Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Estatística

Técnicas de Análise Multivariada Aplicadas a Séries Temporais.Estudo de Caso: Climatologia de Belo Horizonte – MG

P. S. Lucio, E. M. M. Toscano e M. L. de Abreu

Relatório Técnico RTA-01/98

Relatório Técnico
Série Assessoria

Técnicas de análise multivariada aplicadas a séries temporais. Estudo de caso: climatologia de Belo Horizonte – MG.

P. S. Lucio [1], E. M. M. de Toscano [1] e M. L. de Abreu [2]

Abstract

The possibility of Belo Horizonte has been affected by remote atmospheric variability, has motivated the investigation undergone in this paper. Therefore this work presents the average behavior of both the atmospheric variables in Belo Horizonte – MG (Brazil), and the sea surface temperature of the central and eastern Tropical Pacific related to the occurrence of ENOS events. The correspondence analysis is a technique for exhibition columns (variables) and rows (observations) of a data matrix, like contingence table, as points in a dual vectorial space with a reduction of the dimension. Here, *via* this technique, we proceed the time series data analysis of atmosphere and oceanic variables, by means of monthly measurements of 30 years (1960-1989) in Belo Horizonte and in Tropical Pacific. The sample has been submitted to statistical treatments to seek for the determination of classes that could be helping us to extract some of the information inlaid in the coarse data under study. Without lost of generalities, with this procedure, the analysis assures that the variables will not suffer non-characterization when we take into account the cognizance of the phenomena, such as endogenous and exogenous proprieties, associated to the climatic process involved in this essay.
Key words: Discrimination, Classification, Principal Components, Canonical Analysis and Climate.

Resumo

A possibilidade de Belo Horizonte estar sendo afetada pela variabilidade atmosférica ocorrida remotamente, motivou a investigação que deu origem a este trabalho. Por este motivo, apresentamos aqui não apenas análises do comportamento médio das variáveis atmosféricas em Belo Horizonte – MG (Brasil), como também da temperatura da superfície do mar nas regiões do Pacífico tropical que caracterizam a ocorrência de um evento ENOS. A análise de correspondência é uma técnica para a exibição de linhas e colunas de uma matriz de dados, como uma tabela de contingência, como pontos de um espaço vetorial dual com poucas dimensões. Aqui, *via* esta técnica, procedemos a análise de dados temporais atmosféricos e oceânicos, através de séries mensais de 30 anos (1960-1989) de variáveis mensuradas na cidade de Belo Horizonte – MG e no Pacífico tropical. A amostra foi submetida a tratamentos estatísticos visando a determinação de classes que poderiam nos auxiliar na extração de algumas informações embutidas nos dados brutos em estudo. Sem perda de generalidades, assegurou-se, neste procedimento, a não descaracterização das variáveis por meio do conhecimento dos fenômenos, tanto endógenos quanto exógenos, associados aos processos climatológicos envolvidos neste ensaio.
Palavras-chave: Discriminante, Classificação, Componentes Principais, Análise Canônica e Climatologia.

[1] Departamento de Estatística – ICEx / Universidade Federal de Minas Gerais / Cx. P. 702, Pampulha
30.161-970 Belo Horizonte – MG (Brazil) / e-mail: lucio@est.ufmg.br / mercedes@est.ufmg.br

[2] Departamento de Geografia – IGC / Universidade Federal de Minas Gerais / Cx. P. 702, Pampulha
30.161-970 Belo Horizonte – MG (Brazil) / e-mail: magda@csr.ufmg.br

1. Introdução

As condições climáticas de uma certa região são determinadas por uma série de fatores que atuam de forma combinada e irão dotá-la de características peculiares. Torna-se necessário avaliar, individualmente, estes fatores para que se obtenha uma completa compreensão da dinâmica do clima local da região sob estudo. O desenvolvimento do clima em seus elementos constituintes permite dimensioná-lo quantitativamente no espaço físico-geográfico. Aqui, a região em estudo será a cidade de Belo Horizonte – MG, e as séries de interesse no que tange o comportamento climático, serão avaliadas sob os seguintes aspectos medidos mensalmente, são eles: número de dias de chuva (***NDCBH***), precipitação (***PRECBH***), umidade relativa do ar (***URABH***), média das temperaturas mínimas (***TMINBH***), média das temperaturas médias (***TMEDBH***) e média das temperaturas máximas (***TMAXBH***). Para avaliar aspectos da variabilidade climática na região em estudo, será analisado de forma associativa o comportamento destas variáveis atmosféricas com outras oceânicas medidas na região do Pacífico tropical, a saber: temperatura média da superfície do mar na região denominada Niño 1 e Niño 2 (***TSM1+2***) – 90^o W até a costa oeste da América do Sul, entre o equador e 10^o S; temperatura média da superfície do mar na região denominada Niño 3 (***TSM3***) – 150^o W a 90^o W, entre 5^o S e 5^o N; temperatura média da superfície do mar na região denominada Niño 4 (***TSM4***) – 160^o E a 150^o W, entre 5^o S e 5^o N; e o índice de oscilação sul (***IOS1***); além das informações diretas sobre a climatologia da região, que leva em consideração as anomalias. Convém ressaltar que todas estas séries de indicadores atmosféricos e oceânicos correspondem a um período de 30 anos, percorrendo desde janeiro de 1960 a dezembro de 1989.

A descrição e o tratamento estatístico de dados procuram fazer um sumário, para simplificar e eventualmente determinar um padrão de informação que possa explicar o processo em estudo. Tipicamente, um pesquisador que deseja estudar a manifestação de um fenômeno particular, registra e mensura todos os aspectos que ele considera relevantes ao bom entendimento de tal processo. É raro, que o pesquisador haja de forma totalmente objetiva, isto é, independente de suas próprias idéias previamente concebidas. Freqüentemente, o conjunto de observações é um e somente um, as unidades amostrais que constituem o estudo não podem ser repetidas. Em tais casos a descrição dos dados é de suprema importância. Desta forma, somos advertidos a dar o primeiro passo analítico através de métodos descritivos, e procurar determinar alguma estrutura nas observações que possa ser explicada pela própria gênese do fenômeno.

O estudo de um conjunto de dados é raramente simples de forma que, com poucos histogramas, possamos fazer a sua síntese de maneira adequada. Os tipos de dados, com os quais desenvolvemos este trabalho, são de natureza multivariada, medidos no espaço temporal. É comum, em muitos métodos estatísticos, ponderarmos certas observações por razões que se justificam pela natureza do fenômeno em estudo. A *análise de correspondência* ou também conhecida *como análise de sistemas de associações* é uma técnica utilizada para representar as observações e variáveis como pontos em um espaço vetorial cuja dimensão é de ordem inferior àquela original. Este tipo de análise tem por objetivo suprimir os efeitos de heterogeneidade devido às escalas de mensuração das variáveis, que poderiam mascarar outros efeitos. A *análise de correspondência* torna simétrico o tratamento de matrizes de dados respeitando, assim, o princípio da equivalência de distribuição [Greenacre, 1984]. Em efeito, esta técnica é um método privilegiado para a descrição de dados qualitativos ordinais.

2. Objetivo

Este ensaio propõe investigar o regime climático da precipitação, temperatura e umidade relativa do ar à superfície na região metropolitana de Belo Horizonte - MG, através da análise de correspondências, utilizando as informações armazenadas durante um período de trinta anos. Procurar-se-á determinar um sistema de associação entre estas variáveis atmosféricas e algumas informações oceânicas mensuradas no Pacífico tropical.

3. Aspectos Climatológicos

A região metropolitana de Belo Horizonte, a exemplo da zona metalúrgica do Estado de Minas Gerais (Brasil), por sua localização geográfica, sofre a influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais que imprimem à região, características de um clima de **transição**. Segundo [Nimer, 1989] predominam sobre o Estado perturbações de sul, de leste e de oeste. Duas estações bem definidas podem ser identificadas: uma **seca** e uma **chuvosa**.

A estação **seca** é observada no *outono* e no *inverno*. No *inverno* predomina a atuação da *Frente Polar Atlântica (FPA)* e do *anticiclone* subtropical do Atlântico Sul. Este atua com circulação continental antes do sistema frontal atingir o Estado, causando forte estabilidade atmosférica. Após a passagem dos sistemas frontais, a massa de ar predominante do sul do continente avança até o centro do Estado, provocando queda de temperaturas locais.

No *verão* o *anticiclone* subtropical do Atlântico Sul atua predominantemente sobre o oceano. Belo Horizonte então, sofre forte influência de sistemas convectivos associados ao aquecimento continental. Esta situação favorece a ocorrência de tempestades severas, que ocorrem geralmente à tarde e à noite.

Além destes sistemas de escala regional, a região metropolitana de Belo Horizonte sofre também a influência de sistemas de grande escala originários da interação entre latitudes médias e tropicais. Esta interação, conhecida como *Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)* está associada às conhecidas "*invernadas*", que podem durar até 10 dias e que estão associadas a enchentes, deslizamentos e perda de vidas humanas [de Quadro e Abreu, 1994; Oliveira, 1986; Nobre, 1988; Rocha e Gandu, 1996].

Como se sabe Belo Horizonte se desenvolveu muito durante seus cem anos de existência, tornando-se uma das seis maiores capitais do País. O conhecimento adequado dos fatores que determinam a climatologia e a sua variabilidade é essencial para o planejamento de ações num centro urbano como este. A ocorrência de precipitações intensas podem causar danos materiais e perdas de vidas humanas. Da mesma forma, invernos anomalamente quentes podem gerar desconforto à população e prejuízos ao comércio.

Tem sido muito divulgado pela mídia os efeitos globais da ocorrência do fenômeno *El Niño*/Oscilação Sul (ENOS); Em [Abreu et al.,1992] constata-se que em três destes eventos (1982/1983, 1986/1987 e 1991/1992), a temperatura do ar registrou valores acima da média climatológica durante o inverno no sudeste. Recentemente, na capital mineira os termômetros registraram temperaturas anomalamente altas durante a estação chuvosa de 1997/1998, coincidindo com o evento *El Niño* mais forte do século. Neste mesmo período observou-se uma distribuição irregular da precipitação, com pequeno número de dias de chuva acumulando grandes valores de água precipitada. Ao mesmo tempo a umidade do ar esteve abaixo dos valores climatológicos. A possibilidade de

Belo Horizonte estar sendo afetada pela variabilidade atmosférica ocorrida remotamente, motivou a investigação que deu origem a este trabalho. Por este motivo apresenta-se aqui, não só análises do comportamento médio das variáveis atmosféricas, como também da temperatura da superfície do mar nas regiões do Pacífico tropical que caracterizam a ocorrência de um evento ENOS.

4. Tratamento dos Dados e Metodologia Estatística

Este estudo concentra-se nas séries temporais - 30 anos - de dados atmosféricos medidos à superfície em Belo Horizonte (variáveis endógenas) e de dados oceânicos mensurados no Pacífico tropical (variáveis exógenas). Primeiramente buscou-se identificar um padrão de informação nestes processos condicionantes do fenômeno climático. A seguir são apresentados alguns padrões estatísticos anuais e mensais, nesta seqüência. As análises foram realizadas através da utilização do "*software*" MINITAB versão 11.

4.1 Estatísticas Descritivas

Os dados climáticos de Belo Horizonte, originados das Normais Climatológicas para uma série de dados entre 1960 a 1989, indicam que esta cidade apresentou uma temperatura anual média de 22,6^{o} C. O total anual médio de precipitação acumulada foi de aproximadamente 1529 mm (**Figura 1**) e a umidade do ar registrou um valor médio de 71% (**Figura 2**). Os meses mais quentes - média das máximas de 28,0^{o} C - coincidem com a estação chuvosa que se estende de outubro a março, e corresponde a 88% da precipitação total anual (**Figura 3**). Os meses mais frios - média das mínimas de 14,6^{o} C - corresponde ao período de **seca**, que inclui as estações de *outono* e *inverno*.

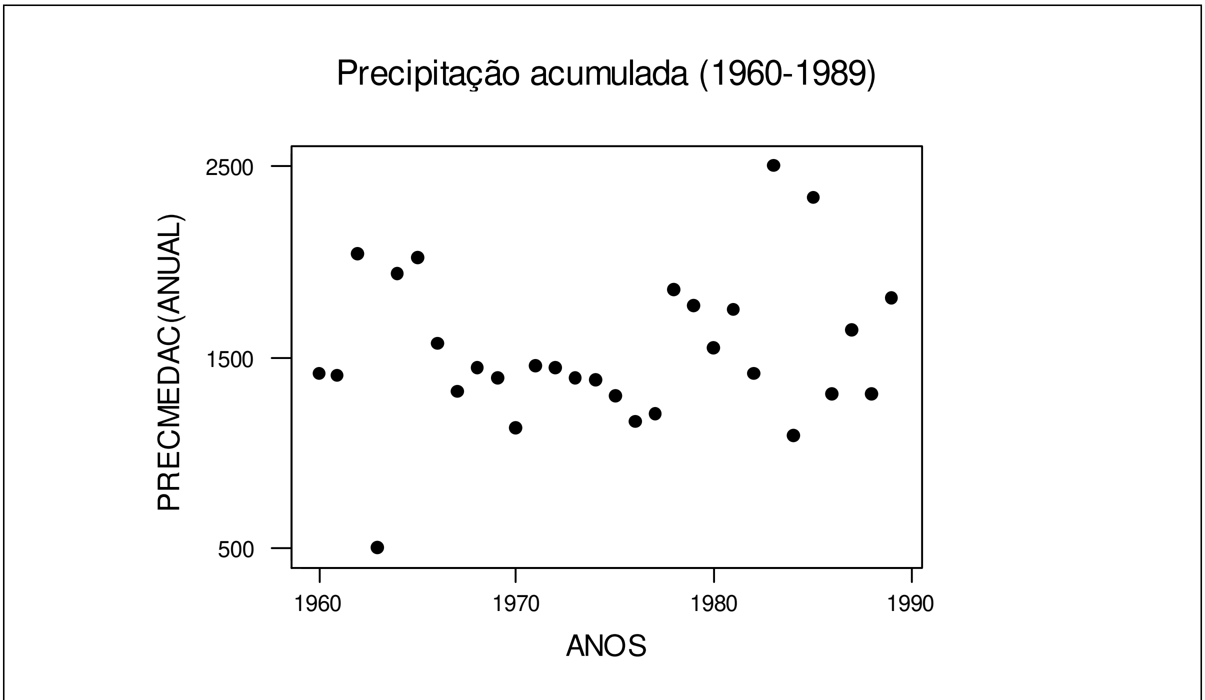

Figura 1: Precipitação anual acumulada de Belo Horizonte (1960-1989).

Percebemos nitidamente, através da **Figura 1**, uma configuração de anomalia, bem definida, entre os anos de 1967 e 1977, indicando uma mudança seqüencial desta variável, que pode ser associada à uma diminuição tendenciosa do nível pluviométrico devido a fenômenos atmosféricos e mesmo oceânicos; nos anos subseqüentes o sistema tenta entrar em equilíbrio, gerando, assim, alguns pontos caóticos extremos.

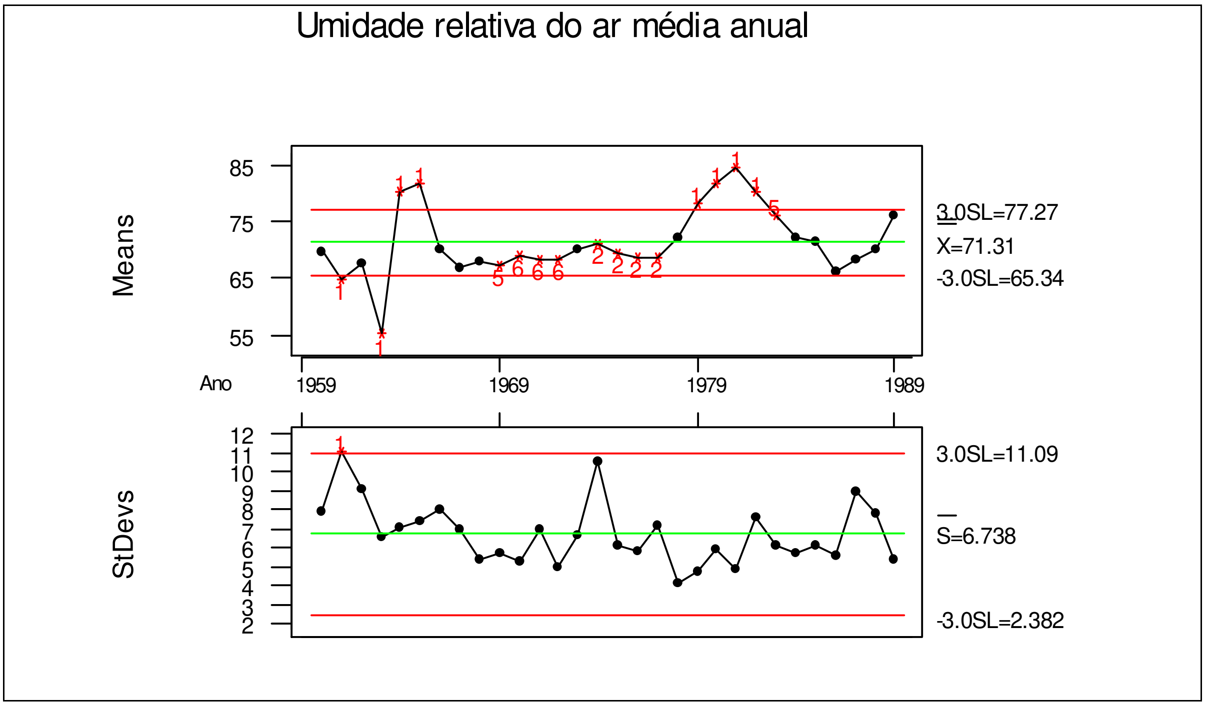

Figura 2: Cartas de controle estatístico anual, baseado na média e desvio padrão de doze meses, para a variável umidade relativa do ar em Belo Horizonte (1960-1989).

Os gráficos de média e desvio padrão (**Figura 2**), nos fornecem importantes informações sobre a umidade relativa do ar em Belo Horizonte. Notamos que este processo pode ser considerado, sob o ponto de vista estatístico, caótico. O sistema sofre influência de fenômenos a ele extrínsecos. Os pontos fora dos limites de controle – 1961, 1963 (configuração de *El Niño*), 1964 (configuração de *La Niña*), 1965 (configuração de *El Niño*) e 1979 a 1982 (período de "estabilidade" que precede a configuração do *El Niño* de 82), exigem a investigação imediata da causa de variação assinalável responsável pela sua ocorrência. A configuração de anomalia, bem definida, entre os anos de 1966 e 1977, indica uma mudança no nível desta variável, que pode ser associada à precipitação ou a outros fenômenos atmosféricos e mesmo oceânicos. A aproximação dos limites de controle - observe os anos 1962 (ano preparatório para a configuração do *El Niño* de 63) , 1967, 1968 e 1969 (período de "estabilidade" que precede a configuração de *El Niño* de 69), 1983 (ano de *El Niño*), 1986 (configuração de *El Niño*) e 1989 (ano de *La Niña*) - corresponde à ocorrência de diferentes padrões de informação. Podemos, também, observar que os anos que apresentaram maior variabilidade mensal foram 1961 e 1974 (período alternado por eventos de *El Niño* e *La Niña*, nesta ordem). Quanto a variabilidade, podemos mencionar que, globalmente, este processo está sob controle estatístico; ressalvas devem ser feitas com relação aos anos de 1961 e 1974, que apresentam um padrão de variação maior.

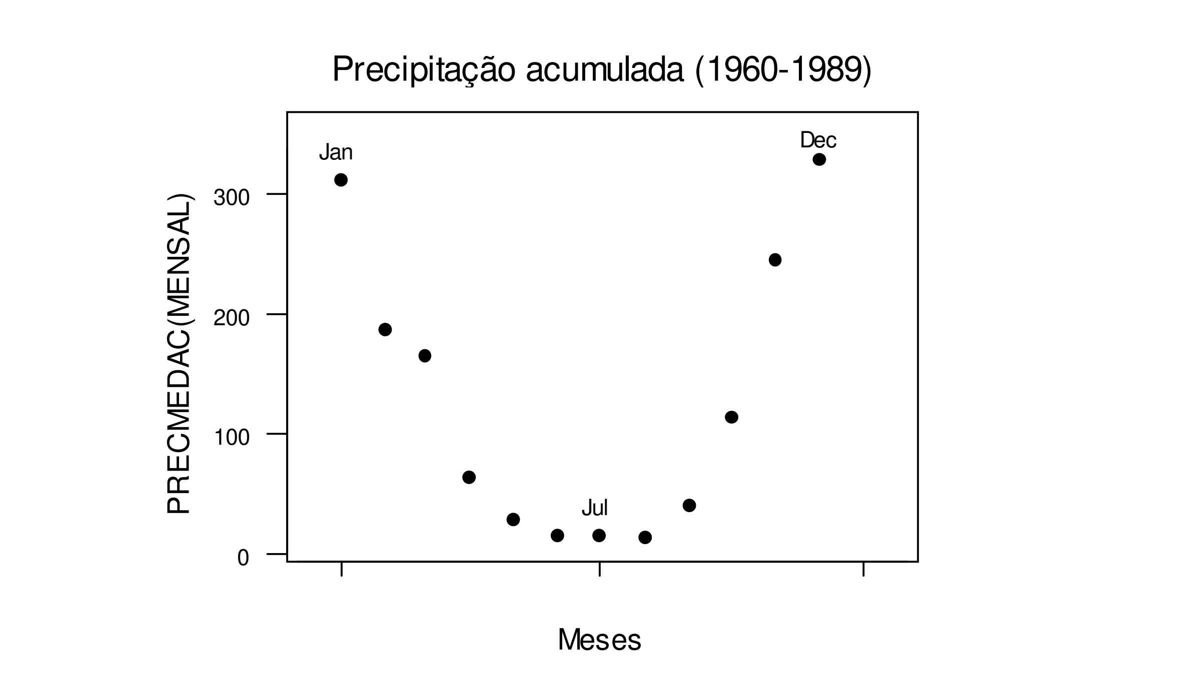

Figura 3: Precipitação média mensal de Belo Horizonte, acumulada anualmente no período de 1960 a 1989.

Através da **Figura 3**, nós verificamos a instalação de dois períodos pluviométricos anuais, um que podemos considerar **seco**, média mensal inferior a 100mm, e outro **chuvoso**, média superior a 100mm.

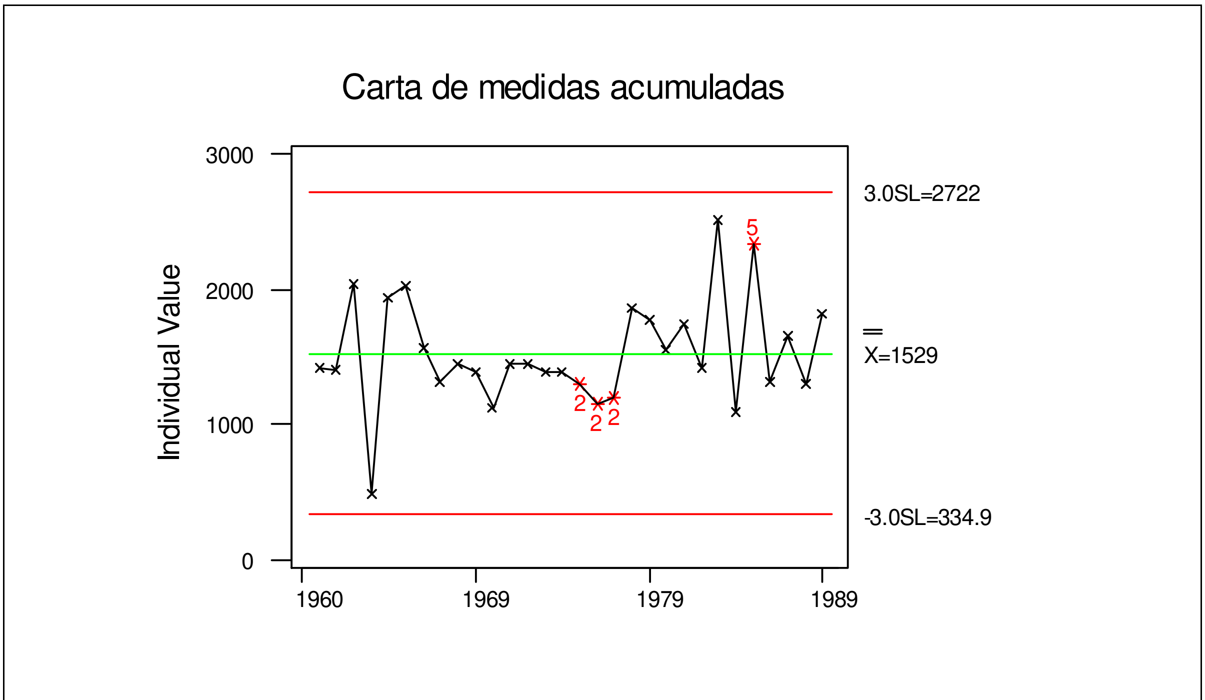

Figura 4: Carta de controle estatístico anual, baseado na precipitação acumulada mensal de Belo Horizonte - MG (1960-1989).

Através do gráfico apresentado na **Figura 4**, representando a precipitação anual acumulada, podemos confirmar, *via* configuração seqüencial de pontos, cujo comprimento é de 10 anos, que Belo Horizonte passou por um período de estiagem entre 1967 e 1977, com acentuada tendência negativa. Os pontos que se aproximam das linhas de controle – 1963, 1983 e 1985, podem indicar a influência de fatores pseudo-exógenos ao fenômeno, como o evento *El Niño* 82-83. Este fato nos impulsiona a buscar algumas explanações em outro espaço de variáveis e desta forma estudar alguns atributos de causa e efeito. Devemos, também, ficar atentos aos anos, cujos pontos se aproximam muito da linha média – 1960, 1961, 1966, 1980 e 1982, esta configuração pode estar indicando a influência de processos provenientes de outros atributos.

4.2 Um Modelo de Regressão Empírico

Nada mais natural, que buscarmos, inicialmente, uma relação de associação entre a precipitação e o número de dias de chuva numa determinada região. Desta forma, sugerimos aqui, uma modelo simples de regressão que relaciona estas duas variáveis, no que concerne a cidade de Belo Horizonte. O efeito que está intrínseco neste marco é aquele relacionado à recuperação de dados pluviométricos não mensurados em meses em que conhecemos o número de dias de chuva. O grau de associação entre PRECBH e NDCBH, pode ser observado no gráfico da **Figura 5**.

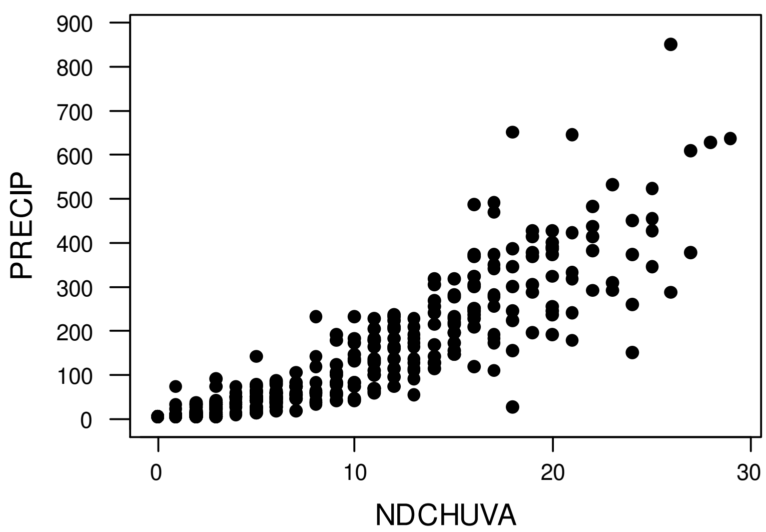

Figura 5: Diagrama de dispersão, visualizando o tipo de relacionamento entre a precipitação e o número de dias de chuva em Belo Horizonte, durante um período de trinta anos (1960-1989).

O padrão polinomial evidenciado neste gráfico de dispersão (**Figura 5**), nos fornece o tipo de relacionamento existente entre as variáveis em consideração - aqui a precipitação é a acumulada em 24 horas, portanto justifica-se tal relação. Isto nos sugere uma transformação da variável precipitação, na tentativa de eliminar o efeito de suporte (associado à unidade de medida) com a meta de podermos ajustar um modelo linear para predição do índice pluviométrico mensal, a partir do conhecimento do número de dias chuvosos. Não podemos deixar de observar o aumento da variabilidade com relação ao aumento do número de dias chuvosos.

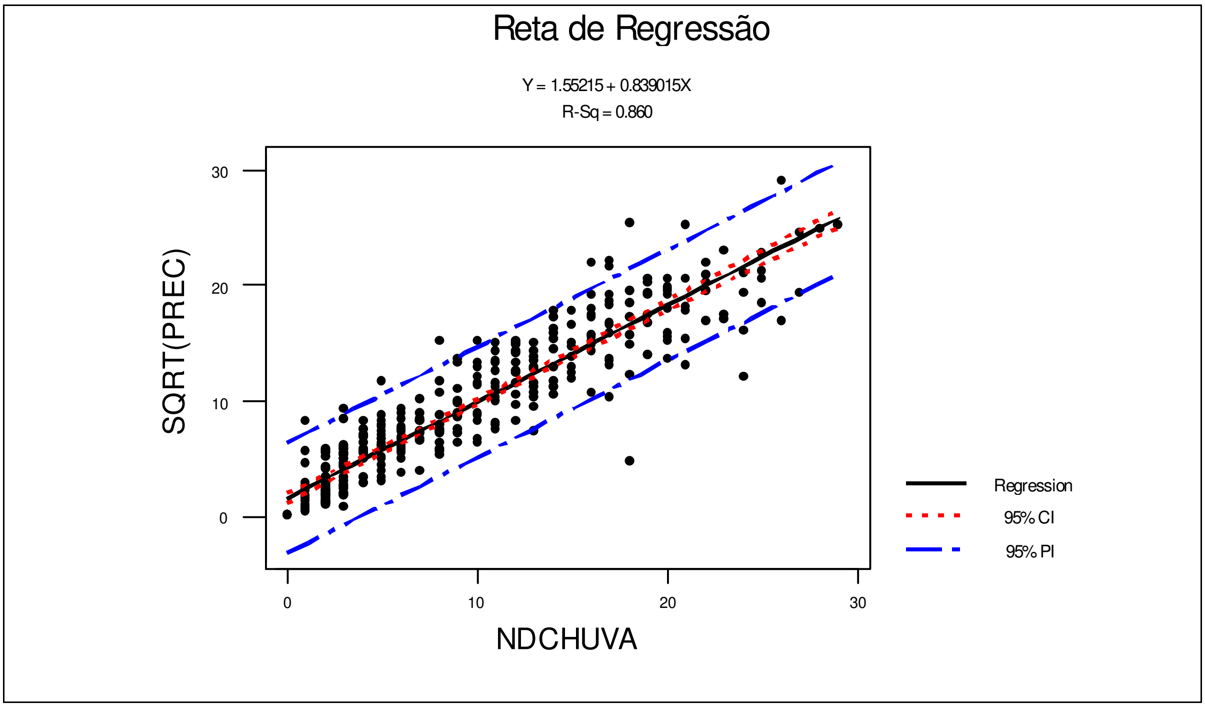

Figura 6: Diagrama de dispersão e a reta de regressão, visualizando o tipo de relacionamento entre a raiz quadrada da pluviosidade e o número de dias de chuva em Belo Horizonte, durante um período de trinta anos. (1960-1989)

O padrão evidenciado no gráfico de dispersão (**Figura 6**), nos fornece o tipo de relacionamento linear existente entre as variáveis em consideração, cujo coeficiente de correlação linear é positivo e tem valor nominal de 0,927. Assim sugerimos um modelo de regressão linear para a predição da precipitação com base no número de dias de chuva.

A equação de regressão é dada por:

SQRTPREC = 1.55 + 0.839 NDCHUVA.

O coeficiente R^2 é 86%, indicando a percentagem da variabilidade explicada pelo modelo de regressão linear. Fica claro, que pela própria gênese do processo, os dados devem ser tratados como longitudinais, uma vez que temos uma série de trinta medidas tomadas mês a mês, assim,

o teste para erro puro -> F = 1.96 e P = 0.0031,

nos permite afirmar que, ao nível de significância de 5%, rejeitamos a hipótese de adequação do modelo sugerido pela equação de regressão linear, *i. e.* o modelo é estatisticamente não adequado, talvez devido à ligeira curvatura existente nos dados, detectada através do teste empírico de falta de ajuste. Isto nos leva a sugerir a regressão regida por:

SQRT(PREC) = 0.713 + 1.10 NDCHUVA - 0.0117 NDCHUVA2.**

Neste caso, o coeficiente R^2 é 86,8%, indicando a percentagem da variabilidade explicada pelo modelo quadrático de regressão. Agora, quando testamos a falta de ajuste através do erro puro, não obtemos evidências de falta de ajuste (**P > 0.1**), onde

```
o teste para erro puro -> F = 1.15 e P = 0.2795,
```

nos permite afirmar que, ao nível de significância de 5%, rejeitamos a hipótese de não adequação do modelo sugerido pela equação de regressão quadrática (**Figura 6a**). Este modelo é estatisticamente adequado! Contudo, pode-se perceber uma fraca heterocedasticidade, devido ao aumento da variabilidade com relação ao aumento do número de dias chuvosos.

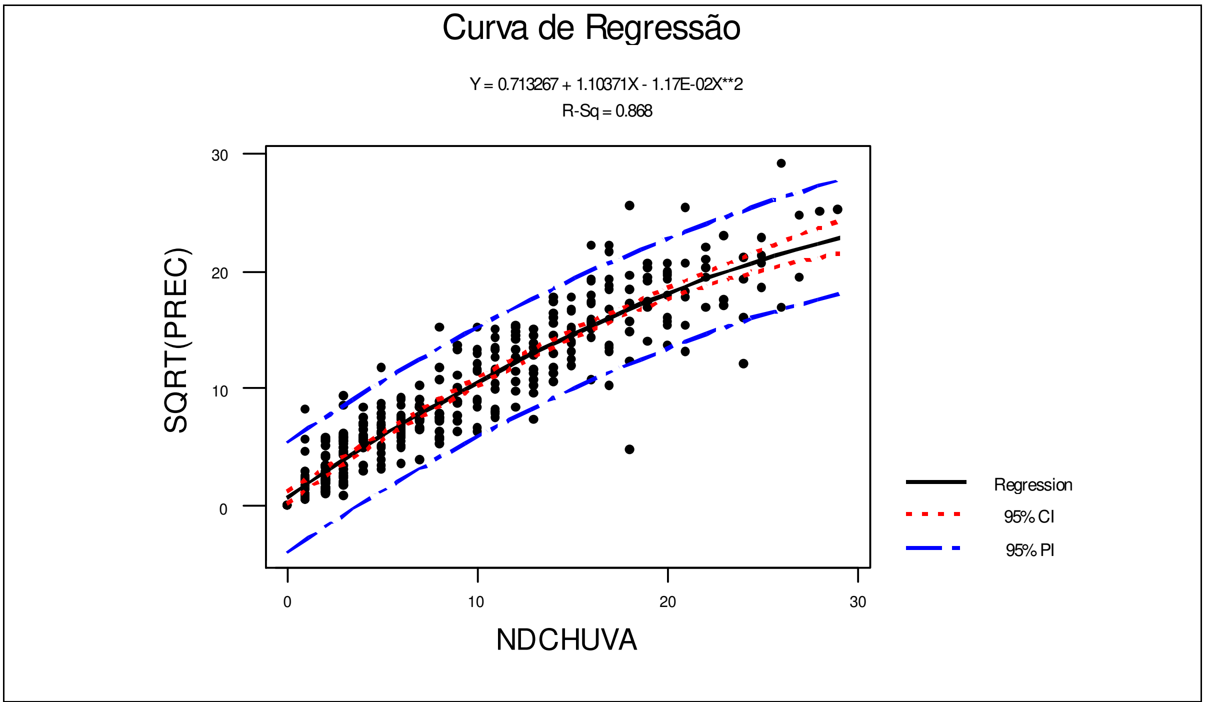

Figura 6a: Diagrama de dispersão e a curva de regressão, visualizando o tipo de relacionamento parabólico entre a raiz quadrada da pluviosidade e o número de dias de chuva em Belo Horizonte durante um período de trinta anos. (1960-1989)

Este modelo se reveste de grande significância para os estudos climáticos, uma vez que ele permite a reconstrução de séries de precipitação a partir do número de dias de chuvas, mais facilmente mensurável. A alta associação entre dias de chuva e precipitação é facilmente compreensível uma vez que a precipitação aqui utilizada é a acumulada em 24 horas. Assim, quanto maior o número de dias de chuvas maior é o valor esperado acumulado da precipitação registrada. O modelo apresenta limitações em anos que registrem a ocorrência de anomalias climáticas uma vez que, nestes casos, a média mensal de precipitação pode ser atingida em chuvas intensas ocorrendo em pequenos intervalos de tempo, como é o caso de temporais isolados. Situações como estas foram observadas no verão 97-98, sob a influência do fenômeno *El Niño*.

A partir deste estágio decidiu-se classificar cada uma das variáveis, categorizando-as; objetivando-se a não degeneração de suas características intrínsecas. Assim, atenua-se o efeito devido à escala (intra-grupo) e ao suporte (inter-grupos) das mensurações.

4.3 Comportamento Sazonal

Para efeito de avaliação do comportamento estacional, consideraremos, agora, quatro marcos teóricos: os meses correspondentes às quatro estações do ano, que são aquelas estabelecidas pela literatura (C_1), *verão*, *outono*, *inverno* e *primavera*; as quatro estações associadas ao comportamento individual de cada variável (C_2) – agrupamento das variáveis em quatro classes definidas pelos seus intervalos interquartílicos, classificadas em *baixa*, *média baixa*, *média alta* e *alta*; e as três estações estabelecidas pelo índice de precipitação anual (C_3) – classificadas como *chuvosa*, *transitória* e *seca* e uma classificação dicotômica empírica (C_4) em estação seca e chuvosa. Devemos observar que as características são visivelmente não independentes, pois podemos perceber facilmente que a partição de determinadas variáveis segundo outras, em geral, difere-se bastante com relação ao atributo de interesse.

Adendo: A classificação realizada levando-se em consideração os intervalos interquartílicos, foi feita da seguinte forma: "*o primeiro grupo G1 é constituído pelos pontos amostrais cujo valor nominal poderiam variar entre o mínimo observado e o primeiro quartil, o grupo G2 pelos valores entre o primeiro quartil e a mediana, G3 pelos valores entre a mediana e o terceiro quartil e por fim o último grupo G4 formado pelos valores compreendidos entre o terceiro quartil e o máximo observado*.".

Cat. / Var.	***PRECBH***	***NDCBH***	***URABH***	***TMAXBH***	***TMEDBH***	***TMINBH***
C_1	0,531	0,547	0,381	0,408	0,447	0,575
C_2	***0,869***	***1,00***	***0,922***	***0,922***	***0,908***	***0,950***
C_3	0,572	0,556	0,464	0,542	0,597	0,661
C_4	***0,847***	***0,878***	***0,647***	***0,725***	***0,800***	***0,892***

Tabela 1: Proporção de classificação individual correta por variável atmosférica, levando-se em consideração as quatro categorizações definidas neste estudo.

Cat. / Var.	***TSM1+2***	***TSM3***	***TSM4***	***IOS1***
C_1	0,511	0,486	0,308	0,293
C_2	***0,969***	***0,936***	***0,950***	***0,844***
C_3	0,628	0,536	0,431	0,336
C_4	0,592	0,542	0,572	0,531

Tabela 2: Proporção de classificação individual correta por variável oceânica, levando-se em consideração as quatro categorizações definidas neste estudo.

Concernente às variáveis atmosféricas (**Tabela 1**) as melhores classificações individuais são relativas às categorizações dos tipos C_2 e C_4, em contudo no que concerne as variáveis oceânicas (**Tabela 2**) a melhor categorização é relativa apenas a C_2. O problema, então, é analisar a estrutura de dependência e fazer surgir os seus traços principais. Para tanto, devemos separar os caracteres em **ativos** - aqueles que descrevem objetivamente o fenômeno; e em **passivos** – aqueles que correspondem às questões que constituem o próprio assunto de interesse, as quais se deseja associar as questões do primeiro grupo mas não necessariamente entre si, buscando-se uma relação de causa e efeito. Devemos observar que as características dos três marcos são visivelmente não independentes, pois podemos perceber facilmente que a partição de determinadas variáveis segundo outras, em geral, difere-se bastante com relação ao atributo de interesse.

A escolha do terceiro marco (C_3), assim como do marco C_4, se baseia no comportamento da precipitação numa região tropical continental, de transição, como é o caso de Belo Horizonte. Assim, no final da primavera e durante o verão (estação chuvosa), o continente é aquecido, aquecendo a atmosfera. A grande disponibilidade de umidade proveniente da região amazônica em direção ao sudeste do País, origina intensa atividade convectiva. Esta atividade convectiva que se estende do Brasil central ao litoral sudeste, pode se associar aos sistemas frontais ocasionando chuvas prolongadas. Este é o caso da ocorrência do evento *ZCAS*, mencionado na Seção **3**. No outono (estação de transição) o resfriamento do continente, ainda com umidade disponível, intensifica o gradiente térmico equador-polo, favorecendo a penetração de sistemas frontais convectivamente ativos que causam precipitação. No inverno, o gradiente latitudinal de temperatura atinge valores muito intensos porém, a baixa disponibilidade de umidade e a atuação do anticiclone subtropical, inibem a formação de precipitação na região (estação seca). No início da primavera o gradiente térmico equador-polo é máximo e, nesta época do ano, a disponibilidade de umidade favorece chuvas intensas regionais. Esta também é uma época de transição climática.

4.4 Análise Multivariada

Muitas aplicações de análise multivariada envolvem uma matriz formada pelas observações e pelas variáveis, que determinam, respectivamente, o espaço linha e o espaço coluna e são envolvidas com um ou mais dos seguintes métodos de tratamento [Guillaume, 1977].

4.4.1 Análise Discriminante

Admitimos, nesta etapa, que exista uma partição do espaço definido pelas observações em subgrupos de dimensão inferior. Investigamos, quais variáveis e qual padrão de observações caracterizam os grupos e os separa. Se categorizarmos as estações em **seca** (**1**) e **chuvosa** (**2**), como sugerido em C_4, conforme os critérios pluviométricos e baseando-nos no método linear para a resposta, obtemos para os seis preditores PRECIPBH, URABH, TMAXBH, TMEDBH, TMINBH e NDCHUVA, a seguinte síntese da matriz discriminante:

	1	2
1	176	16
2	4	164
Total	180	180
Corretos	176	164
Proporção	0.978	0.911

Proporção de acertos = 0.944.

Esta é considerada, sob o enfoque estatístico, uma excelente classificação. No caso de categorizarmos empiricamente as estações, como em C_3, em grupo *1*: *janeiro*, *fevereiro*, *março*, *novembro* e *dezembro*; em grupo *2*: *abril*, *maio*, *setembro* e *outubro* e em grupo *3*: *junho*, *julho* e *agosto*, conforme os critérios pluviométricos, baseando-nos no método linear para a resposta, obtemos para os seis preditores: **PRECIPBH, URABH, TMAXBH, TMEDBH, TMINBH e NDCHUVA,** a seguinte síntese da matriz discriminante:

	1	2	3
1	136	15	0
2	14	86	8
3	0	19	82
Total	150	120	90

Correto	136	86	82
Proporção	0.907	0.717	0.911

Proporção de acertos: 0.844

O que ainda podemos considerar como uma classificação muito boa. Este resultado indica que é adequada a escolha de um agrupamento que defina três estações para a variável precipitação em Belo Horizonte , ao invés das quatro convencionadas pela literatura. A precipitação assim definida pode ser explicada pelo fato da região estar sobre efeito de uma dinâmica atmosférica tropical, na qual a distribuição sazonal de umidade na baixa troposfera, conforme descrito na Seção **3**, é fator determinante no padrão climático desta variável. Em contrapartida, para as variáveis oceânicas – *TSM1+2, TSM3, TSM4* e *IOS1* - obtemos os seguintes resultados:

	1	2	3
1	123	14	3
2	18	50	15
3	9	56	72
Total	150	120	90
Correto	123	50	72
Proporção	0.820	0.417	0.800

Proporção de acertos = 0.681.

Deixando-se, desta forma, evidente que estas variáveis seriam melhor classificadas levando-se em consideração as estações físicas, como definidas no hemisfério sul. Assim, com a categorização C_1, temos:

	1	2	3	4
1	73	11	2	1
2	7	72	5	0
3	5	7	56	22
4	5	0	27	67
Total	90	90	90	90
Corretos	73	72	56	67
Proporção	0.811	0.800	0.622	0.744

Proporção de acertos = 0.744

A propósito desta definição decidimos, rapidamente, averiguar se a climatologia do Pacífico tropical, através das variáveis temperatura na superfície do mar, se agruparia nas duas classificações definidas acima:

Empírico (C_3):

	1	2	3
1	145	0	0
2	5	90	22
3	0	30	68
Total	150	120	90
Corretos	145	90	68
Proporção	0.967	0.750	0.756

Proporção de acertos = 0.842

Teórico (C_1):

	1	2	3	4
1	90	0	0	0
2	0	90	0	0
3	0	0	60	0
4	0	0	30	90
Total	90	90	90	90
Corretos	90	90	60	90
Proporção	1.000	1.000	0.667	1.000

Proporção de acertos = 0.917

Corroborando o resultado esperado de que a climatologia do Pacífico tropical segue a categorização do que entendemos fisicamente por *verão*, *outono*, *inverno* e *primavera*, categorização C_1, ditada por sua própria dinâmica associada ao ciclo sazonal dos ventos alíseos. Não podemos deixar de observar que o *inverno* estaria menos caracterizado nesta região.

4.4.2 Análise de Classificação

Aqui, as observações associadas a cada variável, são agrupadas segundo um critério já estabelecido, porém tem-se também um conjunto adicional de observações não agrupadas, o qual deseja-se classificar. Este é freqüentemente o objetivo final de uma análise discriminante. Para este estudo, classificamos cada variável considerando-se o seu comportamento intrínseco, buscando, assim, um padrão de explicação do grupo associado, como sugerido através de C_2, onde os grupos sazonais são definidos através dos intervalos interquartílicos.

NDCBH – sazonal
<u>Preditores</u>: PRECBH URABH TMAXBH TMEDBH TMINBH

	1	2	3	4
1	79	17	0	0
2	25	56	11	1
3	3	13	69	14
4	0	0	7	65
Total	107	86	87	80
Corretos	79	56	69	65
Proporção	0.738	0.651	0.793	0.812

Proporção de acertos = 0.747

Explicadas a partir da categorização do número de dias de chuva, as demais variáveis se classificariam através da sazonalidade definida por NDCBH de forma aceitável, aproximadamente 75% de classificação coerente.

PRECBH – sazonal
<u>Preditores</u>: NDCBH URABH TMAXBH TMEDBH TMINBH

	1	2	3	4
1	69	23	1	0
2	21	51	16	0
3	0	15	59	15
4	0	1	14	75
Total	90	90	90	90
Corretos	69	51	59	75
Proporção	0.767	0.567	0.878	0.833

Proporção de acertos = 0.706

Explicadas a partir da categorização da precipitação, as demais variáveis se classificariam através da sazonalidade definida por PRECBH de forma aceitável, aproximadamente 71% de classificação coerente.

URABH – sazonal
<u>Preditores</u>: PRECIP NDCBH TMAXBH TMEDBH TMINBH

	1	2	3	4
1	55	27	13	13
2	29	29	20	14
3	8	23	37	15
4	0	5	26	46
Total	92	84	96	88

Corretos	55	29	37	46
Proporção	0.598	0.345	0.385	0.523

Proporção de acertos = 0.464

Explicadas a partir da categorização da umidade relativa do ar, as demais variáveis se classificariam através da sazonalidade definida por URABH de forma razoável, porém não aceitável, aproximadamente 47% de classificação coerente. Sugerindo, assim, que busquemos uma outra categorização que nos possa fornecer uma maior proporção explicativa desta informação quando associada às outras variáveis. Desta forma decidiu-se optar pela categorização por C_4, para esta variável, assim

URABH – C_4
Preditores: PRECIP NDCBH TMAXBH TMEDBH TMINBH

	1	2
1	176	16
2	4	164
Total	180	180
Corretos	176	164
Proporção	0.978	0.911

Proporção de acertos = 0.944

Explicadas a partir da categorização da umidade relativa do ar, as demais variáveis se classificariam através da sazonalidade definida por apenas dois períodos anuais, um **seco** e outro **chuvoso**, de forma muito boa, aproximadamente 95% de classificação coerente. Nós fixaremos esta classificação para o desenvolvimento deste estudo.

TMAXBH – sazonal
Preditores: PRECBH NDCH URA TMEDBH TMINBH

	1	2	3	4
1	63	17	2	5
2	21	50	14	5
3	5	16	61	15
4	2	1	18	70
Total	91	84	95	90
Corretos	63	50	61	70
Proporção	0.692	0.595	0.642	0.778

Proporção de acertos = 0.678

Explicadas a partir da categorização da temperatura máxima mensal, as demais variáveis se classificariam através da sazonalidade definida por TMAXBH de forma aceitável, aproximadamente 68% de classificação coerente.

TMEDBH – sazonal
Preditores: PRECIP NDCHBH URA TMAXBH TMINBH

	1	2	3	4
1	81	4	2	0
2	10	57	15	1
3	2	18	70	11
4	1	2	16	70
Total	94	81	103	82
Corretos	81	57	70	70
Proporção	0.862	0.704	0.680	0.854

Proporção de acertos = 0.772

Explicadas a partir da categorização da temperatura média mensal, as demais variáveis se classificariam através da sazonalidade definida por TMEDBH de forma aceitável, aproximadamente 77% de classificação coerente.

TMINBH – sazonal
<u>Preditores</u>: PRECIP NDCBH URA TMAXBH TMEDBH

	1	2	3	4
1	80	13	0	0
2	10	63	9	3
3	0	11	64	17
4	0	2	30	58
Total	90	89	103	78
Corretos	88	63	64	58
Proporção	0.889	0.708	0.621	0.744

Proporção de acertos = 0.736

Explicadas a partir da categorização da temperatura mínima mensal, as demais variáveis se classificariam através da sazonalidade definida por TMINBH de forma aceitável, aproximadamente 74% de classificação coerente.

Observe que no caso de considerarmos uma das variáveis, usualmente uma variável quantitativa, como dependente e as outras variáveis independentes, a natureza desta dependência deve ser investigada. Se a variável dependente for qualitativa então a regressão será essencialmente uma análise discriminante, aqui determinada. Se novos conjuntos de observações das variáveis independentes vêm a ser mensurados, o valor da variável dependente deve ser predito, ou previsto, usando-se a relação de regressão estabelecida. Se a variável dependente for qualitativa, então este será essencialmente um problema de classificação. Nesta sessão nós definimos as leis de categorização das variáveis atmosféricas, que darão seqüência à nossa análise.

4.4.3 Análise de Conglomerados

Este tipo de análise é freqüentemente denominada classificação automática, onde as similaridades entre observações ou variáveis são avaliadas com o objetivo de formar agrupamentos com base em características semelhantes através de partições.

Desta análise feita, propomos investigar, inicialmente, os dois conjuntos de variáveis – atmosféricas e oceânicas – em separado, dado que devemos considerar a diferença de fase estacional evidenciada nos tratamentos estatísticos acima. Esta proposição está fundamentada através da análise de conglomerados, onde obtemos esta formação utilizando a função de ligação "*completa*", que leva em consideração a máxima distância entre grupos com base em seus "*centróides*" – centro de gravidade da massa de dados.

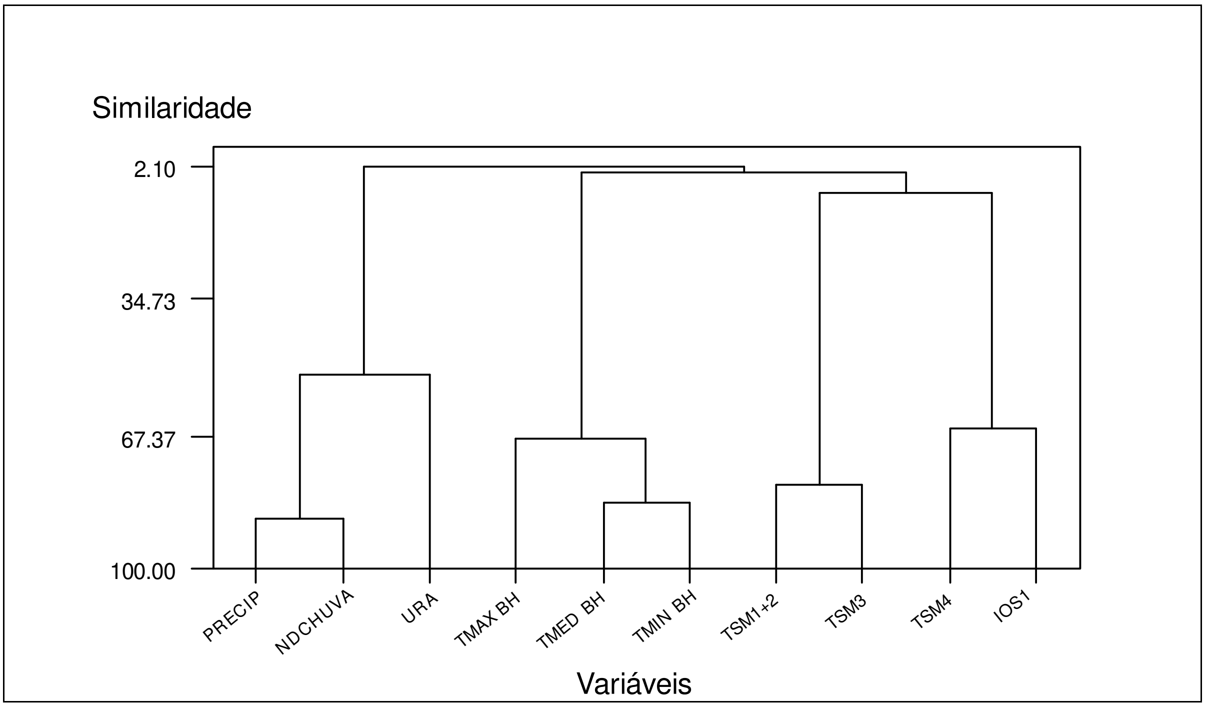

Figura 7: Dendograma das variáveis mensuradas neste estudo, obtido através da métrica "*completa*".

Através do *dendograma* observamos com bastante nitidez a formação de três grupos: dois atmosféricos e um oceânico. Podemos também notar o efeito de suporte, devido as unidades de medida, que se torna evidente com relação ao grupo de variáveis atmosféricas. Na **Figura 7**, podemos observar o alto grau de similaridade entre as variáveis: PRECIP e NDCHUVA (muito forte), TMEDBH e TMINBH (muito forte), TSM1+2 e TSM3 (forte), TSM4 e IOS1 (relativamente forte). Observe ainda, que detectado através desta técnica, o grau de similaridade entre os grupos de variáveis é muito baixo, em torno de 2,10%.

Observamos, ainda, a distinção entre o comportamento das variáveis precipitação e temperatura. A precipitação se associa à disponibilidade de umidade no ar. Esta associação é observada especialmente nas estações chuvosa e de transição quando existe advecção de umidade proveniente da região amazônica para o sudeste do Brasil (ver discussão na Seção **3**). Já no inverno a subsidência associada à presença do anticiclone subtropical sobre o continente brasileiro seca a atmosfera e inibe a convecção. O grupo temperatura indica a dependência entre as temperaturas máxima e mínima, ambas ditadas pelo comportamento do aquecimento e resfriamento da superfície. Os dois grupos estão interligados, uma vez que altas temperaturas nesta região tropical podem induzir a formação de convecção, caso haja umidade disponível (estação chuvosa). Porém esta mesma condição de altas temperaturas na estação seca pode estar associada à subsidência, levando a uma inibição da precipitação. Em outras palavras, nesta região tropical, de transição climática onde se localiza Belo Horizonte, altas temperaturas não significam necessariamente, chuva. Aqui a estação chuvosa é fortemente definida pelo padrão de umidade do ar nos baixos níveis da atmosfera. Pode haver intensa precipitação, na estação chuvosa, devido à associação entre a convergência de umidade e os sistemas frontais, em dias de temperatura moderada. Este é o caso da ocorrência do *ZCAS*. O grupo oceânico se distingue do atmosférico, uma vez que seu comportamento é ditado pela interação entre o oceano e a atmosfera tropicais. A **Figura 7** indica que eles podem estar relacionados com o padrão das temperaturas sobre o continente sulamericano. O subgrupo TSM1+2 e TSM3 se justifica uma vez que sua gênese está ligada ao comportamento dos ventos alíseos na região do Pacífico tropical equatorial.

Observe a diferença entre análise discriminante, onde há uma partição particular de interesse conhecida previamente definida, e análise de conglomerados, onde partições são geradas pela própria análise. Assim, como a discriminação pode ser considerada uma forma direta de regressão, a análise de conglomerados pode ser considerada uma forma discreta de escalonamento multidimensional, no seguinte sentido: técnicas de escalonamento (como análise de correspondência) geram conjunto de valores escalares da matriz de dados sob a forma de pontos no "*continuum*" do espaço multidimensional, onde técnicas de conglomerados geram conjuntos de valores discretos que alocam as observações dentro dos grupos [Greenacre, 1984].

4.5 Análise Fatorial de Componentes Principais

Sempre na expectativa de buscar uma relação entre os grupos atmosféricos e oceânicos, lançamos mão de uma última etapa preparatória antes de finalizarmos este estudo com a análise canônica de correspondências. Objetiva-se, nesta etapa, detectar algumas combinações lineares entre as variáveis oceânicas, que possam ser usadas para explicar a estrutura de variância-covariância das variáveis atmosféricas e assim, obter um padrão de informação através dos dados brutos (não categorizados) e interpretá-lo.

Adendo: Uma freqüente fonte de confusão no campo da análise fatorial é o termo "*fator*". Este algumas vezes se refere a uma hipotética variável não observável. Neste sentido a análise fatorial deve ser distinguida da análise de componentes principais, posto que um componente é uma combinação linear observável. Observe, ainda, que um fator comum é uma variável não observável, que contribui para a explicação da variabilidade de pelo menos duas variáveis observadas. Componentes principais podem ser usados para reduzir o número de variáveis na análise final dos dados.

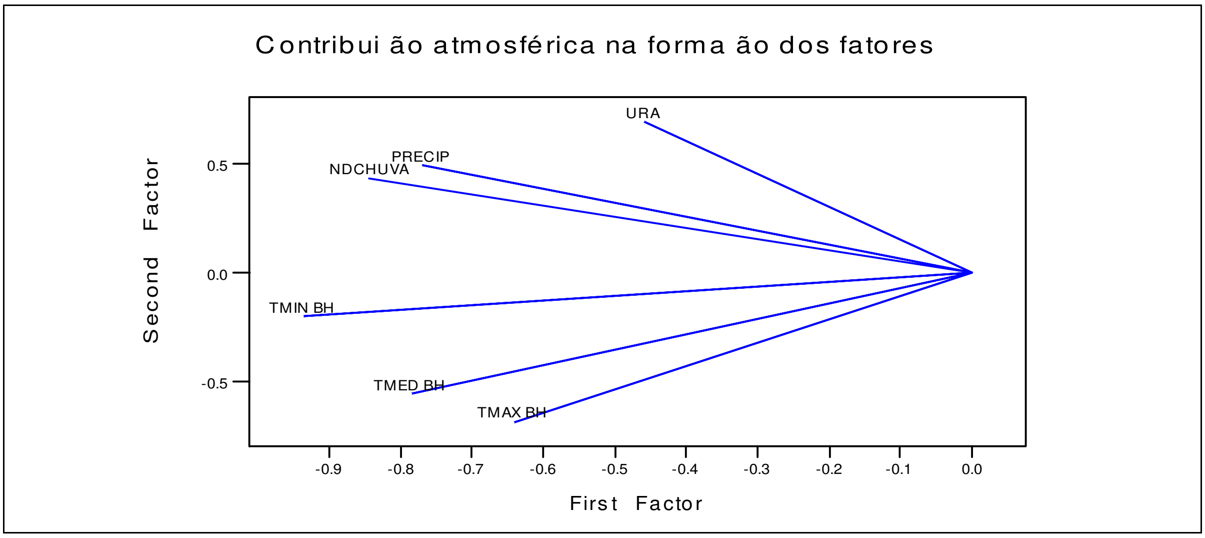

Figura 8: Diagrama de contribuição de cada variável atmosférica aos fatores através da análise de componentes principais.

Por meio da análise fatorial das variáveis atmosféricas concluímos que o primeiro fator explica 57% da variabilidade do fenômeno, sendo que o ponderador mais significativo é aquele referente à TMINBH. Já o segundo fator explica 29% da variabilidade, acumulando 86% da variabilidade explicada, o maior coeficiente positivo de contribuição é o associado à variável URA a maior contribuição oposta é a TMAXBH.

Na tentativa de precisar o comportamento das variáveis de maior contribuição na determinação destes dois fatores (TMINBH, URA e TMAXBH), foram analisados os gráficos a seguir contendo os ponderadores mensais de influência de cada um dos atributos associados às componentes.

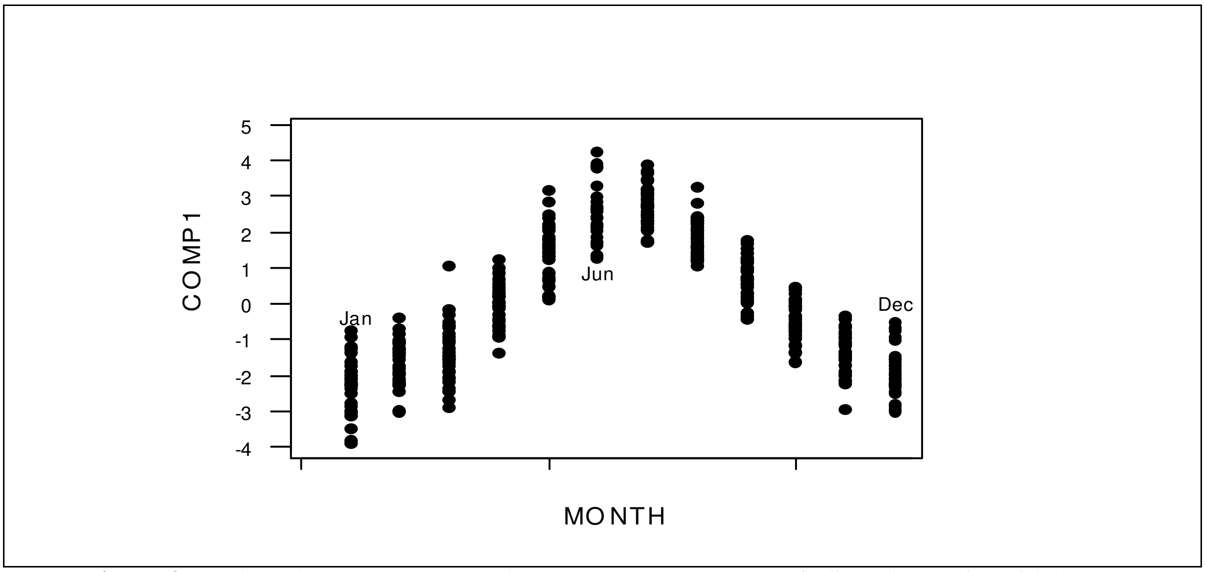

Figura 9a: Padrão do comportamento da componente 1 (COMP1) indicando estacionalidade periódica no domínio mensal.

Sabendo-se que a maior contribuição na construção de COMP1 é devida à TMINBH, interpretamos através de **Figura 9a**, que durante os meses de verão a temperatura mínima tem uma menor contribuição, uma vez que esta variável meteorológica é fortemente determinada pela perda radiativa noturna. Esta condição é inibida no verão devido à presença do alto teor de umidade relativa no ar e da intensa atividade convectiva. Por outro lado, no inverno nesta região, a freqüente ocorrência de noites claras favorece a perda radiativa e consequentemente a redução da magnitude da temperatura mínima. Assim percebemos pelo gráfico da **Figura 9a** que a maior contribuição de TMINBH ocorre no final do outono e nos meses de inverno.

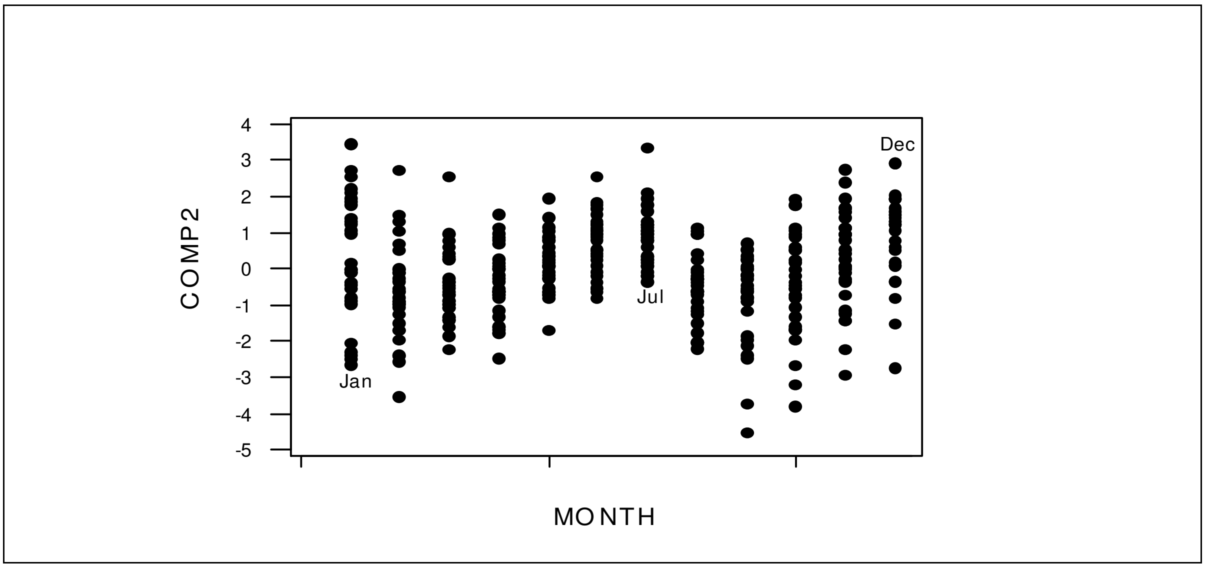

Figura 9b: Padrão do comportamento da componente 2 (COMP2) indicando periodicidade no domínio mensal.

A variabilidade da TMAXBH é pequena, pois estamos em uma região de forte aquecimento; ela é máxima no verão e mínima no inverno, ainda que seus valores sejam altos devido à latitude de Belo Horizonte e a ocorrência de dias claros devido ao predomínio do anticiclone subtropical. Isto justifica a forte contribuição desta variável nos meses de verão e inverno como indicado no gráfico da **Figura 9b**. Já o comportamento da URABH é regido pela disponibilidade hídrica na região sob estudo. Na primavera e no verão, a umidade cresce devido à contribuição da advecção proveniente da região amazônica (como discutido na seção **3**), sendo que podemos notar que na primavera a contribuição da umidade relativa do ar predomina sobre a contribuição da temperatura máxima que está iniciando o processo da ascensão. No outono a contribuição destas duas variáveis se confunde, uma vez que a TMAXBH tende a diminuir e ainda existe grande disponibilidade da atmosfera local.

Observe a diferença de fase de aproximadamente seis meses detectada em COMP1 e de quatro meses em COMP2, confirmando o comportamento climático esperado para estas variáveis.

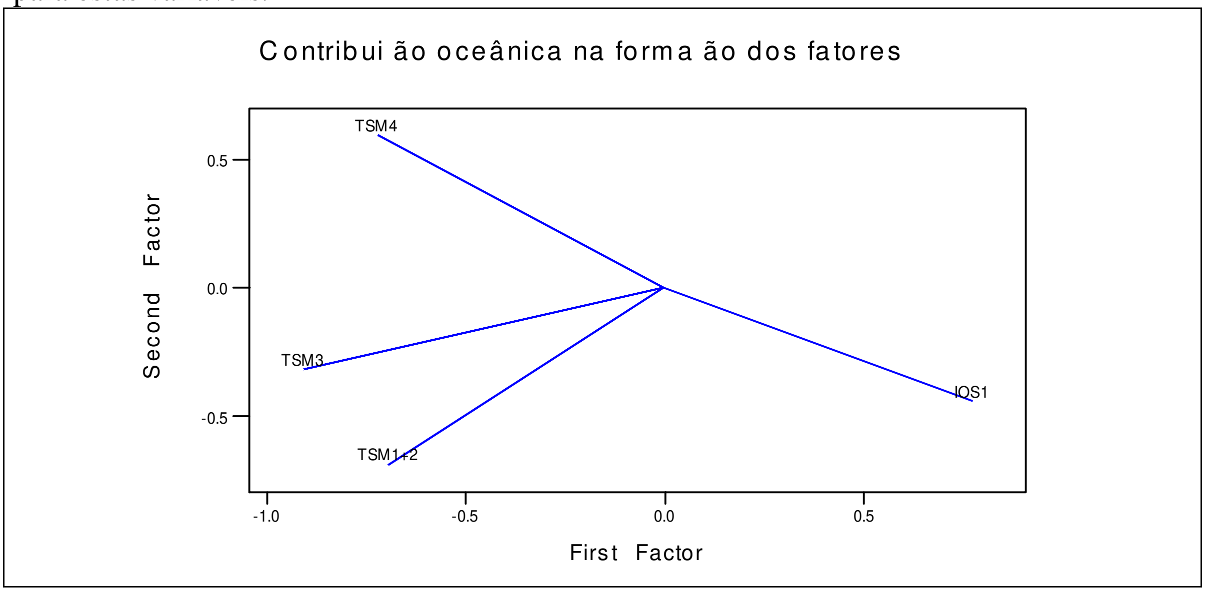

Figura 10: Diagrama de contribuição de cada variável oceânica aos fatores através da análise de componentes principais.

Pela **Figura 10** constatamos que o primeiro fator explica 61% da variabilidade do fenômeno, sendo que o ponderador mais significativo é aquele referente à IOS1 (positivamente) e TSM3 (negativamente), que são quase colineares. Já o segundo fator explica 28% da variabilidade, acumulando 89%, onde o maior coeficiente de contribuição é o associado à variável TSM4 (positivamente) oposto a TSM1+2 (negativamente).

Analogamente, na tentativa de detalhar o comportamento das variáveis oceânicas de maior contribuição na determinação destes dois fatores, foram analisados os gráficos a seguir contendo os ponderadores mensais de influência de cada um dos atributos associados às componentes.

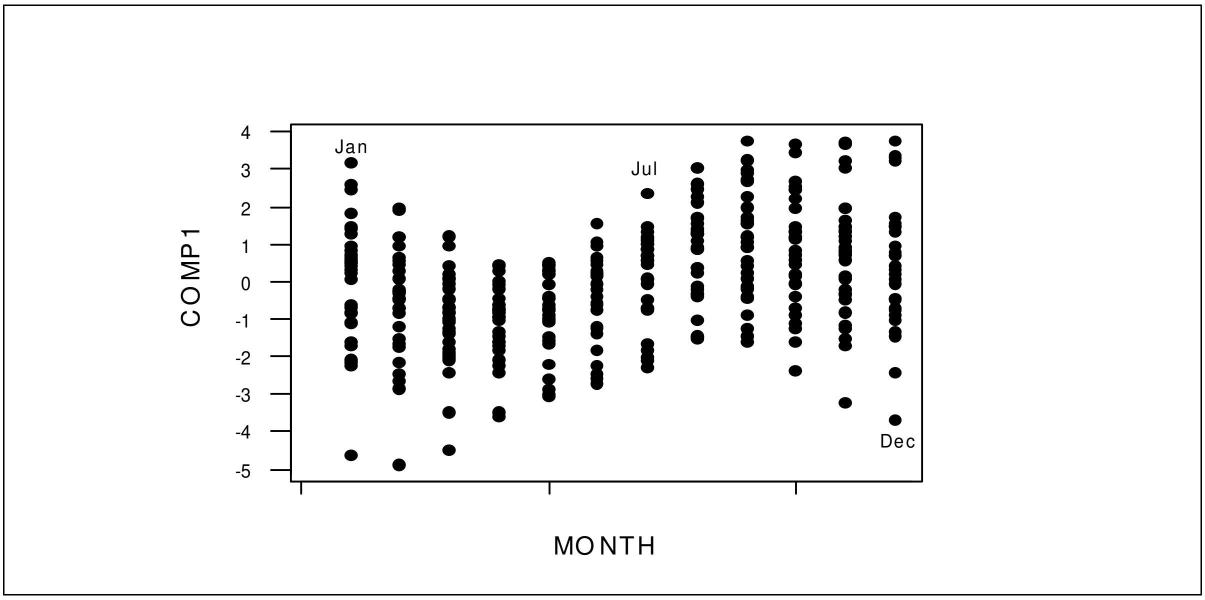

Figura 11a: Padrão do comportamento da componente 1 (COMP1) indicando forte periodicidade no domínio mensal.

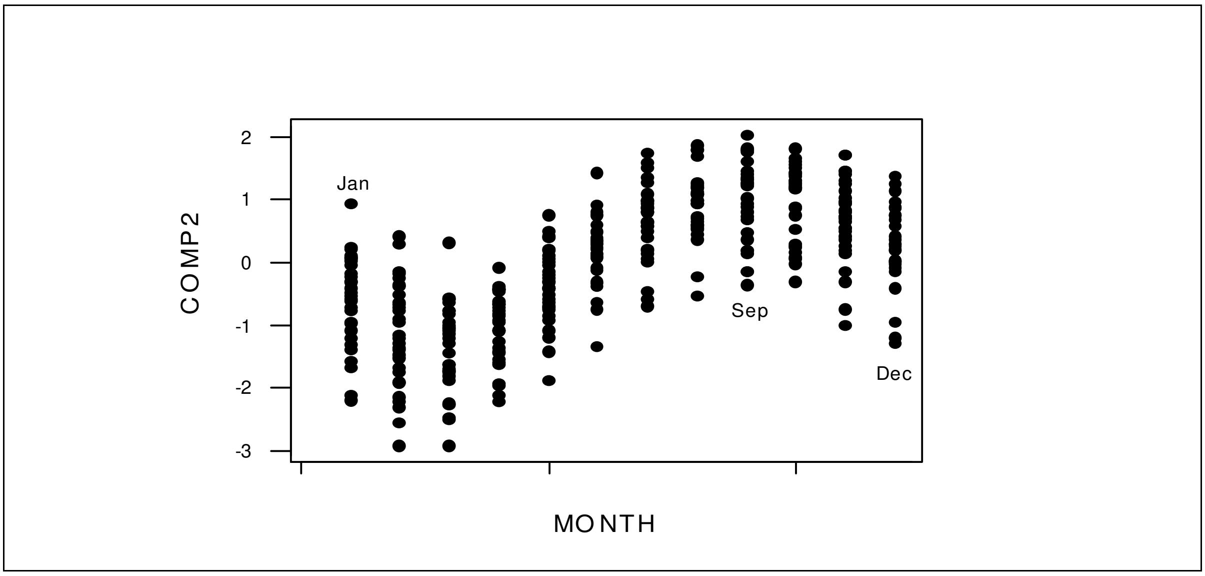

Figura 11b: Padrão do comportamento da componente 2 (COMP2) indicando forte periodicidade no domínio mensal.

Não percebemos aqui, qualquer indicativo de existência de diferença de fase entre as variáveis oceânicas. Este comportamento reforça a associação sazonal entre as variáveis oceânicas e os ventos alíseos, indicando o predomínio sob as mesmas da marcha aparente do sol em torno do equador. Contudo, se compararmos as **Figura 9** e **Figura 11**, observamos que as diferenças de fases mensais nos sugere o fato de que ocorrências no Pacífico tropical associadas a TSM1+2 e TSM4 (IOS1 e TSM3) são sentidas em Belo Horizonte quatro (seis) meses após a sua configuração.

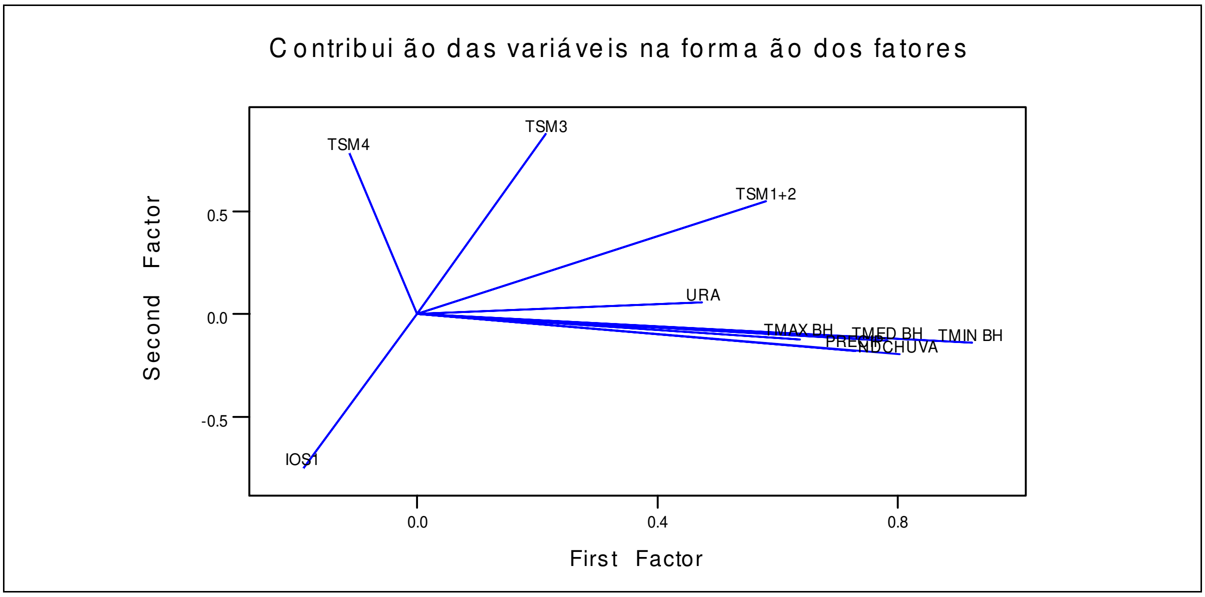

Figura 12: Diagrama de contribuição global de cada variável aos fatores através da análise de componentes principais.

Pela **Figura 12** constatamos que a primeira componente explica a quase totalidade da variabilidade do fenômeno atmosférico em Belo Horizonte, sendo que o ponderador mais significativos é aquele referente à temperatura mínima TMINBH (positivamente). Já o segundo fator explica grande parte da variabilidade do fenômeno oceânico, onde o maior coeficiente de contribuição é o associado à variável TSM3 (positivamente) e IOS1 (negativamente).

Na tentativa de corroborar os resultados mencionados acima com relação às variáveis atmosféricas e oceânicas de maior contribuição na determinação dos dois fatores, foram analisados os gráficos a seguir contendo os ponderadores mensais de influência de cada um dos atributos globalmente associados às componentes.

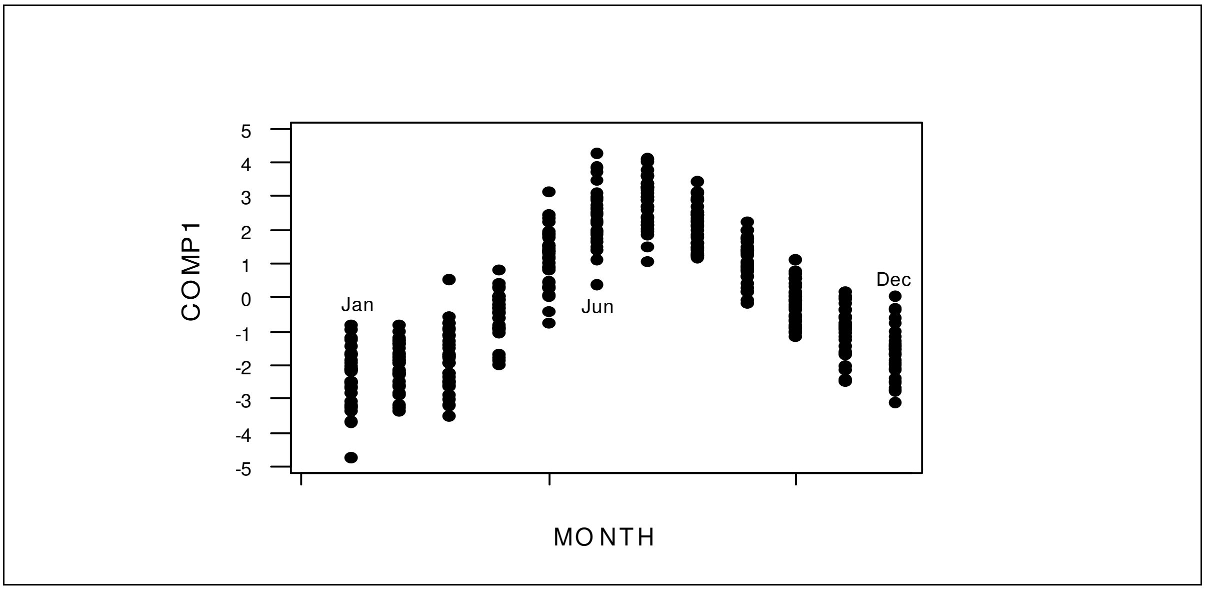

Figura 13a: Padrão do comportamento da componente 1 (COMP1) indicando forte periodicidade no domínio mensal.

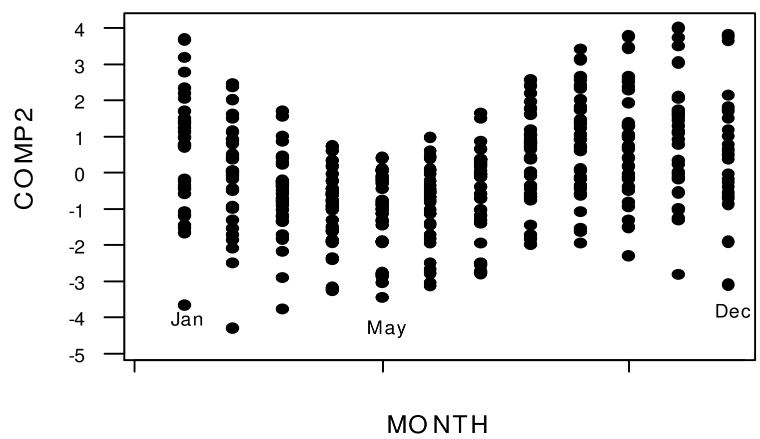

Figura 13b: Padrão do comportamento da componente 2 (COMP2) indicando forte periodicidade no domínio mensal.

A primeira componente é fortemente influenciada pelas variáveis atmosféricas, em contra partida a segunda componente é determinada através dos atributos oceânicos; em ambos os casos percebemos um comportamento sazonal intrínseco. Em ambos os gráficos figuram dois comportamentos harmônicos (cíclicos) simples. Através do conhecimento da predominância relativa da TSM3 diametralmente oposta ao IOS1 e da forte contribuição das variáveis atmosféricas, observamos a diferença de fase de aproximadamente quatro meses detectada entre os dois componentes, podendo atribuir esta característica ao fato de que ocorrências no Pacífico tropical são sentidas em Belo Horizonte quatro meses após a sua configuração.

4.6 Análise Fatorial de Correspondência

A análise de correspondência é, na verdade, a determinação de um sistema de associação entre os elementos de dois (ou mais) conjuntos, que busca explicar a estrutura de associação entre os fatores em questão, relativos aos dados obtidos no experimento, tratados e categorizados. O conceito de inércia em análise da correspondência é análogo ao conceito de variância em análise de componentes principais, e é proporcional à informação (distância) *Qui-quadrada* [Greenacre, 1984; Lucio, 1991]. Serão indicados nesta etapa final as variáveis que melhor explicam a inércia correspondente a cada dimensão e a proporção associada. Analisaremos o conjunto de variáveis na seguinte seqüência: atmosféricas, oceânicas e global. Por conveniência, permitida através da análise de conglomerados, as variáveis atmosféricas foram subdivididas em dois grupos: *G1* formado por precipitação, número de dias de chuva e umidade relativa do ar e *G2* constituído pelas temperaturas médias.

Iniciamos nossa análise através do diagnóstico relativo às observações para em seguida inferirmos sobre o comportamento das variáveis.

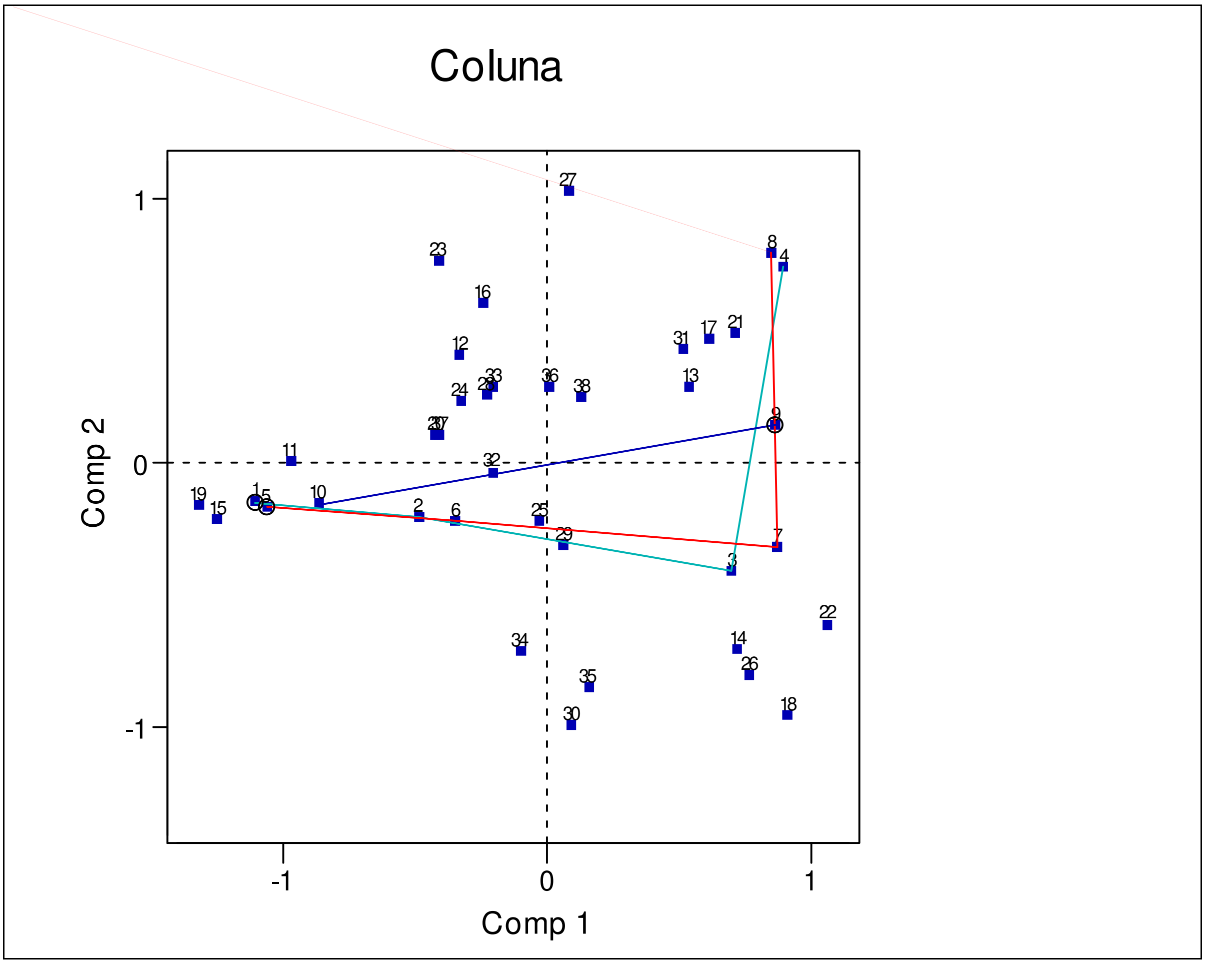

Figura 14: Representação gráfica das observações-coluna através da análise de correspondência bidimensional relativa às variáveis atmosféricas do grupo G1.

Na **Figura 14** podemos observar o mesmo padrão de ordenação no que diz respeito às variáveis PRECBH (pontos: 1, 2, 3 e 4) e NDCBH (pontos: 5, 6, 7 e 8). Note também o padrão de informação que nos fornece a variável URABH (pontos: 9 e 10) sugerindo a associação oposta entre os agrupamentos seco e baixa pluviosidade; chuvoso e alta pluviosidade.

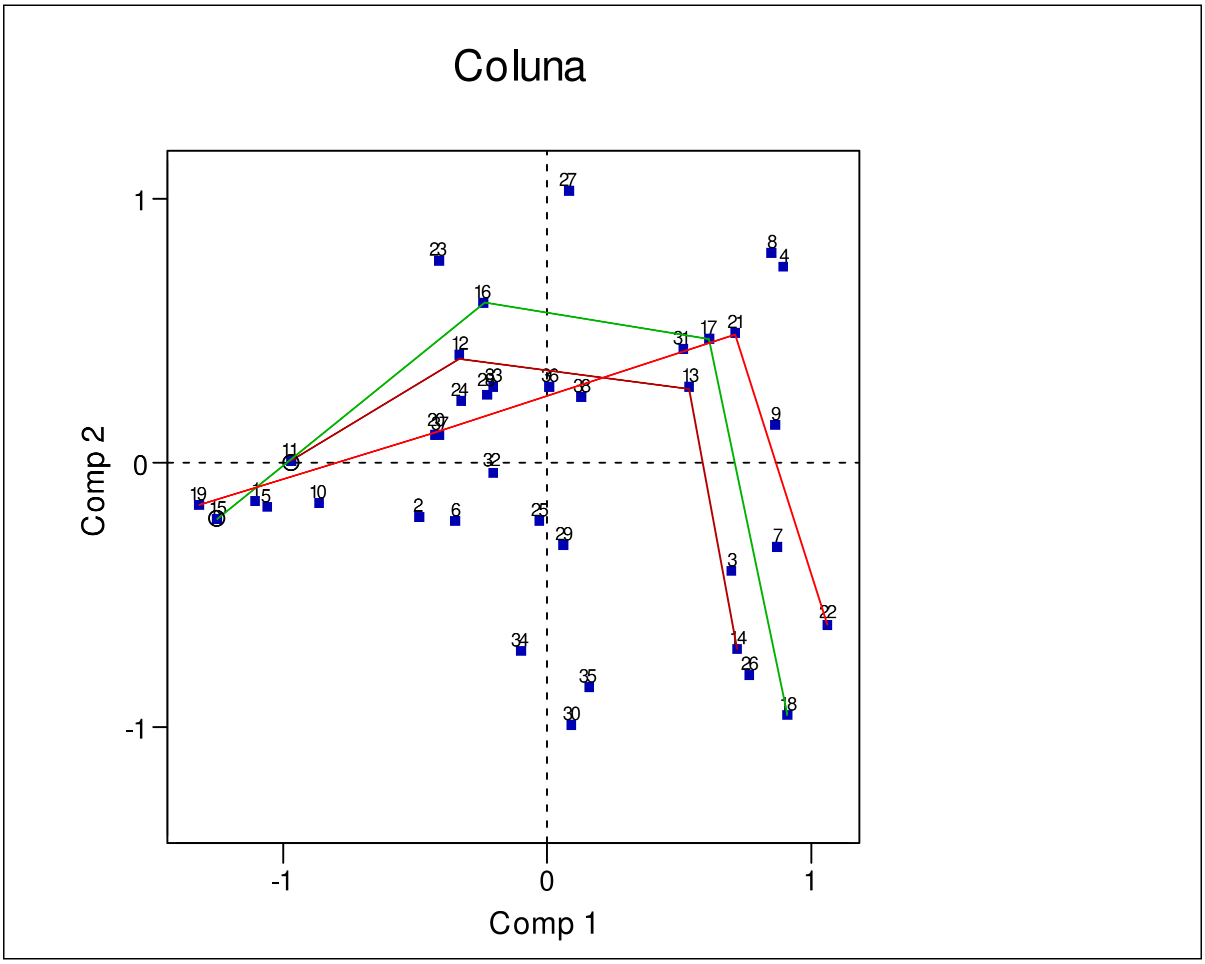

Figura 15: Representação gráfica das observações-coluna através da análise de correspondência bidimensional relativa às variáveis atmosféricas do grupo G2.

Através da **Figura 15**, observa-se o mesmo padrão de ordenação no que diz respeito às variáveis TMAXBH (pontos: 11, 12, 13 e 14) e TMEDBH (pontos: 15, 16, 17 e 18). Note, ainda, o padrão de informação que nos fornece a variável TMINBH (pontos: 19, 20, 21 e 22) sugerindo um estudo de seu comportamento através de sua série de anomalias.

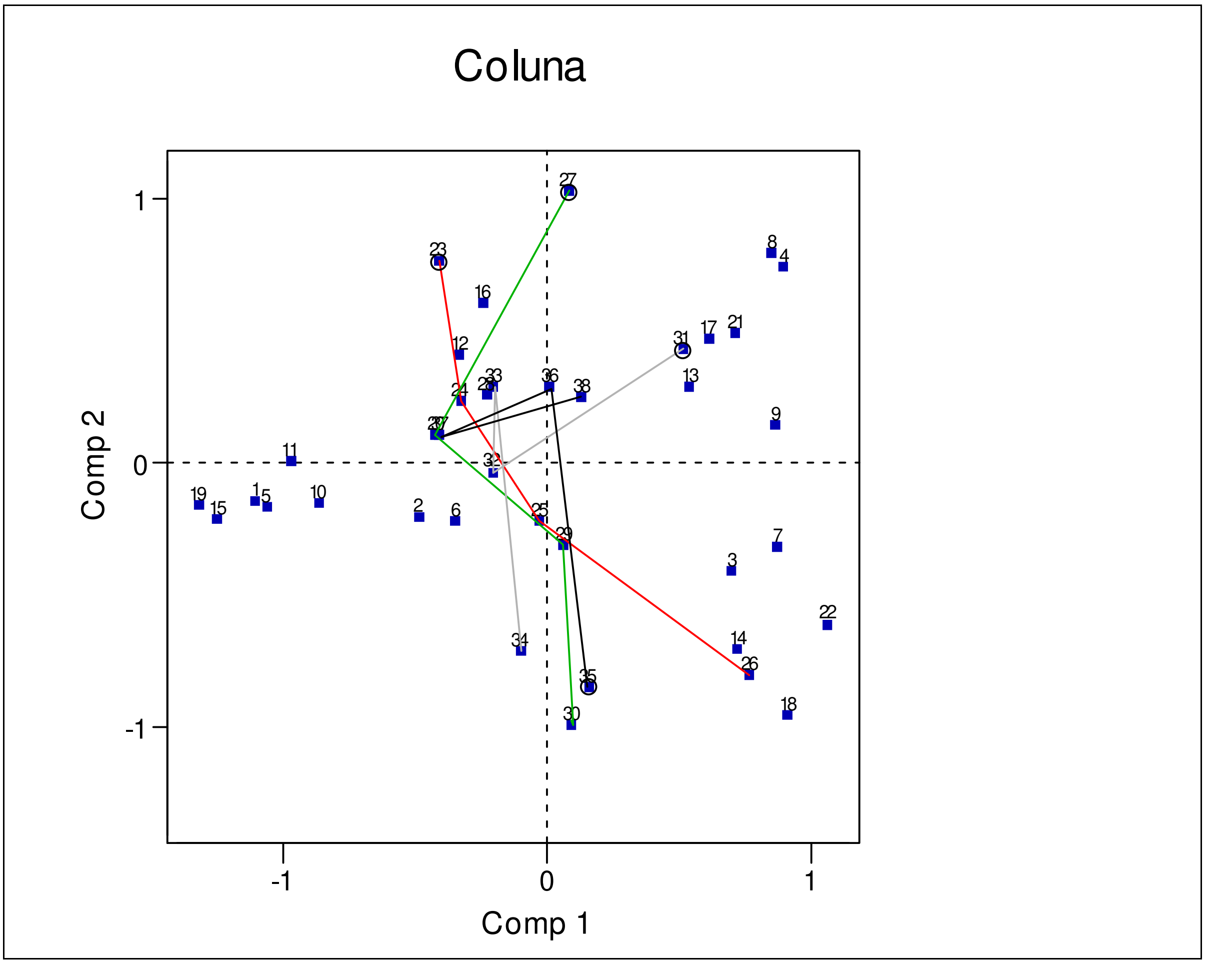

Figura 16: Representação gráfica das observações-coluna através da análise de correspondência bidimensional relativa às variáveis oceânicas.

É importante observar que devemos levar em consideração todas as informações aqui enfatizadas, interpretando a **Figura 16**. O padrão de ordenação no que diz respeito à variável TSM1+2 (pontos: 23, 24, 25 e 26) e TSM3 (pontos: 27, 28, 29 e 30) segue uma regularidade similar. Esta regularidade não ocorre, em definitivo, com as variáveis TSM4 (pontos: 31, 32, 33 e 34) e IOS1 (pontos: 35, 36, 37 e 38), sugerindo um estudo destes comportamentos através de séries de anomalias, onde acreditamos encontrar um padrão regular associado a estas duas variáveis. Atentamos, também, ao fato da associação oposta do IOS1 com respeito aos outros atributos.

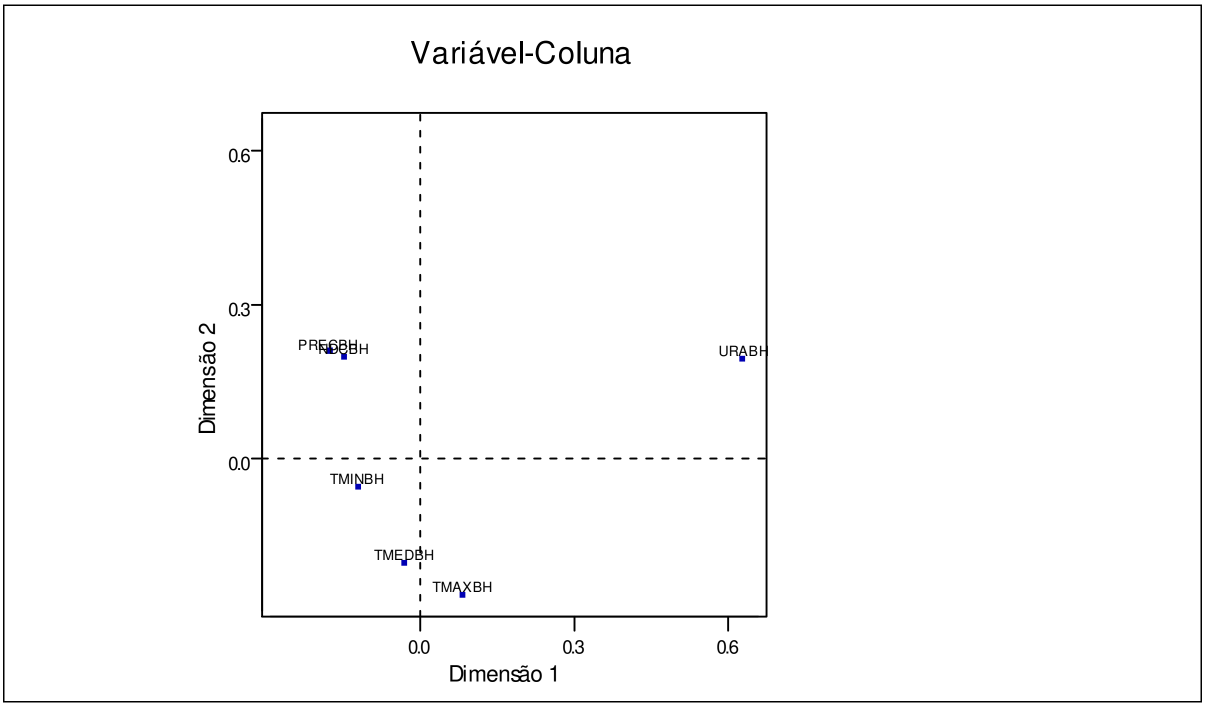

Figura 17: Representação gráfica dos pontos-coluna através da análise de correspondência bidimensional relativa às variáveis atmosféricas.

Analisando a **Figura 17**, interpretamos que a proximidade dos pontos representativos das variáveis precipitação e número de dias de chuva, significa que estas são fortemente correlacionadas, não necessariamente proporcionais. Referente à **dimensão 1**, a maior contribuição absoluta é a da variável umidade relativa do ar, seu comportamento é oposto ao do grupo que se caracteriza pelas temperaturas e que contribui de forma oposta àquela da precipitação; a maior contribuição relativa é a da variável temperatura mínima. Enquanto que concernente à **dimensão 2**, a maior contribuição relativa é referente à temperatura máxima, poderíamos mesmo afirmar que a formação deste eixo é extraída pela forte oposição entre precipitação e temperatura máxima.

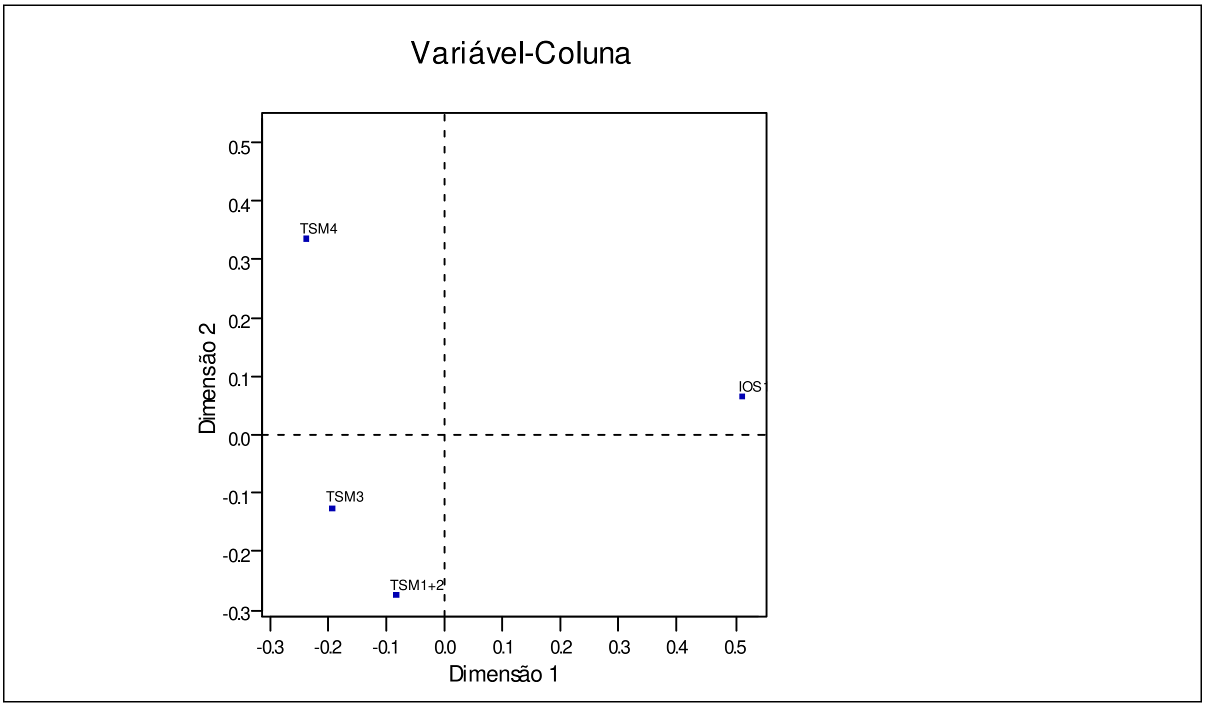

Figura 18: Representação gráfica dos pontos-coluna através da análise de correspondência bidimensional relativa às variáveis oceânicas.

Referente à **Figura 18**, no que concerne à **dimensão1**, a maior contribuição absoluta é do índice de oscilação sul, seu comportamento é oposto ao do grupo que se caracteriza pelas temperaturas de superfície do mar nas regiões *Niño 1* e 2 e *Niño 3*. Concernente à dimensão 2, verificamos que o eixo é determinado pela alta contribuição da temperatura em *Niño 1* e 2 oposta à temperatura em *Niño 4*.

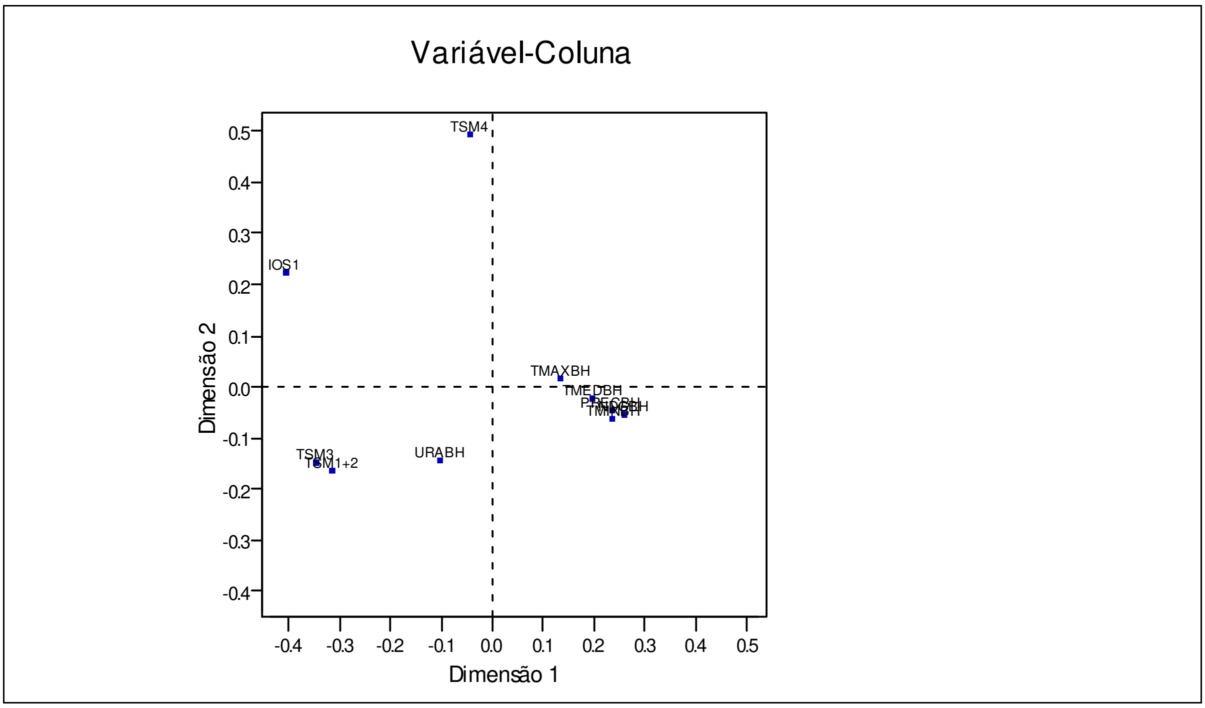

Figura 19: Representação gráfica global dos pontos-coluna através da análise de correspondência bidimensional.

Na **Figura 19**, relativo à **dimensão 1**, TSM3 e TSM1+2 têm contribuições relativas e absolutas elevadas, assim que IOS1. Observe que TSM3 e TSM1+2 se mostram fortemente correlacionadas nesta estrutura. O comportamento é o mesmo para as temperaturas em Belo Horizonte, porém para estas últimas o valores das projeções são positivos. Assim, o grupo temperatura na superfície do mar contribui com a temperatura atmosférica, à qual o grupo se apresenta em posição oposta. As variáveis TMEDBH, TMINBH, PRECBH e NDCBH apresentam uma estrutura de forte correlação. O segundo eixo (**dimensão 2**) é extraído pela associação entre a umidade relativa do ar oposta à temperatura na região *Niño 4*, cuja contribuição absoluta é alta.

5. Conclusões

Esta análise confirma a contribuição das atividades oceânicas na superfície do Pacífico tropical no que concerne o clima de Belo Horizonte - MG. Nenhuma das variáveis consideradas pôde ser julgada como de baixa contribuição na caracterização do fenômeno em questão, apenas sugerimos que sejam induzidos estudos com base nas séries de anomalias para as variáveis TMINBH, TSM4 e IOS1; e estudos com base nas séries brutas das variáveis PRECBH, TMAXBH e TSM1+2. Relativo ao eixo de explicação da maior percentagem da variabilidade global, predominam as temperaturas oceânicas TSM1+2 e TSM3 em diferença de fase com as temperatura atmosférica TMAXBH. No que tange ao outro eixo, há uma forte associação oposta por fase, entre a pluviosidade de Belo Horizonte e a temperatura na superfície do mar na região *Niño 4* e o e IOS1. A forma destes agrupamentos nos sugere que seja possível determinar uma equação que leve em conta as diferenças de fases detectadas e as corrija; que defina a precipitação e temperatura máxima mensal de Belo Horizonte a partir das temperaturas na superfície do mar nas regiões de *Niño1* e *Niño2*, e as anomalias da temperatura mínima de Belo Horizonte a partir das séries de anomalias das temperaturas na superfície do mar nas regiões de *Niño4* e do índice de oscilação sul medidos com uma defasagem de quatro meses; assim como a utilização da umidade relativa do ar como uma variável que possa auxiliar na correção de fases. Torna-se, neste ponto, importante observar que sob o enfoque estatístico a meta deste trabalho não se concentra na comparação das técnicas multivariadas utilizadas, e sim, na contribuição de cada uma delas na análise de séries climatológicas.

Agradecimentos

M. L. de Abreu agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, por financiar o projeto nº. 3065, do qual se originou parte deste artigo. Os autores agradecem o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos por tornar disponível os dados aqui analisados. Este trabalho está sendo submetido sob forma de artigo à *Revista Brasileira de Geofísica*.

Referências

Greenacre, M. J.-1984- Theory and applications of correspondence analysis. Academic Press, London.
Guillaume, A .-1977- Introduction a la géologie quantitative. Masson, Paris.
Lucio, P.S.-1991- Análise de correspondência – um estudo de caso: erosão acelerada por voçorocas. Rel. Técnico do Dep. de Estatística - ICEx-UFMG.

Nimer, E.-1989- Climatologia do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, São Paulo; 421 p.
Nobre, C. A.-1988- Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: A Importância do Oceano Atlântico. Climanálise, 3(**4**), 30-33.
Oliveira, A. S.-1986- Interações entre Sistemas na América do Sul e Convecção na Amazônia. Tese de Mestrado em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP; (INPE - 4008 - TDL / 239).
de Quadro, M. F. L.; ABREU, M. L.-1994- Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte, MG, 18 a 25 de Outubro, v. 2, 620-623.
Rocha, A. M. G. C.; Gandu, A. W.-1996- A Zona de Convergência do Atlântico Sul. Climanálise Especial: edição comemorativa de 10 anos, 140-142.