



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

DETERMINAÇÃO DE PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAL E REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Leandro Rodrigues de Souza¹; Jonathan Castro Amanajás²; Ana Paula Nunes da Silva³;

Célia Campos Braga⁴; Magaly de Fátima Correia⁵

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar os padrões espaço-temporal da precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais relacionando com seus respectivos sistemas atmosféricos precipitantes e identificar regiões homogêneas. Usaram-se os métodos de Análise Fatorial em Componentes Principais e de Agrupamento para reduzir um conjunto original de variáveis (precipitação mensal) num conjunto menor de variáveis (componentes) não relacionadas, e agrupar indivíduos de maneira que estes sejam semelhantes em algum aspecto. Observou-se que as três primeiras Componentes Principais descrevem 80,4% da variância total da precipitação observada, em que o primeiro fator explica 34,3% da variância e mostrou altas correlações com as chuvas de dezembro a abril na região sul do Estado, a qual é influenciada, principalmente pela atuação de sistemas frontais. O segundo fator explica 26,6% da variância dos dados e apresentou correlações expressivas com as chuvas de maio a setembro na região noroeste e sudoeste, e está possivelmente relacionado a frentes frias e a Zona de Convergência do Atlântico Sul. Por último, percebe-se que as contribuições relativas ao terceiro fator, com 19,5% da variância dos dados, representaram os meses de outubro e novembro, e está associado a sistemas de meso e microescala. Encontraram-se, ainda, quatro regiões homogêneas em relação à variabilidade sazonal e interanual da pluviometria. Conclui-se que os métodos estatísticos testados apresentaram resultados satisfatórios para este tipo de análise, visto que, corrobora com outros estudos.

Palavras-chave: pluviometria; rotação de fatores; grupos homogêneos.

DETERMINATION OF SPACE-TIME PATTERNS AND RAINFALL HOMOGENEOUS AREAS AT MINAS GERAIS STATE

ABSTRACT

The present study aimed to determine the spatial and temporal rainfall in Minas Gerais State relating to their respective rainfall weather systems and to identify homogeneous regions. The method of Factorial Analysis in Principal Components and Hierarchical Grouping were used to determine the seasonal and spatial patterns and homogeneous groups of rainfall. It was observed that the three first principal components describe 80.4% of the total variance of rainfall observed, in that the first factor explains 34.3% of the variance and showed high correlations with the rains from December to April in the southern State, which is influenced, mainly by the performance of frontal systems. The second factor explains 26.6% of data variance and showed significant correlations with rainfall from May to September in the northwest and southwest, and is possibly related to cold fronts and the South Atlantic Convergence Zone. Finally, the relative contributions to the third factor, with 19.5% of data variance accounted for the months of October and November, and are associated with mesoscale and microscale systems. Four homogeneous regions in relation to seasonal and interannual variability of rainfall were found. It concludes that statistical methods tested showed satisfactory results for this type of analyze, corroborates previous studies.

Keywords: rainfall; rotation of factors; homogeneous groups.

Trabalho recebido em 09/05/2011 e aceito para publicação em 12/07/2011

¹ Mestrando em Meteorologia da UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882. Campina Grande, PB. E-mail: souzalr@msn.com

² Doutorando em Meteorologia da UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882. Campina Grande, PB. E-mail: jonathan.amanajas@hotmail.com

³ Doutoranda em Meteorologia da UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882. Campina Grande, PB. E-mail: apns@ymail.com

⁴ Professora do DCA/UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882. Campina Grande, PB. E-mail: celia@dca.ufcg.edu.br

⁵ Professora do DCA/UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882. Campina Grande, PB. E-mail: magaly@dca.ufcg.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O padrão de chuvas de uma determinada região é afetado por diversos sistemas atmosféricos de grande, meso e microescala, que dependendo das características locais, determinam a intensidade e tempo de atuação dos sistemas que favorecem a precipitação local. Desta maneira, o estabelecimento de metodologias apropriadas para definir o comportamento pluvial, em níveis regionais, é de suma importância para suprir as deficiências das informações climáticas de seus usuários, tais como gestão do planejamento e uso dos recursos hídricos, agroindústria, meio urbano e energético.

A delimitação das regiões homogêneas de chuva, quando realizada de forma integrada, isto é, considerando-se as suas variações intra e interanuais, pode revelar a forma de atuação dos sistemas geradores da chuva na região. Assim, uma descrição e caracterização das distribuições pluviométricas implicam em uma convivência melhor com fenômenos adversos (MELO JÚNIOR *et al.*, 2006).

As regiões hidroclimaticamente homogêneas não só estabelecem os indicadores do potencial do meio físico e biológico para a região em estudo, mas também, registram e delimitam as áreas de padrões homogêneos de atividades agrícolas e

dos recursos naturais nela existentes (SEDIYAMA *et al.*, 2001).

Diversos trabalhos têm sido realizados estudando-se o regime de chuvas da região Sul do Brasil. Sansigolo & Nery (1998) aplicaram as metodologias de análise fatorial e de agrupamento aos dados de chuva nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, visando à sua regionalização e melhor compreensão de seus padrões sazonais e interanuais.

Silva & Nery (2001) utilizaram a análise de componentes principais e agrupamento para determinar regiões homogêneas de chuva na região centro-sul do estado do Paraná. Três grupos homogêneos de precipitação foram obtidos, evidenciando significativa variabilidade pluviométrica entre a região estudada e as demais.

Objetivando identificar regiões homogêneas de chuva para posterior análise periodográfica no estado do Ceará, Silva *et al.* (2001) procuraram reunir as estações disponíveis em grupos distintos, de acordo com o comportamento das chuvas trimestrais em cada uma destas. Utilizaram a análise de agrupamento, empregando-se o método de classificação hierárquico aglomerativo de Ward, tendo como medida de similaridade a distância euclidiana ao quadrado e a inércia intra-classe como critério de agregação. Pelo método proposto, chegaram à classificação de quatro grupos distintos.

Considerando a necessidade de se realizar uma avaliação mais consistente do comportamento espaço-temporal do regime de chuvas para o estado de Minas Gerais, o presente estudo tem como objetivo: identificar a atuação dos sistemas atmosféricos que influenciam a precipitação da região, bem como obter e espacializar grupos de estações pluviométricas que caracterizam regiões homogêneas de frequência de chuva, utilizando-se os procedimentos da análise estatística multivariada, componentes principais rotacionados e agrupamentos, para toda a região em estudo.

cujo território é bastante diversificado com várias regiões de serras, chapadas, vales e áreas urbanas. Possui vegetação bastante diversificada, visto que, esta sobre uma área de transição entre o sudeste e o nordeste brasileiro, com locais de índices pluviométricos abaixo da média, ao norte do Estado, e acima da média, mais ao sul, que favorece empreendimentos agropecuários e energéticos na região. Os dados de precipitação utilizados consistem nas séries mensais e anuais de precipitação pluviométrica (mm) para um período de 30 anos (1961-1990) em 57 estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), distribuídas espacialmente sobre o Estado, conforme Figura 1.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo e dados de precipitação

A área de estudo abrange o estado de Minas Gerais (Figura 1), sudeste do Brasil,

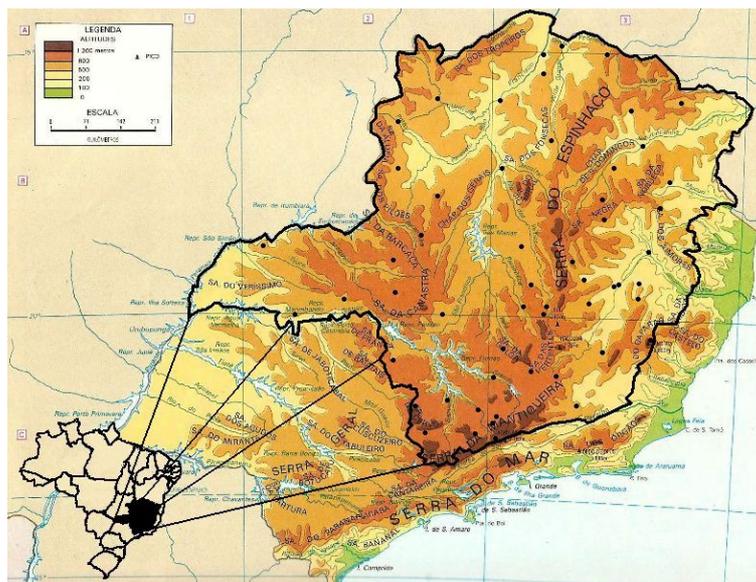


Figura 1. Espacialização das estações climatológicas do INMET no estado de Minas Gerais. Adaptado de Simielli (1991).

2.2. Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP)

O método de Análise Fatorial em Componentes Principais foi introduzido pela primeira vez em estudos meteorológicos por Lorens, em 1956, que as denominou de Funções Ortogonais Empíricas (FOE) para destacar sua natureza não analítica (BRAGA, 2000). Este método tem por objetivo transformar “p” variáveis originais correlacionadas em componentes não correlacionadas ou ortogonais, sendo estes componentes funções lineares, em que p variáveis originais são medidos em n indivíduos (BOUROCHE *et al.*, 1982).

Essa técnica não só permite a redução da dimensão da matriz de dados, ao mesmo que a máxima variância pode ser explicada pela classificação dos autovetores associados aos maiores autovalores da matriz de correlação, ou seja, os dados originais podem ser analisados a partir de um número pequeno de componentes independentes entre si (PREISENDORFER, 1988).

A coleta básica de informações na análise fatorial é a matriz de dados (PANDZIC, 1988). Em n observações existem m variáveis, então a matriz de dados normalizada de precipitação pluvial pode ser apresentada por $Z_{(m \times n)}$, a partir da qual se obtém a matriz de correlação R dada pela Equação 1.

$$R = \frac{1}{n-1}(Z)(Z)' \quad (1)$$

em que $(Z)'$ é a matriz transposta de Z ; sendo $R_{(k \times k)}$ uma matriz simétrica positiva, ela é diagonalizável por uma matriz A , denominada de autovetores. A matriz diagonal D cujos elementos diagonais são os autovalores (λ) de R , é expressa pela Equação 2.

$$D = A^{-1}RA \quad (2)$$

Pela ortogonalidade dos autovetores, a inversa de A (A^{-1}) é igual a sua transposta (A'). Logo, as CPs Z_1, Z_2, \dots, Z_n são obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores (A') e a matriz de observações (Y), ou seja, dada pela Equação 3.

$$Z = A'Y \quad (3)$$

Cada linha de Z corresponde a uma CP que forma as séries temporais associadas aos autovalores. Os valores de Y do n -ésimo local podem ser calculados pela Equação 4.

$$Y_i = a_{j1}Z_1 + a_{j2}Z_2 + \dots + a_{jk}Z_k + a_{jp}Z_p \quad (4)$$

A solução desta equação é única. Esta solução considera a variação total presente no conjunto das variáveis iniciais, onde a CP1 explica o máximo possível da variância dos dados iniciais, enquanto a CP2 explica o máximo possível da variância ainda não explicada e assim por diante, até a última CPM que contribui com

a menor parcela de explicação da variância total dos dados iniciais. Ou seja, cada CP tem uma porção da variância total dos dados originais, e são ordenadas por ordem decrescente dos autovalores mais significativos de a_l em A , em que (5):

$$Z_i = \sum_{j=1}^n a_{j,i} Y_j \quad (5)$$

O número escolhido de CPs foi baseado no critério de truncamento de Kaiser, que considera como mais significativos os autovalores cujos valores sejam superiores a unidade (BEZERRA, 2007).

A distribuição espacial dos fatores facilita as interpretações físicas correspondentes às CPs. Se a interpretação física for o principal objetivo da ACP, então se faz a rotação da solução inicial para uma nova coordenada de vetores, através de uma transformação linear (WIKS, 2006). Neste trabalho, utilizou-se a rotação Varimax, mantendo a correlação entre as componentes independentes e a máxima variância em cada componente, dada pela Equação 6.

$$Var = \frac{\sum_{j=1}^r \left(m \sum_{i=1}^m (a_{ij})^2 - \left(\sum_{i=1}^m a_{ij}^2 \right)^2 \right)}{m^2} \quad (6)$$

em que: r é o número de CPs que representam as informações físicas e m o número de variáveis.

O principal objetivo da utilização de CPs rotacionadas é se obter a maior concentração dos dados originais da série temporal nas CPs pela máxima variância, e não à característica normalizada da série temporal como ocorre nas CPs não rotacionadas (CORRAR *et. al.*, 2007).

Existem dois tipos de ACP utilizados para analisar a variável observada, tanto no tempo como no espaço. Neste estudo, utilizou-se o Modo-T para criar agrupamentos de variáveis e classificar seus campos atmosféricos espaciais (ESCOBAR, 2007). Segundo Richman (1983) o Modo-T é uma ferramenta muito útil para sintetizar e reproduzir padrões de circulações, quantificando sua frequência e mostrando os períodos de tempo neles dominantes, ou seja, obter a evolução dos principais modos dominantes de circulação que permitam analisar a trajetória e comportamento dos sistemas sinóticos sobre determinadas áreas. Para a análise no Modo-T organizou-se uma matriz de dados $M_{(m \times k)}$, onde as m linhas correspondem as 57 estações climatológicas e as k colunas às 12 médias mensais dos 30 anos de observações.

Para a determinação das situações meteorológicas correlacionadas com as componentes principais foram utilizadas as séries temporais das cargas fatoriais que representam as correlações entre cada

variável original e cada componente principal (RICHMAN, 1986). A análise das cargas fatoriais permite avaliar a representatividade dos padrões como situações reais. Valores próximos a 1 representam sequências de situações meteorológicas similares às sequências dos padrões obtidos (ESCOBAR, 2007). Foram elaborados mapas das distribuições espaciais dos principais fatores comuns temporais, que representam a contribuição destes em relação à variância total do conjunto de dados pluviométricos na região.

2.3. Análise de Agrupamentos (Clusters)

Esta técnica estatística de análise multivariada tem como objetivo principal classificar os indivíduos de uma população que são conhecidos por suas características, em grupos que sejam homogêneos intra-grupos e heterogêneos intergrupos.

Aqui, a técnica de Análise de Agrupamento escolhida foi a hierárquica, em que são produzidas sequências de partições em classes cada vez mais vastas, e a união de dois grupos numa determinada etapa, produz um dos agrupamentos da etapa superior o que caracteriza o processo hierárquico.

A classificação dos indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma

função de agrupamento denominada distância ou similaridade e de um critério matemático de agrupamento (BOUROCHE & SAPORTA, 1982).

Na análise de agrupamento, todos os processos de hierarquização são similares, iniciando-se pela determinação da função de agrupamento. De acordo com Wilks (2006) esta função é usada como critério para medir a distância entre dois pontos x_i e x_j ou para estabelecer o quanto eles são parecidos. Aqui, para medir a dissimilaridade entre dois indivíduos x_i e x_j utilizou-se a distância euclidiana, expressada pela Equação 7.

$$d(x_i, x_j) = |x_i - x_j| = \left[\sum_{k=1}^n P_i (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

em que: $x_{j,k}$ representa os valores mensais dos locais x_i e x_j ; e, P_i é o peso associado a cada indivíduo.

Nos métodos hierárquicos vários critérios de agrupamentos são possíveis, dentre eles optou-se pelo método de Ward (1963). O método de Ward procura por partições que minimizem a perda associada a cada agrupamento (EVERITT, 1974). Essa perda é quantificada pela diferença entre a soma dos erros quadráticos de cada padrão e a média da partição em que está contido. A soma dos quadrados dos desvios de p indivíduos organizados em k grupos é definida pela Equação 8.

$$SQD = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (8)$$

em que: n é o número total de elementos do agrupamento; e, x_i é o n -ésimo elemento do agrupamento.

Nos métodos hierárquicos, a obtenção dos grupos pode ser feita por cortes transversais no dendrograma a partir do critério de agregação entre os grupos e conhecimento prévio da região em estudo (BOUROCHE & SAPORTA, 1982).

Neste estudo, a determinação das regiões homogêneas de precipitação foi realizada a partir dos fatores comuns temporais e correlações espaciais, obtidos através da Análise Fatorial em Componentes Principais. Os fatores comuns temporais (escores espaciais) e as correlações espaciais da precipitação foram

dispostos sob forma de matriz $F_{(n \times p)}$, onde cada n linha da matriz corresponde às estações, e as p colunas da matriz correspondem aos fatores comuns temporais e correlações espaciais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados e discutidos os resultados obtidos através da aplicação dos métodos da Análise Fatorial em Componentes Principais e Agrupamentos aos dados de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. A Figura 2 mostra a variabilidade espacial dos totais anuais médios pluviométricos no Estado.

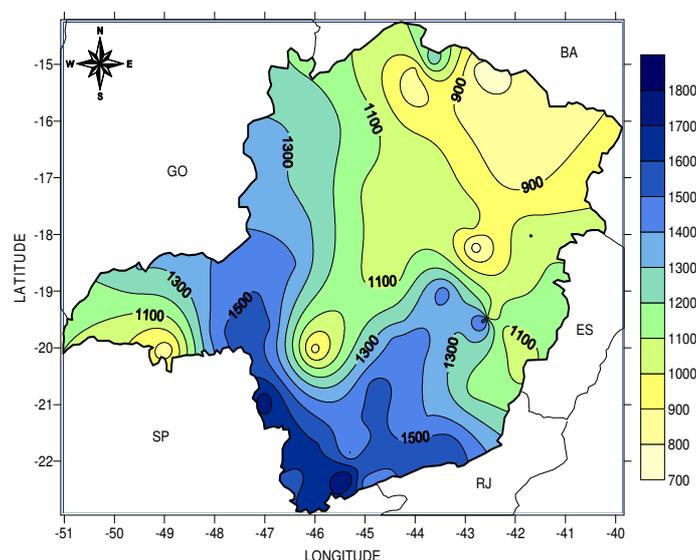


Figura 2. Espacialização dos totais médios anuais pluviométricos (mm) no estado de Minas Gerais.

A associação entre as variações espaciais pluviométricas no Estado identificam a existência de, pelo menos, três regimes pluviométricos. Observa-se que os maiores totais pluviométricos ocorreram nos setores oeste e sul de Minas Gerais com cerca de 1300-1800 mm.ano⁻¹. Percebe-se, também, uma faixa de transição noroeste-sudeste do Estado com observações de 1000-1300 mm.ano⁻¹. Os menores valores foram encontrados na região norte-nordeste com precipitação pluvial de 700-900 mm.ano⁻¹, corroborando com NIMER (1989). A distribuição espacial pluviométrica observada sugere que a região em estudo é afetada por diferentes sistemas precipitantes, de várias escalas, como Sistemas Frontais (Frente Fria), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Distúrbios Ondulatórios de Leste (Ondas de Leste), além de sistemas de meso e microescala.

3.1. Padrões de variabilidade espaço-temporal associada à chuva em Minas Gerais

A análise fatorial em componentes principais rotacionada aplicada aos dados médios mensais da precipitação em Minas Gerais produziram padrões espaciais associados a cada fator comum (pesos). A Tabela 1 mostra o peso de cada variável, representada pelos meses do ano em relação ao conjunto de dados médios mensais da precipitação pluvial. Foram considerados os três primeiros fatores comuns rotacionados, segundo o critério de truncamento de Kaiser, que considera apenas autovalores maiores que 1 (BEZERRA, 2007). Os fatores rotacionados representam melhor a variabilidade dos dados que os não rotacionados, pois a variância explicada por cada nova variável é mais homogênea. A Inércia explicada mostrou 80,4% da variância total da série (Tabela 1).

Tabela 1. Valores Próprios, Variância Explicada (%) e Inércia Acumulada (%) da precipitação mensal.

CP	Cargas não rotacionadas			Cargas Rotacionadas		
	Valor Próprio	Variância Explicada	Inércia Acumulada	Valor Próprio	Variância Explicada	Inércia Acumulada
1	6,98	58,16	58,16	4,12	34,3	34,3
2	1,64	13,67	71,83	3,19	26,6	60,9
3	1,03	8,56	80,39	2,34	19,5	80,4
4	0,71	5,89	86,29	
...
12	0,06	0,50	100,00		100	100

O primeiro fator temporal rotacionado explica 34,3% da variância total dos dados de precipitação, com correlações positivas praticamente superiores a 0,8 em todos os meses que o fator prevalece; mostrando ciclo anual definido predominando nos meses de maio a setembro (Figura 3). O segundo fator,

que explica 26,6% da variância total dos dados de precipitação, apresenta máximas correlações positivas de dezembro a abril (entre 0,6 a 0,8). Por último, o terceiro fator explica 19,5% da variância total dos dados de precipitação, apresentando máximas correlações positivas em outubro e novembro (superiores a 0,8).

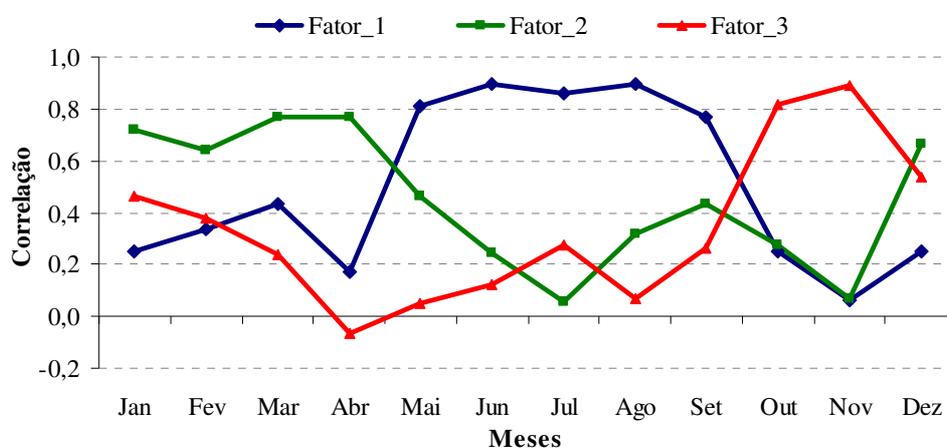


Figura 3. Cargas fatoriais rotacionadas (correlações) para os três fatores comuns que explicam 80,4% (34,30%+26,61+19,47%) do total dos dados de precipitação no estado de Minas Gerais.

O padrão espacial associado ao primeiro fator (Figura 4a) mostra contribuições (escores) negativas, predominantemente, no extremo noroeste, e positivas no sul do Estado, com valores em torno da média indicados pela isolinha

zero (em destaque). Possivelmente, as chuvas associadas (valores positivos) a este padrão estão relacionadas com a atuação e deslocamento de ondas de leste e frentes frias, principais sistemas geradores de chuva neste período na região (Figura 4b).

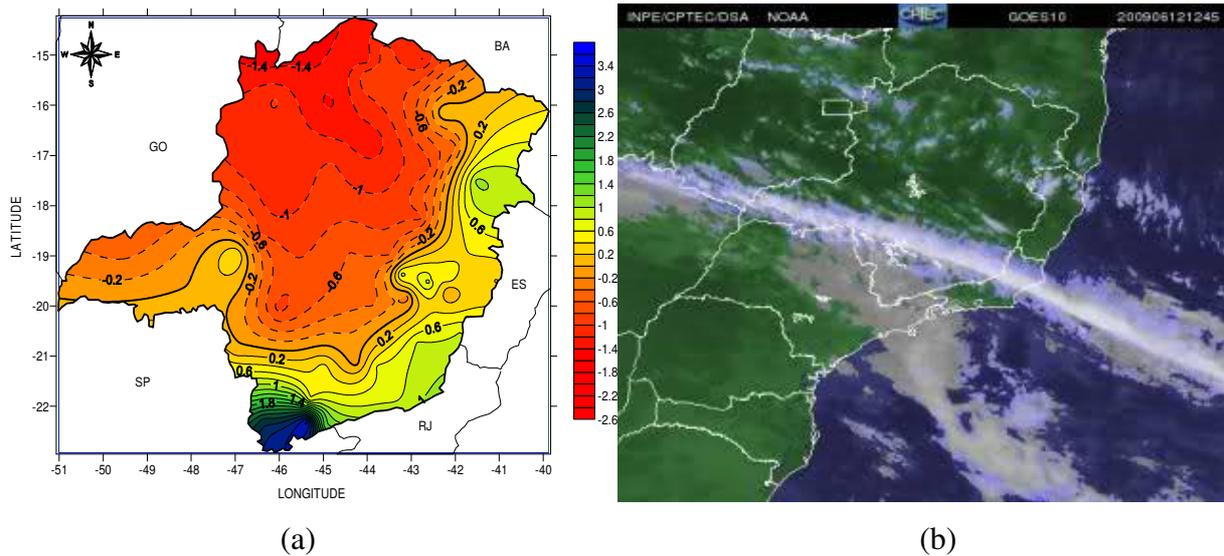


Figura 4. (a) Padrão espacial associado ao primeiro fator comum dos totais médios mensais da precipitação pluvial (mm) no estado de Minas Gerais. (b) Frente fria atuando sobre o sul de Minas Gerais. Fonte: CPTEC/INPE (2011).

As frentes frias atuam ao longo do ano, mas normalmente são bem definidas no inverno (junho a setembro), período em que o primeiro fator melhor se correlaciona (Figura 3). Além disso, as ondas de leste, que atuam no leste do estado, trazem umidade proveniente do Oceano Atlântico Sul, porém menos intensa, com baixas contribuições nesta área, onde se percebe valores positivos, mas pouco significativos. Estes resultados corroboram com a climatologia descrita por NIMER (1989), para esta região e época do ano.

O segundo fator temporal (Figura 5a) apresenta padrões espaciais com contribuições positivas significativas (valores superiores a 1) a sudoeste e noroeste, e valores negativos no nordeste do Estado. Este fator pode estar associado

a dois sistemas de grande escala (ZCAS e frentes frias) conforme a Figura 5b. As chuvas de verão (dezembro a março) são provocadas sobretudo pela ZCAS, dinamizada pela umidade proveniente da Amazônia, que neste período fica mais aquecida, conseqüentemente aumenta a convergência de umidade na superfície, sendo transportada pelos jatos de baixos níveis até o sudeste do Brasil, onde condensa e forma nuvens convectivas, como no noroeste de Minas Gerais. Além disso, a atuação de frentes frias nesse período acontece com mais frequência sobre o sudoeste do Estado mineiro. Estes sistemas combinados são responsáveis por 65% das chuvas anuais sobre a região de estudo de acordo com Rao *et al.* (1996).

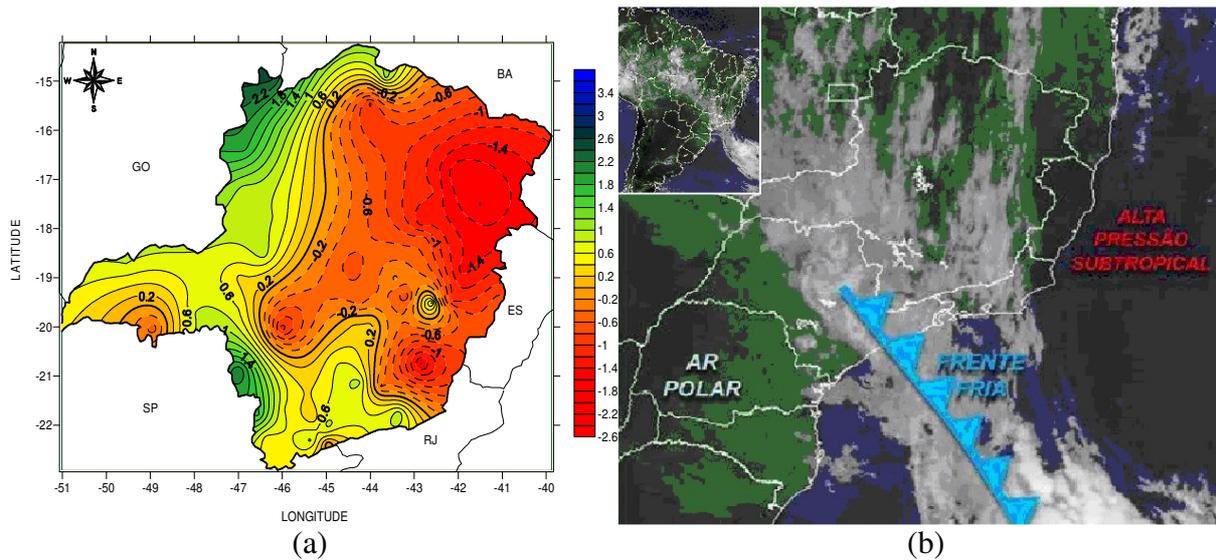


Figura 5. (a) Padrão espacial para a segunda componente principal associada ao segundo fator comum dos totais médios mensais da precipitação pluvial (mm) no Estado de Minas Gerais. (b) Atuação da ZCAS e Frente fria sobre Minas Gerais. Fonte: CPTEC/INPE (2011).

O padrão espacial associado ao terceiro fator (Figura 6a) mostra contribuições (scores) negativas na periferia do Estado, com valores de -1,8 no norte e extremo oeste, e positivas no centro da região, superiores a 1,4. Possivelmente,

as chuvas associadas a este padrão (valores positivos) estão relacionadas com a atuação e deslocamento de frentes frias e sistemas de microescala (orografia, brisas lacustres e fluviais), estes últimos, principais sistemas geradores de chuva, neste período na região (Figura 6b).

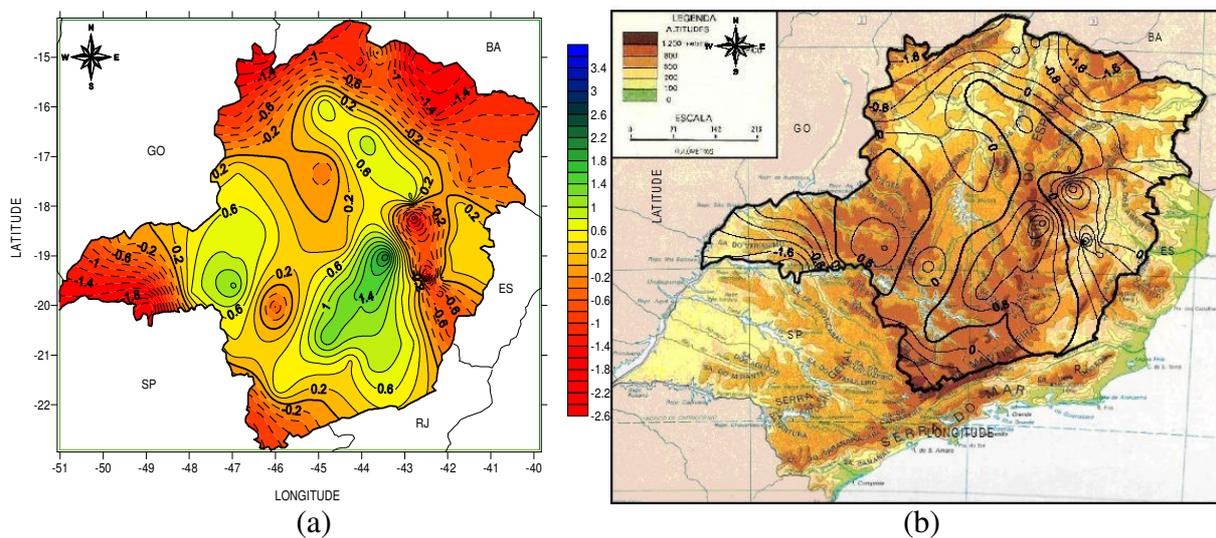


Figura 6. (a) Padrão espacial para a terceira componente principal associada ao terceiro fator comum dos totais médios mensais da precipitação pluvial (mm) no estado de Minas Gerais. (b) Mapa topográfico (cores) com scores da terceira CP (isolinhas pretas) do sudeste do Brasil com destaque para Minas Gerais. Adaptado de Simielli (1991).

A topografia é um mecanismo dinâmico que devido ao gradiente térmico entre o topo e a base da montanha gera uma diferença de pressão formando uma circulação de vale-montanha durante o dia, que transporta umidade de forma forçada até o topo, a qual condensa formando as nuvens convectivas que precipitam dependendo das condições do ambiente. A orografia de Minas Gerais é elevada, com destaque a Serra da Mantiqueira e do Espinhaço, o que favorece a formação de nuvens, facilitada por brisas lacustres e fluviais que aumentam a umidade através de evaporação nesta região central do Estado, onde se observam grandes lagos, sendo alguns de hidrelétricas.

3.2. Análise de Agrupamento

Para a determinação das regiões homogêneas de precipitação adotou-se a

técnica aglomerativa hierárquica, baseada no critério de inércia intra-grupos. A sequência sucessiva de agrupamentos encontra-se sob a forma de dendrograma, em que na abscissa estão as estações e na ordenada os níveis de agregação (distâncias) entre os grupos (Figura 7). A determinação do número de grupos no dendrograma para o critério de microescala é feita de forma visual, utilizando-se a técnica de inércia entre saltos, em que, para um salto maior em relação aos anteriores, é definido como o ponto de corte; para o critério de mesoescala utiliza-se o próximo maior salto em relação aos anteriores, como definição do ponto de corte, e assim sucessivamente. Usando este critério chegou-se a quatro regiões homogêneas de precipitação.

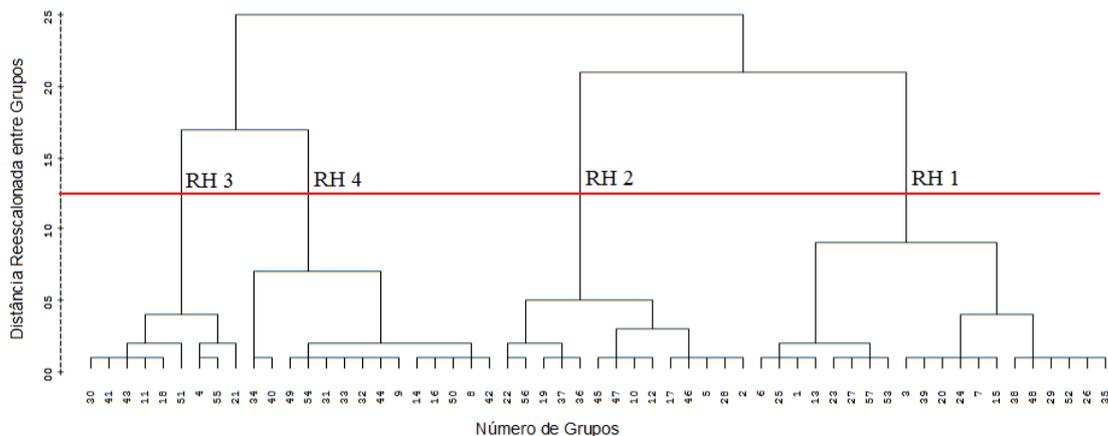


Figura 7. Dendrograma resultante da análise objetiva das 57 estações climatológicas a partir dos fatores comuns temporais mais significativos usando o método aglomerativo hierárquico de Ward.

Considerando-se tais procedimentos, a região em estudo pode ser classificada em quatro (04) regiões homogêneas de precipitação em relação a variabilidade espaço-temporal da precipitação. Para este

método, são adotados três critérios de classificação: de micro, meso e macroescala hidroclimática. A delimitação das regiões homogêneas de precipitação estão ilustradas na Figura 8.

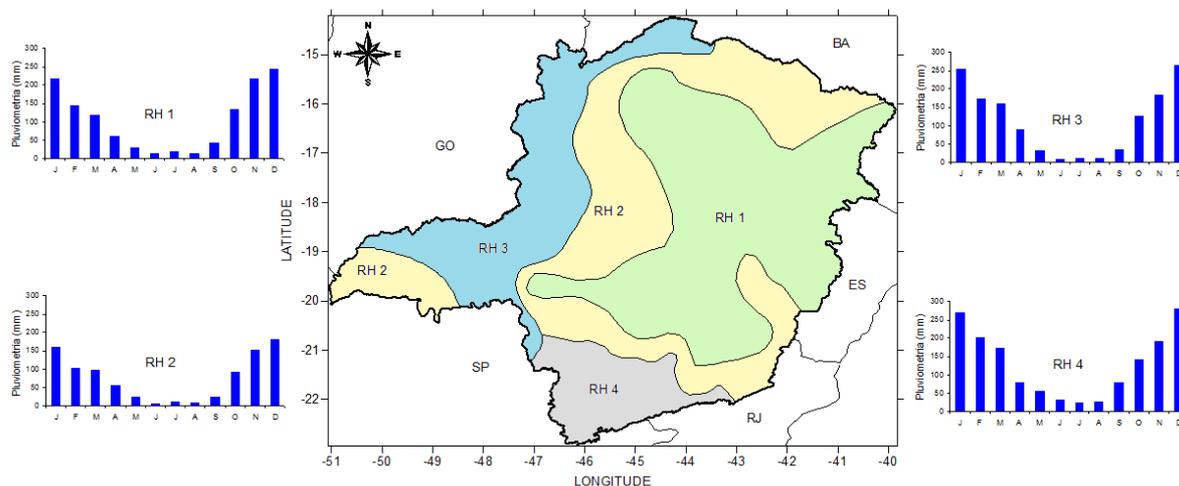


Figura 8. Regiões homogêneas em relação à variabilidade espacial da precipitação, obtidas a partir da análise de agrupamentos dos escores e cargas fatoriais para o Estado de Minas Gerais.

A região RH1 ocupa áreas distintas situadas no Sudeste, Centro-Leste e Nordeste da região e é formada por 20 estações pluviométricas. Seu total médio anual de precipitação varia em torno de 1005 mm, sendo o mês de dezembro o mais chuvoso e agosto o mais seco, com precipitação pluvial de 243 e 13 mm, respectivamente.

A região RH2 ocupa áreas situadas a Sudeste, Centro, Norte do Nordeste e uma pequena área isolada no extremo Oeste e é composta de 14 estações pluviométricas. Este grupo apresenta-se como sendo uma região de transição, situada entre os grupos 1, 3 e 4, complementado de uma pequena

área com características homogêneas de frequência de chuvas no extremo Oeste. As sobreposições da região RH2 entre áreas ao Sul e ao Centro apresentam-se como possíveis indícios de diferenciações microclimáticas, em relação às regiões vizinhas.

A região RH3 ocupa um corredor situado ao Norte e Noroeste da região e é formado por 9 estações pluviométricas. Apresenta-se como possível indício de diferenciação microclimática, em relação às regiões vizinhas, expandindo a região com características homogêneas de chuvas, predominantemente, no estado de Goiás. É a região que apresenta a maior amplitude

pluviométrica entre seu mês mais chuvoso (dezembro) e o menos chuvoso (junho), aproximadamente 257 mm.

A região RH4 ocupa áreas situadas no extremo Sul, e 14 estações pluviométricas a constituem. Esta região possui o maior total anual pluviométrico observado, 1269 mm aproximadamente. Suas áreas de influência, com características homogêneas de chuvas semelhantes, abrangem os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Todas as regiões homogêneas determinadas estão em conformidade com Keller Filho *et al.*, 2005.

A questão das regiões geográficas de transição, entre os grupos, se deve à capacidade do método de agrupamento em separar estações com pequenas diferenças de características, ou seja, a existência de microclimas ocasionados por condições físicas locais, tais como a orográfica, vegetação e hidrografia.

4. CONCLUSÕES

A Análise Fatorial em Componentes Principais das séries temporais de precipitação permitiu extrair informações importantes sobre o padrão de chuvas em Minas Gerais. A representação espacial dos padrões pluviométricos possibilitou uma melhor compreensão dos sistemas atmosféricos responsáveis pela

variabilidade sazonal desta variável, estando em conformidade com outros estudos.

Três fatores comuns temporais foram retidos. O primeiro fator mostrou altas correlações com as chuvas de abril a agosto na parte sul do Estado e estão associados à atuação de Sistemas Frontais. O segundo fator apresentou maiores contribuições na região sudoeste e noroeste do Estado e esta associado a Sistemas Frontais e ZCAS. Por último, o terceiro fator teve contribuições positivas de chuva no centro do Estado, possivelmente, associadas com a atuação e deslocamento de frentes frias e, principalmente, sistemas de microescala.

A classificação da precipitação pluvial usando o método hierárquico de agrupamento possibilitou a obtenção de quatro regiões homogêneas de precipitação no estado de Minas Gerais. Dessa forma, uma divisão da área em setores considerados homogêneos em relação à partida de precipitação média anual foi alcançada.

5. REFERÊNCIAS

BEZERRA, F. A. **Análise Fatorial**. In: CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M (Org.). *Análise Multivariada*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 541p.

- BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de Dados**. 1ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1982. 117p.
- BRAGA, C. C. **Inter-relação entre padrões de índice de vegetação e de pluviometria no Nordeste do Brasil**. 2000. 129p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande-PB. 2000.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - CPTEC/INPE. **Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais**. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp>. Acesso em: 20 de abril de 2011.
- CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise Multivariada**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2007. 541p.
- ESCOBAR, G. C. J. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 241-254, 2007.
- EVERITT, B. S. **Cluster analysis**. London, Heinemann Educational Books Ltd., 1974. 121p.
- KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. . Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 311-322, 2005.
- MELO JÚNIOR, J. C. F.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, P. A.; LEAL, B. G. Determinação de regiões homogêneas quanto à distribuição de frequência de chuvas no leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 408-416, 2006.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422p.
- PANDZIC, K. Principal component analysis of precipitation in the Adriatic-Pannonian área of Yugoslavia. **Journal of Climatology**, v. 8, p. 357-370, 1988.
- PREISENDORFER, R. **Principal component analysis in meteorology and oceanography**. Amsterdam, Elsevier, 1988. 425p.
- RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variations of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, United States, v. 101, n. 21, p. 26539-26551, 1996.
- RICHMAN, M. B. Review article on rotation of principal components. **Journal of Climatology**, v. 6, p. 293-335, 1986.
- RICHMAN, M. Specification of complex modes of circulation with T-mode factor analysis. In: II International Conference on Statistics and Climate, 1983, Lisbon. **Anais...** Lisbon: National Institute of Meteorology and Geophysics, 1983. p. 511-518.
- SANSIGOLO, C. A.; NERY, J. T. Análise de fatores comuns e agrupamentos das precipitações nas regiões sudeste e sul do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. CD-Room.
- SEDIYAMA, G. C.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; SANTOS, A. R.; RIBEIRO, A.; HA-MAKAWA, P. J.; COSTA, L. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, M. H. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3 (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p. 501-509, 2001.

- SILVA, E. S.; NERY, J. T. Distribuição espacial e temporal da precipitação na região Centro-Sul do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p. 111-112.
- SILVA, J. B. da; CUNHA, F. B.; GAVIÃO NETO, W. P. Modelagem das chuvas trimestrais por regiões homogêneas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 317-24, 2001.
- SIMIELLI, M. E. **Geoatlas**, 1 ed. São Paulo: Ática, 1991.
- WARD, J. H. Hierarchical grouping of optimize an objective function. **Journal American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244, 1963.
- WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2. ed. London, Academic Press, 2006. 649p.