVER BASIN IN APRIL 1985: A STUDY ON THE DOMINANT SCALES AND ASSOCIATED ATMOSPHERIC CONDITIONS

ABSTRACT

This work aims to determine the dominant scales, the relative contribution of the atmospheric variables and the physical processes involved in intense rainfall and flooding episodes that gave rise to inundations in the Submédio San Francisco in April 1985, with emphasis to the period of 9th to the 12th of this month, called here of critical period. Surface and altitude observational data of the Petrolina-PE area and reanalysis data were analyzed using the factorial analysis by means of principal components (EOF). The results show that a model that a three-component is adequate to represent the structure of the variables at the local scale, retaining 74% of the total variance and existence two groups of dominating physical processes on this scale: the first, involving the atmospheric moisture content and instability, and the second, the radiative heating of the surface. For the data set of reanálise a model with four components is adequate, retaining 75% of the total variance. The most significant scores indicate that conditions on the synoptic scale were determinant through a high moisture content in the lower troposphere and mass convergence (divergence) in the lower (higher) troposphere. The application of the ACP to the data of reanálise of the level of 925 hPa indicates that the first factor, related with the sinótica scale, and as, with sub-sinóticas scales, have significant scores with the variables, except of the 12th day for air temperature, when the third factor dominates, possibly a heating in to heating on the mesoscale caused by convective processes.

Key words: principal components; extreme event; convective processes

Trabalho recebido em 11/02//2011 e aceito para publicação em 28/03/2011.

¹Mestre em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). e-mail: mary_france@hotmail.com.

²Professora da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA/UFCG). e-mail: magaly@dca.ufcg.edu.br.

³Doutorando do curso de pós-graduação em meteorologia da UFCG. e-mail: ecsmelo@yahoo.com.

⁴Doutorando do curso de pós-graduação em Geofísica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). e-mail: wendellrgf@yahoo.com.br.

⁵Professora da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA/UFCG). e-mail: regina@dca.ufcg.edu.br.

1. INTRODUÇÃO

As cheias na Bacia do São Francisco são normalmente causadas por superelevação das vazões nos principais tributários do Alto e Médio da Bacia: Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente, Grande, Paraopeba, das Velhas, Jequitai e Verde Grande (Fig. 1). Resultados de um estudo técnico de apoio ao plano decenal de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco (Filho et al., 2004)

indicam que no Médio, parte do Submédio e no Baixo São Francisco, as enchentes ocorrem devido ao extravasamento das águas para o leito maior e a planície de inundação. Os autores apontam como causa principal a ocupação desordenada do solo. Situações como a crescente demanda por recursos naturais devido ao aumento da população, bem como o impacto ambiental gerado pelo uso inadequado do solo afetam os recursos hídricos, a vegetação e o clima local.

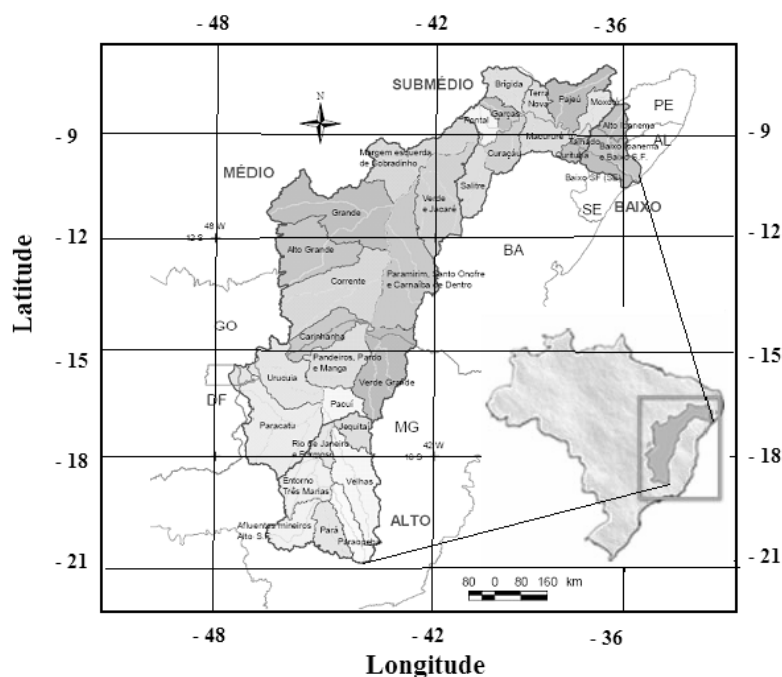


Figura 1 – Bacia hidrográfica do Rio São Francisco e localização dos principais tributários nas regiões fisiográficas da Bacia (Fonte: Filho et al., 2004).

O vale do São Francisco é atualmente um dos grandes pólos em produção e exportação de frutas do país e é periodicamente afetado por chuvas intensas e inundações. Esses fenômenos

representam risco em potencial para as atividades sócio-econômicas da região.

Diversos sistemas meteorológicos provocam chuva na área da Bacia: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), cavado

da alta troposfera do Atlântico Sul, vórtices ciclônicos da alta troposfera, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sistemas frontais e distúrbios de leste. Estudos realizados para a região do Submédio documentam episódios de chuvas intensas provocados por sistemas convectivos de mesoescala que se desenvolveram na presença de um ambiente sinótico favorável propiciado por: (a) um vórtice ciclônico de ar superior em março de 1985 (Silva et al., 2008), o cavado da alta troposfera do Atlântico Sul em janeiro de 1985 (SILVA ARAGÃO et al., 2007; DAMIÃO, 1999); um sistema frontal austral em junho de 1985 (BARBOSA & CORREIA, 2005; SOUZA, 2003).

Na primeira quinzena de abril de 1985 vários eventos de chuvas intensas causaram grande impacto na região do Submédio, particularmente no período de 9 a 12 devido às inundações nessa área da Bacia (CHESF, 1986). A disponibilidade de dados de radar meteorológico tem possibilitado estudar esse período sob vários enfoques com o objetivo de caracterizar a evolução da convecção e identificar os fatores que favoreceram seu desenvolvimento (BARBOSA & CORREIA, 2005; DINIZ et al., 2004; ARAÚJO, 1996; CORREIA, 1989).

Neste trabalho o mês de abril de 1985 é analisado utilizando uma técnica

estatística, a análise de componentes principais, com o objetivo de determinar a contribuição relativa das variáveis atmosféricas em várias escalas com base em dados observacionais de superfície e altitude coletados na área de Petrolina-PE e dados de reanálise dos National Centers for Environmental Predictions (NCEP). Nas discussões é dada ênfase ao período de 9 a 12 de abril, aqui denominado *período crítico*. Na Seção 2 os dados são relacionados e o método de análise é discutido. Na Seção 3 os resultados da análise em escala local e escala sinótica são discutidos separadamente. As conclusões são sintetizadas na Seção 4.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho são usados dados de reanálise obtidos do NCEP (National Centers for Environmental Predictions) no domínio definido pelas latitudes de 5°N e 15°S e longitudes de 45° e 30°W, espaçados de 2,5° x 2,5°. As variáveis utilizadas foram: temperatura do ar (T) e umidade específica (q) no nível de 925 hPa, e componente zonal (u) e meridional (v) do vento nos níveis de 925, 500 e 200 hPa. Os dados diários de superfície coletados no campo experimental de Bebedouro do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido (CPATSA) da Empresa Brasileira de

Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) possibilitaram avaliar a contribuição local com base nas seguintes variáveis: temperatura (T), umidade relativa (U), razão de mistura (r), pressão em superfície (P), temperatura do bulbo úmido (T_w), temperatura máxima (T_{MAX}), temperatura mínima (T_{MIN}), vento em superfície (componentes u e v), chuva (CHUVA), evaporação (EV) e insolação (INS). Na análise também foi considerada a Energia Potencial Convectiva Disponível Máxima ($CAPE_{MAX}$) obtida a partir das sondagens de ar superior realizadas às 15 UTC na estação de altitude de Petrolina. As sondagens foram cedidas pelo Instituto de Atividades Espaciais do Centro Tecnológico Espacial (IAE-CTA, atualmente o Instituto de Aeronáutica e Espaço do Centro Técnico Aeroespacial). A obtenção da $CAPE_{MAX}$ seguiu a metodologia de Zawadzki e Ro (1978) conforme modificação proposta por Correia (1989).

A estrutura de dependência entre as variáveis dominantes no período de estudo foi investigada usando a técnica estatística multivariada denominada de Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP) no modo temporal e espacial. Essa técnica consiste na redução de dados através do método VARIMAX, ou seja, a amostra de dados originais é analisada a partir de um número pequeno de

componentes ortogonais ou principais (CPs). O número adequado de CPs é escolhido pelo critério de truncamento de Kaiser, que considera como mais significativos os autovalores cujos valores sejam superiores à unidade (Garayalde et al., 1986).

Objetivando que os resultados não sejam influenciados pelas diferentes unidades de medida das variáveis, faz-se a normalização dos valores X_{ij} usando a relação:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i} \quad (1)$$

na qual \bar{X}_i é a média da variável i; S_i o desvio-padrão da i-ésima variável e X_{ij} as observações originais. A partir dos dados normalizados Y_{ij} obtém-se a matriz de correlação R dada por:

$$R = \frac{1}{n-1} (Y_{ij} \cdot Y_{ij}^t) \quad (2)$$

na qual Y_{ij}^t é a matriz transposta.

A obtenção de resultados satisfatórios na análise fatorial requer que sejam consideradas apenas as correlações superiores (em módulo) a 60% (HAIR et al., 1998).

A matriz R simétrica positiva é diagonalizada por uma matriz de mudança de base denominada de autovetores, resultando na matriz diagonal D, cuja própria diagonal são os autovalores (λ) de R, expressa por:

$$D = A^{-1} \cdot R \cdot A \quad (3)$$

Como a matriz A dos autovetores é ortogonal sua inversa A^{-1} é igual a sua transposta A^t . Usando combinações lineares entre a transposta dos autovetores (A^t) normalizados e a matriz de observações (X), obtém-se as CPs de acordo com:

$$C = A^t \cdot X \quad (4)$$

Cada linha de C é uma CP associada aos autovalores λ correspondentes, formando uma série temporal chamada de *pesos* ou *scores* que indica o índice de contribuição para a ocorrência de um determinado evento, definida pela seguinte equação:

$$C_i = a_{1j} \cdot x_{i1} + a_{1j} \cdot x_{i2} + \dots + a_{kj} \cdot x_{ik} \quad (5)$$

As componentes principais são combinações lineares não correlacionadas

que possuem propriedades específicas em termo de variâncias. A primeira componente principal possui a máxima variância. A segunda componente principal é aquela combinação que não está correlacionada com a primeira e representa a maior parte da variância restante. Os fatores são obtidos pela relação entre os autovetores e autovalores e podem ser distribuídos espacialmente representando a contribuição (peso) destes em relação à variância total do conjunto de dados.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Influência da escala local

O método da ACP aplicado aos dados observacionais de superfície e altitude permitiu verificar que um modelo gerado com três componentes é suficiente para representar a estrutura das variáveis, retendo 74% da variância total (Tabela 1).

Tabela 1 - Contribuição das CP's para a variância total dos dados observacionais.

Componente	Variância (%)
CP1	36.15
CP2	23.46
CP3	14.55
Total Acumulado	74.18

O número elevado de correlações significativas (acima de 0.60 em módulo) na matriz fatorial da Tabela 2 indica que a ACP é adequada para analisar as variáveis

observadas. As correlações significativas evidenciam as interligações mais importantes entre variáveis. A relação é inversa entre U e T, e entre EV, r e T_w . As

demais relações, todas diretas, também estão diretamente relacionadas com a presença de umidade na atmosfera, com exceção daquelas entre T_{MAX} e T , e entre INS , T_{MAX} e T , ligadas ao processo de aquecimento radiativo.

O grau de importância das variáveis para identificar qual grupo tem maior peso e os fatores dominantes para ocorrência do evento foram analisados pelo critério das correlações que mede a contribuição das variáveis para cada uma das CPs. O gráfico

da primeira componente principal (CP1) versus a segunda componente principal (CP2) (Fig. 2) mostra dois grupos de variáveis: o primeiro (representado pela elipse contínua), cuja correlação se aproxima mais com a CP1, e o segundo grupo (representado pela elipse tracejada), que está mais correlacionado com a CP2. Ambas as CPs tem correlação variando entre 0,6 e 1 (em módulo).

Tabela 2 – Matriz de correlações entre as variáveis atmosféricas observadas. Os valores superiores (em módulo) a 0.60 estão em negrito. As variáveis observadas são: temperatura (T), umidade relativa (U), razão de mistura (r), pressão em superfície (P), temperatura do bulbo úmido (T_W), temperatura máxima (T_{MAX}), temperatura mínima (T_{MIN}), componente zonal (u) e componente meridional (v) do vento em superfície, chuva ($CHUVA$), evaporação (EV), insolação (INS) e Energia Potencial Convectiva Disponível Máxima ($CAPE_{MAX}$).

	T	UR	r	P	T_W	T_{MAX}	T_{MIN}	U	V	CH	EV	INS	CAPE (MAX)
T	1												
UR	-0.62	1											
r	-0.11	0.85	1										
P	0.26	-0.16	-0.03	1									
T_W	-0.03	0.61	0.77	-0.05	1								
T_{MAX}	0.76	-0.42	-0.01	0.4	-0.1	1							
T_{MIN}	0.45	-0.21	0.03	0.33	0.12	0.44	1						
U	-0.31	0.28	0.16	0.19	-0.04	0.04	-0.5	1					
V	-0.11	-0.14	-0.25	-0.58	-0.32	-0.22	-0.25	-0.21	1				
CH	-0.05	0.33	0.39	-0.35	0.65	-0.29	-0.08	-0.14	-0.14	1			
EV	0.11	-0.56	-0.64	-0.14	-0.7	0.24	-0.06	-0.28	0.49	-0.39	1		
INS	0.66	-0.55	-0.26	0.42	-0.28	0.78	0.38	-0.14	-0.23	-0.17	0.4	1	
CAPE_(MAX)	-0.05	0.57	0.68	-0.17	0.84	-0.18	0.19	-0.14	-0.11	0.69	-0.53	-0.2	1

O grupo constituído por CAPE ($CAPE_{MAX}$), T_w , r , CHUVA e U indica claramente além da influência significativa de condições locais a alta correlação entre a chuva, a instabilidade atmosférica e o teor de umidade nos baixos níveis (expresso através da razão de mistura e da

CAPE). O grupo constituído por T, T_{MAX} , T_{MIN} e INS está relacionado com processos de aquecimento radiativo. Esse resultado indica que em superfície os processos de condensação e evaporação foram dominantes seguidos pelo processo de aquecimento radiativo.

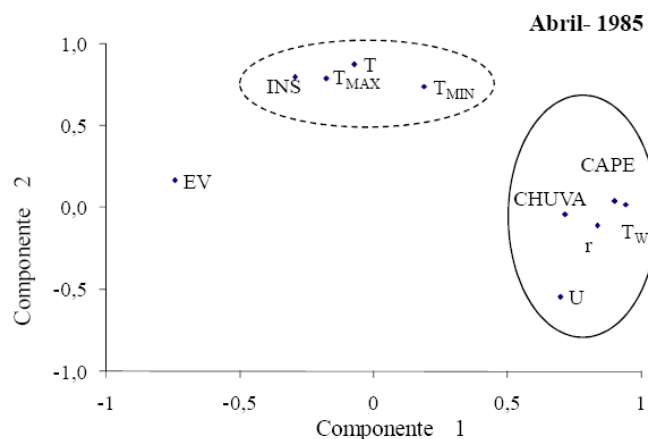


Figura 2 – Contribuição das variáveis observadas aos fatores através da ACP. As variáveis representadas no gráfico são: temperatura (T), umidade relativa (U), razão de mistura (r), temperatura do bulbo úmido (T_w), temperatura máxima (T_{MAX}), temperatura mínima (T_{MIN}), chuva (CHUVA), evaporação (EV), insolação (INS) e Energia Potencial Convectiva Disponível Máxima (CAPE).

A Tabela 1 mostra que a CP2 explica uma parcela substancial da variabilidade dos dados (23.5%). Logo de acordo com a Figura 2 o fator aquecimento radiativo tem um grau de importância significativo na definição das condições atmosféricas no período analisado. Pesquisas realizadas sobre a atividade convectiva na região de Petrolina ressaltam que o aquecimento radiativo representa um fator importante no processo de formação e

intensificação de sistemas convectivos (Silva et al. 2008; Barbosa e Correia, 2005; Correia, 1989).

3.2. Influência da escala sinótica

A aplicação da ACP aos dados de reanálise possibilitou identificar os fatores mais significativos para cada variável. Neste estudo o primeiro fator pode ser relacionado com mecanismos físicos associados a sistemas atmosféricos de

grande escala como convergência/divergência em escala sinótica. O segundo e demais fatores estão relacionados a mecanismos em escalas inferiores à sinótica.

3.2.1. Aplicação da ACP ao conjunto de dados de reanálise

A matriz de dados de reanálise foi disposta na forma de 63 linhas correspondentes aos

pontos de grade da área em estudo e 240 colunas contendo valores diários da temperatura (T) e da umidade específica (q) no nível de 925 hPa. e da componente zonal (u) e componente meridional (v) do vento nos níveis de 925, 500 e 200 hPa. A Tabela 3 mostra que um modelo gerado com quatro componentes é adequado para representar a estrutura das variáveis.

Tabela 3 – Contribuição das componentes principais para a variância do conjunto da reanálise.

Componentes	Variância (%)	Variância acumulada (%)
CP1	31.35	31.35
CP2	21.14	52.51
CP3	14.71	67.21
CP4	7.40	74.62

As CP1 e CP2 explicam 52.51% da variabilidade total dos dados. A Tabela 4 que contém os valores de correlação acima (abaixo) de 0.60 (-0.60) evidencia que o primeiro fator tem correlação positiva com a maioria das variáveis. Cargas fatoriais (positivas) relacionadas com a componente meridional em 925 hPa (v_{925}) são vistas em todo o mês, enquanto que isso ocorre apenas em alguns dias para as demais variáveis. Cargas fatoriais negativas estão relacionadas apenas com a componente meridional em 200 hPa (v_{200}) em poucos dias do mês.

Observa-se que nos dias 9 e 10 q_{925} e v_{925} apresentam cargas positivas, enquanto que v_{200} tem cargas negativas. Essa estrutura aponta para a importância da relação entre a umidade e o vento na baixa troposfera. Ela indica ainda que condições dinâmicas (circulações) opostas atuaram na alta e baixa troposfera de forma a favorecer as chuvas inclusive no dia 11.

Tabela 4 – Contribuição das variáveis atmosféricas ao primeiro fator através da ACP (valores de correlação maior do que 0.60 em módulo). As variáveis tabeladas são: umidade específica (q), temperatura (T), componente zonal (u) e componente meridional (v) do vento. Os sub-índices representam os níveis de 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa. Os valores em negrito pertencem ao período de 9 a 12 de abril de 1985.

DIA	q ₉₂₅	T ₉₂₅	u ₉₂₅	v ₉₂₅	u ₅₀₀	v ₅₀₀	u ₂₀₀	v ₂₀₀
1		0.67	0.67	0.85				
2		0.65		0.9		0.78		0.63
3		0.71		0.94		0.76		
4		0.87		0.83			0.63	
5		0.87		0.89				
6		0.74		0.72				
7		0.76		0.85				-0.66
8	0.66	0.64		0.92				-0.83
9	0.70			0.94				-0.83
10	0.63			0.93				-0.88
11				0.86				-0.77
12				0.7				
13				0.91				
14				0.93		0.8		
15				0.94		0.62		
16		0.72		0.96				
17		0.74		0.83				
18				0.87	0.67			
19		0.67		0.85	0.83			0.75
20				0.79	0.91			
21	0.61			0.79	0.93			
22	0.63			0.8	0.89		0.66	
23				0.89	0.84		0.66	-0.84
24				0.82	0.72			-0.77
25				0.92	0.87			
26				0.96	0.82			
27	0.8			0.91	0.74			
28	0.74			0.66				-0.74
29				0.85		0.63	0.64	-0.84
30		0.67		0.62	0.75			

Semelhantemente. as cargas fatoriais do segundo fator são mostradas na Tabela 5. Nela a componente zonal do vento em 925 hPa (**u₉₂₅**) tem valores positivos em quase todo o mês, enquanto que em 200 hPa

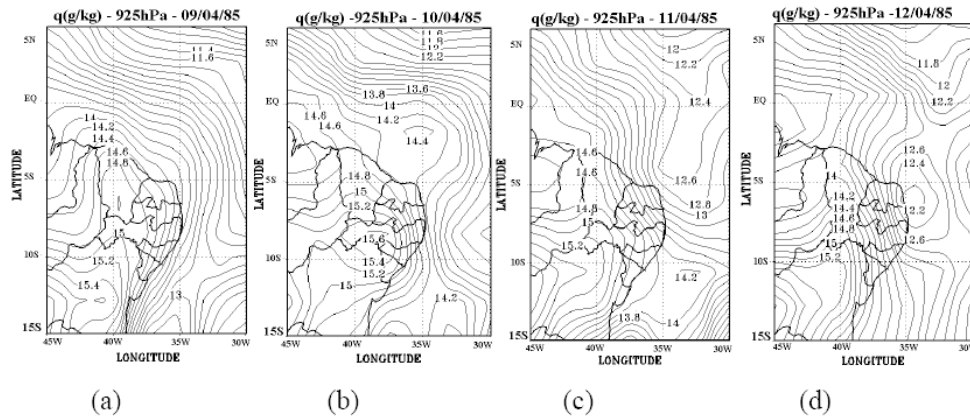
(**u₂₀₀**) apresenta valores negativos durante metade do mês. Essa estrutura vertical é análoga a da componente meridional no primeiro fator inclusive nos dias 9, 10 e 11.

Tabela 5 – Contribuição das variáveis atmosféricas ao segundo fator através da ACP (valores de correlação maior do que 0.60 em módulo). As variáveis tabeladas são: umidade específica (q), temperatura (T), componente zonal (u) e componente meridional (v) do vento. Os sub-índices representam os níveis de 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa. Os valores em negrito pertencem ao período de 9 a 12 de abril de 1985.

DIA	q ₉₂₅	T ₉₂₅	u ₉₂₅	v ₉₂₅	u ₅₀₀	v ₅₀₀	u ₂₀₀	v ₂₀₀
1								
2			0.77					
3			0.85					
4			0.86					
5			0.83					
6			0.85					
7			0.82				-0.68	
8			0.89				-0.76	
9		0.6	0.92				-0.8	
10			0.86				-0.77	
11		0.61	0.7				-0.79	
12							-0.8	
13			0.75					
14		0.72	0.91				-0.72	
15			0.85				-0.75	
16			0.76					
17			0.73					
18	0.6		0.68					
19			0.63					
20			0.63				-0.75	
21	0.61	0.75					-0.8	
22	0.63		0.78				-0.71	
23			0.67				-0.7	
24							-0.8	
25			0.64				-0.73	
26		0.68	0.9				-0.63	
27		0.82	0.8					
28		0.81	0.63		-0.63			
29			0.81		-0.64			
30								-0.76

A distribuição espacial da umidade específica (q) no nível de 925 hPa para os dias 9, 10, 11 e 12 de abril (Fig. 3) mostra valores elevados concentrados na região semi-árida. No dia 10 um núcleo com valores máximos na área

de Pernambuco evidencia o alto teor de umidade nos baixos níveis da atmosfera, e conseqüentemente, condições favoráveis ao desenvolvimento de forte atividade convectiva neste dia.



12 de abril. Paralelamente, a distribuição espacial da componente meridional (v) mostra escoamento de norte na área norte do Nordeste e de sul sobre os estados de Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia no início do período com máximo de 4 m/s sobre a Bahia (Fig. 5e) caracterizando uma situação de convergência sobre a região. A

intensidade dessa componente diminui gradualmente sobre todo o Nordeste; o máximo sobre a Bahia atinge 0.5 m/s no dia 12 (Fig. 5h). Nesse dia e no dia anterior (Fig. 5g) a latitude de 10°S separa as áreas com componente de norte e de sul indicando convergência em torno dessa latitude.

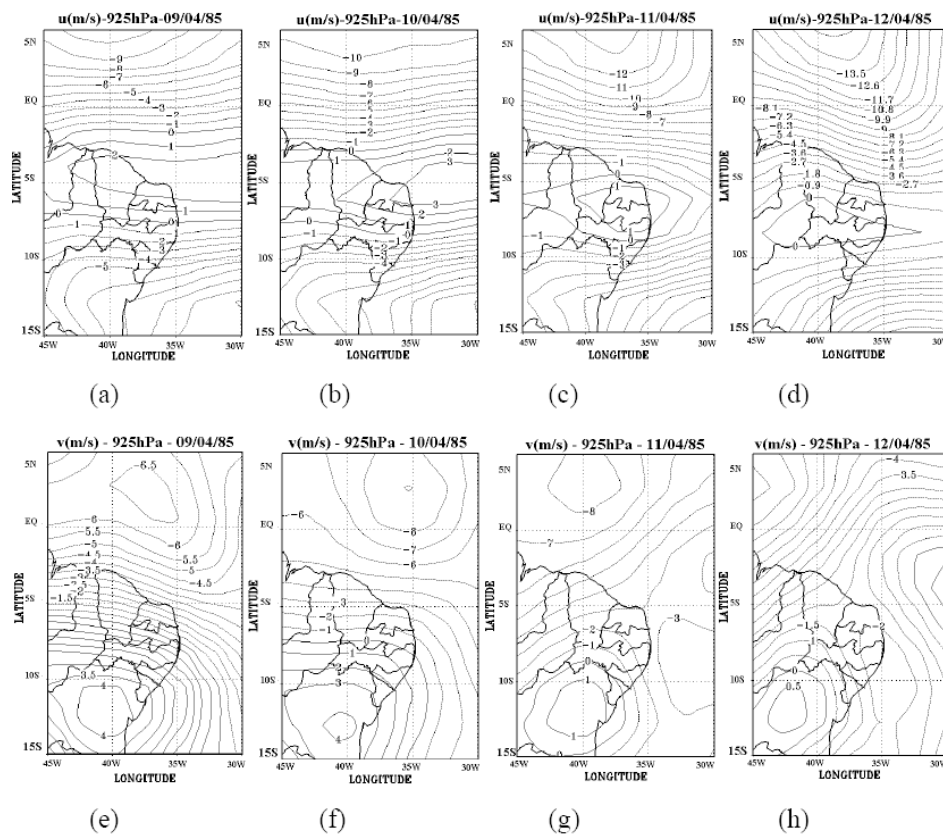


Figura 5 - Configuração espacial no nível de 925 hPa da componente zonal (u) do vento (m/s) no dia: (a) 9, (b) 10, (c) 11 e (d) 12; e da componente meridional (v) do vento (m/s) no dia: (e) 9, (f) 10, (g) 11 e (h) 12 de abril de 1985. O intervalo de análise é 0.9 m/s em (d), 0.5 m/s em (e), (h) e 1.0 m/s nos outros mapas.

A distribuição espacial da componente zonal (u) do vento no nível de 200 hPa (Fig. 6a-d) mostra escoamento de leste sobre todo o Nordeste no dia 9 (Fig. 6a) que gradualmente cede lugar a escoamento de oeste a partir do sul da

região (Fig. 6b) enquanto que o escoamento de leste enfraquece sobre o Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte. No dia 11 a componente de oeste domina toda a Bahia enquanto que o escoamento de leste é visivelmente mais fraco (Fig. 6c).

No dia 12 a principal característica é o escoamento de oeste, fraco sobre a Bahia e intenso sobre a área oceânica adjacente (Fig. 6d).

O deslocamento dessa área positiva no decorrer do *período crítico* sugere o avanço de um sistema de latitudes médias austrais sobre a Bahia. Essa hipótese é confirmada pela distribuição espacial da componente meridional (v) do vento no mesmo nível (Fig. 6e-h). Inicialmente ela mostra um núcleo de componente de norte

sobre a Bahia (Fig. 6e) que gradualmente cede lugar a um núcleo de componente de sul (Fig. 6f-h) indicando o avanço de um cavado de latitudes médias austrais sobre esse estado. Por outro lado, a distribuição espacial do dia 9 que mostra componente de norte (sul) ao sul (norte) do estado de Pernambuco, indica que há divergência na área o que representa um fator dinâmico de grande escala favorável ao desenvolvimento de sistemas convectivos.

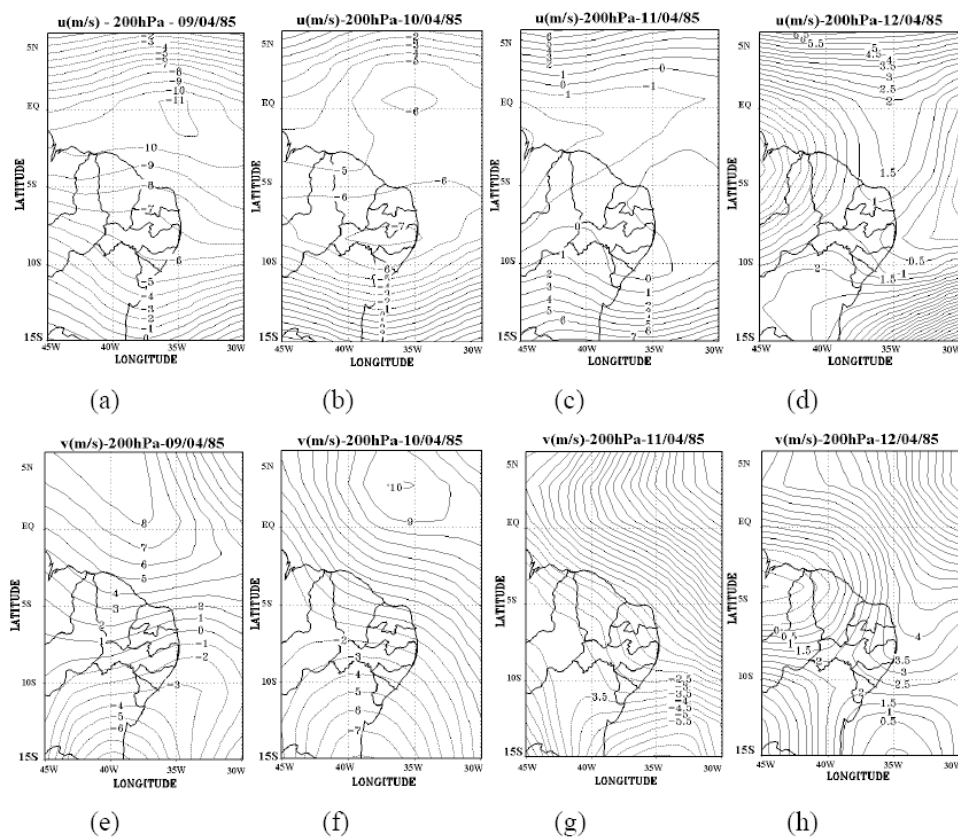


Figura 6 - Configuração espacial no nível de 200 hPa da componente zonal (u) do vento (m/s) no dia: (a) 9, (b) 10, (c) 11 e (d) 12; e da componente meridional (v) do vento (m/s) no dia: (e) 9, (f) 10, (g) 11 e (h) 12 de abril de 1985. O intervalo de análise é 0.5 m/s em (d), (g), (h) e 1.0 m/s nos outros mapas.

Os resultados desta análise mostram que mecanismos dinâmicos na baixa e alta troposfera foram fundamentais na definição das condições atmosféricas observadas em abril de 1985. Entretanto, a aplicação da ACP a todo o conjunto de dados de reanálise (baixa, média e alta troposfera) não favorece a obtenção de informações que ressaltem padrões atmosféricos diferenciados na troposfera no período de chuvas intensas de 09 a 12 de abril. Diante disso, aplicou-se a ACP aos dados de reanálise do nível de 925 hPa separadamente.

3.2.2. Aplicação da ACP aos dados de reanálise do nível de 925 hPa

A Tabela 6 apresenta dois conjuntos de cargas fatoriais: (a) para os quatro fatores comuns temporais que explicam 87% da variância total da umidade específica e (b) para os seis fatores comuns temporais que explicam 90.5% da variância total da temperatura. A tabela evidencia que o primeiro fator (F1) tem cargas fatoriais significativas elevadas para a umidade específica na primeira

quinzena do mês enquanto que a temperatura está igualmente correlacionada com F1 e o segundo fator (F2) em dias diferentes do mês.

No período de 09 a 12 de abril os valores são extremamente altos para as duas variáveis. É importante observar que é F3 que apresenta correlação elevada com a temperatura no dia 12, uma indicação da presença do núcleo de máxima temperatura visto na Figura 4d. Uma explicação para esse máximo pode estar no aquecimento da atmosfera em mesoescala provocado pelos processos convectivos do *período crítico*. Nos dias 15 a 26 de abril as cargas fatoriais (não mostradas) são muito baixas. Esse resultado indica a importância do teor de umidade na baixa troposfera para o desenvolvimento de sistemas precipitantes intensos e ocorrência de chuva forte (DINIZ et al., 2004; ARAÚJO, 1996).

Tabela 6 – Cargas das variáveis em cada fator: correlações (maiores do que 0.60) entre os fatores e as variáveis **q** e **T** em 925 hPa. Os valores em negrito correspondem ao período de 9 a 12 de abril de 1985.

DIA	q ₉₂₅				T ₉₂₅					
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F5	F6
1	0.72									
2	0.72									
3	0.72									
4	0.71				0.85					
5	0.74				0.87					
6	0.74				0.87					
7	0.78				0.86					
8	0.85					0.79				
9	0.91					0.79				
10	0.87					0.68				
11	0.79					0.79				
12	0.82						0.82			
13	0.68	0.63				0.63				
14	0.61									
15		0.72			0.78					
16		0.77			0.83					
17		0.76				0.66				
18				0.6		0.79				
19				0.7			0.73			
20										
21			0.82				0.82			
22			0.83				0.89			
23			0.78				0.9			
24		0.73								0.85
25		0.62	0.63							0.74
26			0.64						0.69	
27	0.79								0.92	
28	0.92								0.81	
29	0.85						0.82			
30	0.69									

A Tabela 7 apresenta dois conjuntos de cargas fatoriais: para os quatro fatores comuns temporais que explicam 90.5% da variância da componente zonal e (b) para os três fatores comuns temporais que explicam 89.3% da

variância da componente meridional. Nessa tabela é evidente que dentro do *período crítico* F1 (F2 no dia 9) tem cargas fatoriais significativas para a componente zonal, enquanto que F2 (F1 no dia 11) tem cargas fatoriais significativas para a

componente meridional. Analisando em conjunto os resultados do nível de 925 hPa (Tabelas 6 e 7) é possível concluir que no início do *período crítico* (dia 9) o escoamento em escala sub-sinótica (mesoescala) e o alto teor de umidade em escala sinótica possibilitaram o desenvolvimento de células convectivas organizadas em linha observadas nos ecos de radar discutidos em Diniz et al. (2004).

Nos dias 10 a 12 a umidade e a componente zonal do vento são determinadas pelo ambiente de escala sinótica, enquanto que a componente meridional representa o escoamento em escala sub-sinótica indicando a existência de interação construtiva entre escalas no *período crítico*. Por outro lado, vários fatores contribuem de forma diferenciada em todas as variáveis no decorrer do mês. Esse fato é ilustrado pelas séries temporais da Figura 7.

A Figura 7a a ilustra a variação diária das cargas fatoriais (correlações) dos três primeiros fatores comuns da umidade específica que tem quatro fatores significativos que explicam 84.7% (40.8% + 18.2% + 16.2% + 9.6%) da variância total dos dados. O gráfico evidencia que os doze primeiros dias do mês são dominados por F1 que apresenta valores extremamente elevados sugerindo que um mecanismo dinâmico (convergência) em grande escala contribuiu para a existência dos valores

elevados de umidade do *período crítico* (Fig. 3). Esse fator volta a ter valores comparativamente elevados apenas no final do mês. De maneira geral, na segunda quinzena do mês F2/F1 e F3/F1 se alternam no domínio da distribuição diária.

O gráfico das cargas fatoriais dos três primeiros fatores comuns da temperatura (Fig. 7b) que tem seis fatores comuns temporais explicando 90.6% (24.5% + 19.1% + 14.4% + 12.5% + 12.3% + 7.8%) da variância total dos dados é mais complexo. No *período crítico* dominam F2 (dias 9 a 11) e F3 (dia 12); o fator que apresenta maior correlação varia até o dia 20; após esse dia os três fatores apresentam correlações baixas com exceção do dia 29 no qual F3 tem correlação muito alta.

No caso da componente zonal quatro fatores comuns temporais explicam 90.5% (29.7% + 26.9% + 20.4% + 13.6%) da variância total dos dados; os três primeiros fatores são ilustrados na Figura 7c mostrando que as correlações são elevadas para F1 nos dias 11 e 12. É possível observar ainda que as principais variações de F1 têm periodicidade em torno de 10 dias e que o mesmo acontece com F2 sugerindo a existência de oscilações nessa escala de tempo na circulação de grande escala.

Tabela 7 – Cargas das variáveis em cada fator: correlações (maiores do que 0.60) entre os fatores e as componentes **u** e **v** em 925 hPa. Os valores em negrito correspondem ao período de 9 a 12 de abril de 1985.

DIA	u₉₂₅				v₉₂₅		
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3
1				0.86			
2				0.77	0.61		
3					0.62		
4		0.68					
5		0.81			0.84		
6		0.77					
7		0.78				0.89	
8		0.85				0.64	
9		0.64				0.61	
10	0.63					0.68	
11	0.87				0.68		
12	0.94					0.66	
13	0.82						0.84
14		0.72					0.65
15		0.71				0.62	
16			0.6		0.67		
17			0.73				
18			0.81				0.78
19	0.71				0.68		
20	0.9				0.68		
21	0.83					0.76	
22	0.63					0.69	
23	0.7						
24			0.68		0.76		
25			0.84				0.6
26		0.7				0.66	
27				0.72		0.64	
28				0.77	0.81		
29					0.88		
30	0.73				0.69		

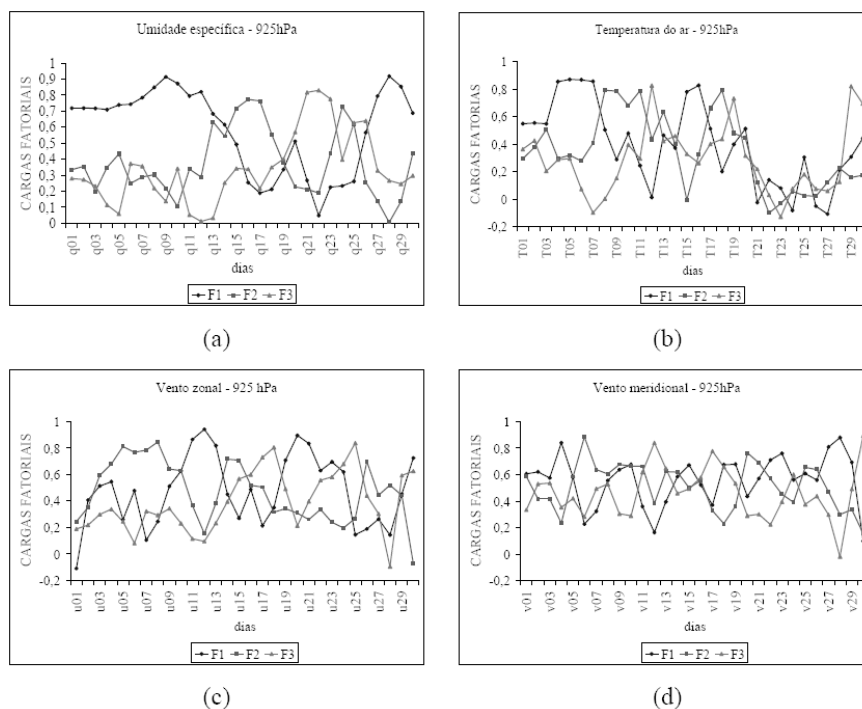


Figura 7 – Cargas fatoriais (correlações) diárias dos três primeiros fatores comuns temporais da: (a) umidade específica, (b) temperatura, (c) componente zonal do vento e (d) componente meridional do vento. Observe que o intervalo no eixo das ordenadas é de 0.1 em (a) e de 0.2 nos outros gráficos.

O gráfico das cargas fatoriais dos três primeiros fatores comuns temporais que explicam 89.3% (34.7% + 29.3% + 25.3%) da variância total da componente meridional (Fig. 7d) não apresenta correlações muito altas em geral. No *período crítico* os valores ficam próximos de 0.6 com exceção do dia 12 com valor acima de 0.8 para F3. Observa-se ainda que as principais variações de F1 tem periodicidade em torno de 5 dias, o que sugere mudanças nessa componente provocadas pelo avanço de sistemas frontais austrais em direção ao equador. O impacto desses sistemas nas condições de tempo na área do Nordeste foi abordado

por Kousky (1979) e mais recentemente por Santos (2008). Barbosa & Correia (2005), Souza (2003), Silva Aragão et al. (2000), Correia (2000) e Araújo (1996).

O padrão espacial do fator que domina cada uma das variáveis no primeiro dia do *período crítico* é ilustrado na Figura 8. No caso da umidade específica esse fator é F1; sua distribuição espacial (Fig. 8a) mostra valores acima (abaixo) de 1 (-1) na área semi-árida (Atlântico Norte). A configuração espacial desse fator é semelhante nos outros dias do *período crítico* (não mostrados) como também é semelhante à da umidade específica nos quatro dias (Fig. 3). Esse

fato é explicado pelos valores extremamente elevados de correlação evidenciados pela Tabela 6 e Figura 7a. Os resultados mostram o alto teor de umidade nos baixos níveis da atmosfera na região semi-árida como uma condição essencial

para a ocorrência de convecção profunda. A alta correlação entre os dias reflete o peso dessa variável (umidade) na definição do tempo observado no *período crítico*.

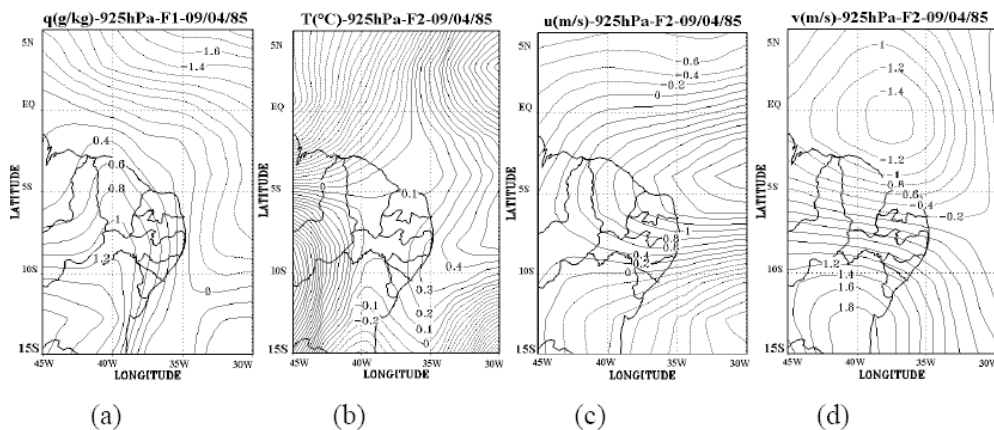


Figura 8 – Padrão espacial do fator comum temporal que explica a maior parte da variância no nível de 925 hPa no primeiro dia (dia 9) do *período crítico* para: (a) umidade específica, (b) temperatura, (c) componente zonal do vento e (d) componente meridional do vento. As isolinhas de correlação estão espaçadas de 0.1 em (b) e de 0.2 nos outros mapas.

No caso da temperatura o fator dominante é F2; sua distribuição espacial (Fig. 8b) mostra valores acima de 1 no oeste do Nordeste, enquanto que há valores baixos no restante da região. De maneira geral, essa configuração espacial mostra semelhança com o campo da temperatura para esse dia (Fig. 4a). A mesma semelhança é observada nos outros dias (não mostrados).

No caso da componente zonal do vento o fator com correlações significativas no primeiro dia é F2, mas é

F1 nos outros dias do *período crítico* o que sugere uma mudança de escala dominante nessa variável a partir do segundo dia. Na distribuição espacial há valores negativos sobre a Bahia e valores positivos ao norte que ultrapassam a unidade no leste do Ceará e no Rio Grande do Norte (Fig. 8c). A configuração espacial desse fator guarda semelhança com o campo da componente zonal do vento ilustrado na Figura 5a. Também há semelhança entre o campo do fator e o campo da variável para cada um dos outros dias (não mostrados).

No caso da componente meridional do vento o fator com correlações significativas no primeiro dia é F2 e é F1 apenas no terceiro dia do *período crítico*. A distribuição espacial mostra um padrão de dipolo bem definido: o núcleo positivo centrado sobre a Bahia tem valor central de 1.8, enquanto que o núcleo negativo está centrado ao norte do Nordeste e tem valor central de -1.4. A região de transição entre esses dois núcleos coincide com a área de confluência identificada na Figura 5e. Semelhantemente às outras variáveis o campo do fator e o campo da variável têm semelhança em todos os dias do *período crítico*.

4. CONCLUSÕES

A análise fatorial em componentes principais (ACP) foi utilizada para determinar as escalas dominantes, a contribuição relativa das variáveis meteorológicas e os processos físicos envolvidos em eventos de chuva intensa e formação de cheias que resultaram em inundações na área do Submédio São Francisco em abril de 1985. É dada ênfase ao período de 9 a 12 desse mês denominado *período crítico*.

A aplicação da ACP a dados observacionais de superfície e altitude coletados na área de Petrolina-PE mostra que um modelo com três componentes é suficiente para representar a estrutura das

variáveis na escala local retendo 74% da variância total. A análise também permite identificar dois grupos de processos físicos dominantes nessa escala: o primeiro relacionado com o teor de umidade e a instabilidade da atmosfera e o segundo com o aquecimento radiativo da superfície.

A aplicação da ACP ao conjunto de dados de reanálise formado pelas variáveis umidade específica e temperatura do ar no nível de 925 hPa e pelas componentes zonal e meridional do vento nos níveis de 925, 500 e 200 hPa mostra que um modelo com quatro componentes é adequado para representar a estrutura das variáveis retendo 75% da variância total. As cargas fatoriais mais significativas indicam que as condições em escala sinótica foram determinantes para a ocorrência de chuvas intensas no *período crítico* através do elevado teor de umidade na baixa troposfera e de convergência (divergência) de massa na baixa (alta) troposfera.

A aplicação da ACP aos dados de reanálise do nível de 925 hPa mostra que o primeiro e o segundo fator apresentam cargas fatoriais (correlações) significativas com as variáveis no *período crítico*, exceto o dia 12 para a temperatura, quando domina o terceiro fator, o que pode ser resultado do aquecimento em mesoescala causado pelos processos convectivos. O primeiro fator, relacionado com o ambiente sinótico, domina o campo da umidade

durante todo o período, o da componente zonal nos três primeiros dias e o da componente meridional no terceiro dia. O segundo fator, relacionado com escalas sub-sinóticas, domina o campo da temperatura nos três primeiros dias e o da componente meridional nos dois primeiros e no último dia. Esse resultado mostra que as escalas sinótica e sub-sinóticas tiveram contribuição significativa no *período crítico*.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq – Processo Nº: 504189/2003-4, a CAPES pela bolsa de pós-graduação da primeira autora, ao NCAR/NCEP (National Center for Atmospheric Research/National Centers for Environmental Predictions) pelo acesso aos dados de reanálise, ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido (CPATSA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pela cessão dos dados diários de superfície coletados no campo experimental de Bebedouro e ao Instituto de Atividades Espaciais do Centro Tecnológico Espacial (IAE-CTA), atualmente Instituto de Aeronáutica e Espaço do Centro Técnico Aeroespacial) pela cessão das sondagens de ar superior realizadas na estação de altitude de Petrolina-PE.

6 - REFERÊNCIAS

- ARAÚJO. H. A. Padrões de ecos de radar meteorológico no semi-árido brasileiro e condições atmosféricas associadas, 1996, 130 f **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1996.
- BARBOSA. T. F.; CORREIA. M. F. Sistemas convectivos intensos no semi-árido brasileiro: o controle da grande escala, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 3, p. 395-410, dez. 2005.
- CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco. **Relatório da comissão interministerial de estudos para o controle das enchentes do rio São Francisco**, 1986.
- CORREIA. A. A. Padrões de variabilidade do vento à superfície no Nordeste do Brasil, 2000. 66 f, **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.
- CORREIA. M. F. Diagnóstico via radar dos sistemas precipitantes do semi-árido brasileiro: o evento de 1985, 1989, 88 f. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 1989.
- DAMIÃO. M. C. Um estudo das condições atmosféricas em janeiros secos e chuvosos no semi-árido do Nordeste do Brasil e sua relação com a chuva em meses posteriores na região, 1996, 130 f. **Dissertação** (Mestrado) -: Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1996.
- DINIZ. M. C. S.; CORREIA. M. F.; SILVA ARAGÃO. M. R. Convecção profunda no submédio do Rio São Francisco: uma avaliação das condições atmosféricas na área do aeroporto de Petrolina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 3, p. 273-285, 2004.
- FILHO. J. G. C. G. et al. **Projeto de gerenciamento integrado das**

- atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco** – ANA/GEF/PNUMA/OEA – estudo técnico de apoio ao plano da bacia hidrográfica do São Francisco, n. 10, controle de cheias, Abril, 2004. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/prhbsf>>. Acesso em: 15/08/2005 as 20:52.
- GARAYALDE. E. J. G.; da SILVA. M. G. A.; TAVARES. A. de SÁ. Classificação meso climática da região sul do Brasil pela análise de componentes principais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA. 1, 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: SOCIEDADE BRASILEIRA DE METEOROLOGIA, v. 1, 1986, p. 119-124.
- HAIR. J. F. Jr et al. *Multivariate Data Analysis*, 5 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- KOUSKY. V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140-1153, 1979.
- SANTOS. A. H. M. Eventos extremos de chuva em Salvador. Bahia: condições atmosféricas e impactos ambientais, 2008, 65 f. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.
- SILVA. F. D. S.; CORREIA. M. F.; SILVA ARAGÃO. M. R.; SILVA. J. M. Convecção linearmente organizada na área de Petrolina, semi-árido do Nordeste do Brasil: aspectos em meso e grande escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 292-304, 2008.
- SILVA ARAGÃO. M. R.; CORREIA. M. F.; ARAÚJO. H. A. Characteristics of C-band meteorological radar echoes at Petrolina, Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 20, p. 279-298, 2000.
- SILVA ARAGÃO. M. R.; DAMIÃO MENDES. M. C.; CAVALCANTI. I. F. A.; CORREIA. M. F. Observational study of a rainy January day in the Northeast Brazil semi-arid region: synoptic and mesoscale characteristics. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 133, p. 1127-1141, 2007, DOI: 10.1002/qj.81
- SOUZA. P. P. Estudo da atuação de um sistema de latitudes médias no semi-árido do Nordeste do Brasil: aspectos de grande e mesoescala, 2003, 102 f. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2003.
- ZAWADZKI. I. I.; RO. C. U. Correlation between maximum rate of precipitation and mesoscale parameters. **Journal of Applied Meteorology**, v. 17, 1978.