

ISSN 0104-1347

Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil

Response time of vegetation to the seasonal variation of precipitation in the Northeast Brazil

Célia Campos Braga¹, José Ivaldo Barbosa de Brito¹, Clóvis Angeli Sansigolo² e
Tantravahi Venkata Ramana Rao¹

Resumo - Foram identificadas oito regiões homogêneas na região Nordeste do Brasil, baseada no tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação pluvial. Utilizaram-se séries de dados mensais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) dos sensores de alta resolução dos satélites da série NOAA 7, 9 e 11 com resolução de espacial de $0,34^\circ \times 0,34^\circ$, e dados mensais de precipitação pluvial no período de 1981-1991. Usaram-se os métodos de Componentes Principais e Análise de Agrupamentos para determinar os padrões espacial e temporal e regiões homogêneas com relação a precipitação pluvial e IVDN. Os resultados obtidos, nas diferentes regiões homogêneas, mostram que o tempo de resposta da vegetação à precipitação apresenta defasagem temporal de um mês nas regiões semi-áridas (área central da região Nordeste), com cobertura vegetal predominante de caatinga e, de dois meses, nas regiões localizadas no oeste e costa leste da região Nordeste, com cobertura predominante de floresta perenifólia, de cerrado e de elemento de cerrado. A análise quantitativa dos padrões temporais e espaciais de IVDN e de precipitação pluvial indicam uma forte dependência do IVDN com relação à precipitação associando-os ao regime de chuva da região Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: índice de vegetação, precipitação pluvial, tempo de resposta da vegetação, variabilidade sazonal.

Abstract - In this study, eight homogeneous regions were identified based on the response time of vegetation to the seasonal variability of precipitation in the Northeast Brazil. Monthly series of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtained from the data collected by the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), of the NOAA 7, 9 e 11 satellite series with a reduced spatial resolution of $34^\circ \times 34^\circ$ and the mean monthly precipitation data obtained from the records of rain gauge stations located in this region for the period of 1981-1991 were utilized. The analysis of patterns and the homogeneous precipitation regions and the NDVI were performed by using the techniques of Factorial Analysis in Principal Components and Hierarchical grouping. The results obtained for homogeneous regions showed that the vegetation response time to precipitation presents a time lag of one month in the semi-arid regions (central Northeast Brazil) which are covered with the predominant native vegetation of "Caatinga", and two months in the regions located in the West and in the East coast, which are covered with the predominant perennial forest, "Cerrado" and elements of "Cerrado". The quantitative analysis of the temporal and spatial patterns of NDVI and rainfall indicate a strong dependence of NDVI with relation to the rainfall, associating them to the precipitation regimes of the region of Northeast Brazil.

Key words: vegetation index, rainfall, response time of vegetation, seasonal variability.

¹Professores Drs. Departamento de Ciências Atmosféricas/ Universidade Federal de Campina Grande, Caixa Postal 10041, CEP 58109-970, Campina Grande PB. Email- celia@dca.ufpb.br.

²Pesquisador do Instituto Pesquisa Espaciais - INPE, S. José dos Campos -SP. Email- sansigol@cptec.inpe.br.

Introdução

A região Nordeste do Brasil está situada entre as latitudes de 1° e 18°S e longitudes de 34° e 48°W, a leste da floresta Amazônica e a oeste do oceano Atlântico. A maior parte da sua área é caracterizada como semi-árida, com grande variabilidade espacial e temporal das precipitações e elevada taxa de evaporação. As variações interanuais são marcantes. Considerando a variação sazonal da precipitação pluvial na região como um todo, pode-se dizer que existem diferenças no regime pluviométrico com precipitação mais significativa de novembro a julho. As variações espaciais e sazonais da precipitação e na região identificam a existência de, pelo menos, três tipos de regime pluviométricos em três áreas distintas (STRANG, 1972; KOUSKY, 1979). O primeiro regime de precipitação influencia a área mais ao norte da região Nordeste, abrangendo principalmente o Estado do Ceará, oeste do Estado do Rio Grande do Norte e sertões dos Estados da Paraíba e de Pernambuco. Este regime apresenta o máximo de precipitação pluvial nos meses de março e abril e está associado principalmente com o deslocamento para sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (UVO, 1989). O segundo regime de chuvas, na região Nordeste, está associado principalmente à penetração de sistemas de origem frontal oriundos de latitudes médias do Hemisfério Sul. Esses sistemas influenciam a precipitação, especialmente no sul-sudeste e oeste da região Nordeste, durante quase todo o ano (KOUSKY, 1979) mas com maior intensidade no verão (de novembro a fevereiro). Os regimes pluviométricos anteriormente citados também são influenciados por um outro sistema atmosférico de escala sinótica: os vórtices ciclônicos da alta troposfera. Esses vórtices se formam sobre o oceano Atlântico Sul próximo a costa leste da região Nordeste no período de novembro a abril (KOUSKY & GAN, 1981). Seu tempo de vida varia de algumas horas a mais de duas semanas. Ocorrem com maior frequência no verão, favorecidos pela configuração do escoamento médio na alta troposfera. O terceiro regime, com máximos de precipitação no outono e inverno, atua na faixa litorânea leste da região Nordeste, desde o Estado do Rio Grande do Norte até o da Estado da Bahia. Esta região é influenciada pela predominância de movimentos ascendentes ao longo da costa, devido à convergência dos ventos alísios de sudeste, que sopram do mar para o continente, e da brisa terrestre noturna, que sopra do continente para o oceano. Estudos mostram que mais

de 50 % da precipitação pluvial da costa leste ocorre no período noturno, assim como a maior diferença de temperatura entre o continente e oceano força circulações de brisas mais intensas nos meses de maio e junho (KOUSKY, 1980). Outro fator importante na produção de chuva naquela região é a intensidade e posicionamento da Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul, devido ao transporte de vapor d'água em baixos níveis troposféricos (RAO *et al.*, 1993).

A cobertura vegetal da região Nordeste do Brasil é composta por diversos padrões morfológicos que dependem da fisiografia e das condições climáticas. A porção semi-árida dessa região destaca-se pela presença da formação vegetal caatinga arbustiva, densa ou aberta, que perde sua folhagem no período de estiagem, tornando a florescer no período chuvoso. Além dessa vegetação, destacam-se a Mata Atlântica, a vegetação de praias, as dunas e restingas, os cerrados, as matas ribeirinhas, a vegetação de mangues e a vegetação rupestre (IBGE, 1985). Nos últimos anos, com o avanço da tecnologia foram desenvolvidos sensores de alta resolução capazes de fazer o monitoramento da resposta espectral da vegetação de uma determinada área geográfica. A resposta espectral detectada pelos sensores na banda do visível (VIS) e no infravermelho próximo (IV), dos satélites meteorológicos NOAA 7, 9 e 11, informam sobre a reflectância da superfície vegetada, o que possibilita identificar e mapear áreas de cobertura vegetal no globo terrestre (PARKINSON, 1997).

Séries temporais e espaciais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) têm sido utilizadas em todo o mundo para identificação e classificação da vegetação, para a caracterização da dinâmica da vegetação, para resposta da vegetação à precipitação pluvial e para alerta de secas. TOWNSHEND *et al.* (1985) aplicaram a técnica Componentes Principais (CP) à dados de IVDN, para estudar o comportamento da cobertura vegetal em várias épocas do ano no período de 1982-83. EASTMAN & FULK (1993) utilizaram dados mensais do IVDN do satélite NOAA 9, no período de 1986-88, para estudar condições ambientais espaciais na África, através da Análise em Componentes Principais. Os autores mostraram que a técnica é um indicador potencial de mudanças sazonais da vegetação, cujos valores são influenciados por eventos periódicos e não periódicos. NICHOLSON & FARRAR (1994) utilizaram dados do IVDN de regiões semi-áridas da África para encontrar uma relação com a chuva e umidade do solo. SRIVASTAVA *et al.* (1997) fizeram uso dos

dados IVDN do satélite NOAA com objetivo de encontrar uma relação entre as variações sazonais de IVDN, precipitação pluvial e transpiração em diferentes regiões semi-áridas no estado de Karnataka (Índia). GUTMAN & IGNATOV (1998) utilizaram cinco anos de dados mensais do IVDN do satélite NOAA, para produzir mapas da fração da vegetação e incorporá-los em modelos numéricos de previsão de tempo regional e global com o objetivo de melhorar a previsão dos fluxos à superfície. Destaca-se ainda trabalho de ALMEIDA (1997) que aplicou a Análise em Componentes Principais e Agrupamentos a dados sazonais do IVDN para o cerrado brasileiro objetivando determinar grupos homogêneos do IVDN e tempo de resposta da vegetação à precipitação pluvial. BARBOSA, (1998) analisando qualitativa e quantitativamente as variações mensais do IVDN e da precipitação pluvial do período de 1982-85, para dez áreas teste com diferentes tipos de vegetação, concluiu que o IVDN pode ser usado como indicador do regime pluvial, em períodos extremos de seca e chuva na região Nordeste do Brasil. BRAGA, (2000) fez uso das técnicas de Componentes Principais e de Agrupamentos para identificar regiões homogêneas e padrões espaciais de variabilidade sazonal e anual do IVDN e da precipitação pluvial na região Nordeste do Brasil.

O objetivo deste estudo foi aplicar as técnicas de Componentes Principais e Análise de Agrupamento a dados mensais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e da precipitação pluvial do período de 1981-1991, visando obter o tempo de resposta da vegetação à ocorrência da precipitação pluvial em diferentes regiões homogêneas na região Nordeste do Brasil.

Material e Métodos

As séries de dados de mensais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) utilizados neste estudo, correspondentes ao período de 1981 a 1991, foram cedidos pela Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados do IVDN processados pelo Global Inventory Monitoring Modelling Studies (GIMMS) da National Aeronautics and Space Administration (NASA), são organizados por continente e as informações referentes aos oceanos são omitidas. Esses dados são provenientes dos canais 1 e 2 (visível e infravermelho próximo) do sensor

Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) da série de satélites meteorológicos NOAA 7, 9 11, e são convertidos em unidades de reflectância usando a calibração pré-vôo fornecida pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Os valores do IVDN são composições mensais, geradas a partir dos máximos valores do mês atribuído a cada ponto e foram reduzidos de pontos de grade para latitude e longitude $0,34^\circ \times 0,34^\circ$. O canal 1 corresponde a banda espectral no visível do sensor AVHRR (0,58-0,68 μm), onde a radiação solar é absorvida pela clorofila e o canal 2, a região da banda espectral do infravermelho próximo (0,725-1,1 μm), onde existe uma maior reflexão da radiação. A combinação da reflectância nos dois canais dá origem ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) que é definido pela proporção:

$$\text{IVDN} = (\text{I} - \text{R}) / (\text{I} + \text{R}) \quad (1)$$

onde, I é a medida da reflectância na banda espectral do infravermelho próximo (0,725-1,10 μm) e R a medida na banda espectral do visível (0,58 - 0,68 μm), incluindo o laranja neste comprimento de onda.

Os valores mais altos do IVDN estão associados a cobertura de vegetação densa. Os valores mais comuns encontrado do IVDN são 0,6 para floresta úmidas tropicais, 0,05 para desertos e -0,3 para nuvens que não precipitam (PARKINSON, 1997; GUTMAN, 1991). A identificação dos principais tipos de cobertura da região Nordeste do Brasil teve como base o mapa de vegetação fornecido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Figura 1). Utilizaram-se para o mesmo período, os dados médios mensais da precipitação pluvial, oriundos de postos e de estações meteorológicas disponíveis no Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Os postos e/ou estação meteorológicas distribuídas na região Nordeste, coincidem com o ponto de latitude e longitude do IVDN, totalizando 277 localidades ilustradas na Figura 2.

A metodologia fundamental deste estudo baseou-se nas técnicas de Análise Multivariada. Considerou-se a Análise Fatorial (AF) em Componentes Principais (CP) nos modos espacial e temporal para definir os padrões de variabilidade interanual e sazonal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e da precipitação pluvial na região Nordeste do Brasil. Utilizou-se essa técnica porque é um método de redução de dados, tendo como vantagem

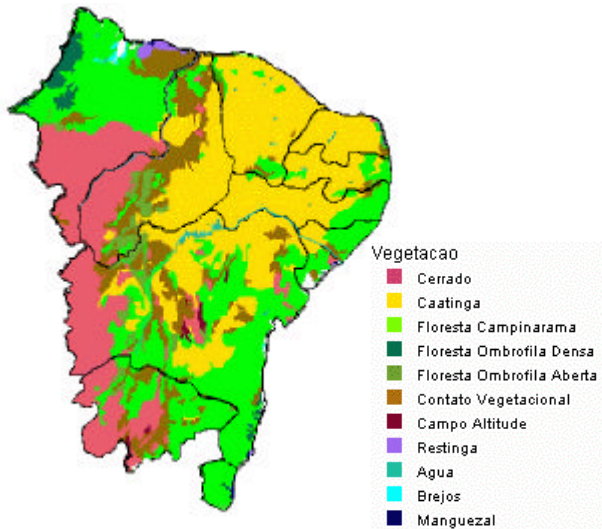


Figura 1. Principais tipos de vegetação na região Nordeste do Brasil (Fonte CPTEC – INPE).

o fato de que a máxima variância pode ser explicada pela classificação dos autovetores associados aos maiores autovalores da matriz de correlação, ou seja, a amostra de dados originais pode ser analisada a partir de um número pequeno de componentes independentes entre si (ortogonais) (PREISENDORFER, (1988)).

A partir da matriz de dados normalizada do índice de vegetação e precipitação pluvial, X_1, X_2, \dots, X_p obtém-se a matriz de correlação R dada por:

$$\mathbf{R} = \frac{1}{n-1}(\mathbf{Z})(\mathbf{Z})^t \quad (2)$$

sendo \mathbf{R} uma matriz simétrica positiva de dimensão $(k \times k)$, ela é diagonalizável por uma matriz \mathbf{A} , de mudança de base, denominada de autovetores. A matriz diagonal \mathbf{D} cujos elementos diagonais são os autovalores (λ) de \mathbf{R} , é expressada por:

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

Por causa da ortogonalidade dos autovetores, a inversa de \mathbf{A} (\mathbf{A}^{-1}) é igual a sua transposta (\mathbf{A}^t). Assim, as componentes principais Z_1, Z_2, \dots, Z_n são obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores (\mathbf{A}^t) e a matriz de observações (\mathbf{Y}), ou seja:

$$\begin{aligned} \mathbf{Z} &= \mathbf{A}^t \mathbf{Y} \\ \mathbf{Y} &= \mathbf{A} \mathbf{Z} \end{aligned} \quad (4)$$

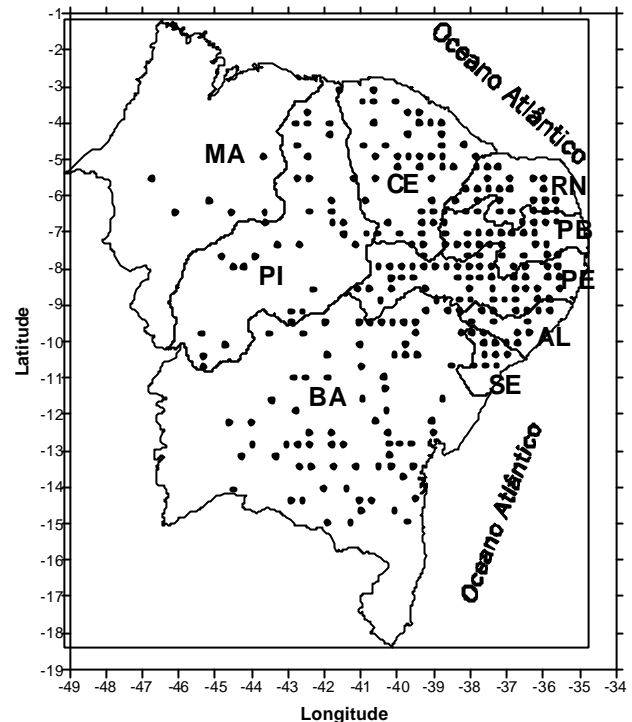


Figura 2. Localização dos 277 postos e estações meteorológicas na região Nordeste do Brasil.

Cada linha de \mathbf{Z} corresponde a uma Componente Principal que forma as séries temporais associadas aos autovalores. Os valores de \mathbf{Y} do n -ésimo local podem ser calculados por:

$$Y_i = a_{j1} \cdot Z_1 + a_{j2} \cdot Z_2 + \dots + a_{jk} \cdot Z_k + a_{jp} \cdot Z_p \quad (5)$$

Cada Componente Principal tem uma porção da variância total dos dados mensais índice de vegetação e da precipitação pluvial, e são ordenadas por ordem decrescente dos autovalores mais significativos de a_j em \mathbf{A} , dada por:

$$Z_i = \sum_{j=1}^n a_{ji} Y_i \quad (6)$$

O número escolhido de Componentes Principais foi baseado no critério de truncamento de Kaiser, que considera como mais significativos os autovalores cujos valores sejam superiores à unidade GARAYALDE *et al.* (1986). Os fatores comuns são obtidos pela relação entre a matriz dos autovetores (\mathbf{A}) e a raiz quadrada do autovalor (λ), ou seja, o primeiro fator comum é obtido pela relação entre o primeiro autovetor (\mathbf{a}_{11}) e o primeiro autovalor (λ_1) e assim sucessivamente WILKS, (1995). A distribuição espacial dos fatores comuns representa a contri-

buição (peso) destes em relação à variância total do conjunto de dados do IVDN e da precipitação pluvial na região Nordeste. As variáveis são normalizadas, logo quanto maior for o peso maior contribuição à variância. A determinação das regiões homogêneas do Índice de Vegetação e da precipitação pluvial foi feita a partir dos fatores comuns mais significativos, selecionados segundo critério Kaiser. O método utilizado para encontrar as regiões homogêneas do IVDN e da precipitação pluvial foi o método aglomerativo de agrupamento hierárquico proposto por Ward (WILKS, 1995; EVERITT, 1993; CEBALLOS & BRAGA, 1995).

Resultados e discussão

Os fatores comuns temporais representam o peso de cada variável em relação ao conjunto de dados mensais do IVDN e da precipitação pluvial. Foram retidos os quatro primeiros fatores comuns, que explicaram aproximadamente 90% da variância total dos dados mensais do IVDN e da precipitação pluvial conforme critério sugerido por Kaiser (GARAYALDE et al., 1986), (Tabela 1).

O primeiro fator comum obtido da relação entre o IVDN e a precipitação pluvial, que explica 34% da variância total da série de dados, tem alta correlação positiva com a precipitação pluvial nos meses de maio a setembro, enquanto que a maior correlação deste fator com o IVDN, é observada de agosto a outubro (Figura 3). A representação espacial do primeiro fator tem valores (peso da variância explicada em cada local) positivos superiores a 1 na faixa litorânea leste, que se estende do Estado do Rio Grande do Norte até o Estado da Bahia e valores

negativos inferiores a 1 na parte semi-árida, da área central da região do Nordeste do Brasil (Figura 4a). A distribuição espacial deste primeiro fator relaciona às chuvas de maio a setembro com o IVDN de julho a outubro, mostrando o comportamento anual do índice em relação à precipitação pluvial. O primeiro fator delimita o leste da região Nordeste do Brasil abrangendo a região costeiras dos Estados de Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, onde chove mais no período de maio a setembro, devido a atuação dos sistemas brisas e os ventos alísios KOUSKY (1980).

O segundo fator comum que explica 30% da variância total dos dados do IVDN e da precipitação pluvial, tem alta correlação com a precipitação pluvial de outubro a dezembro e com o índice de novembro a janeiro. O padrão espacial associado a este fator apresenta valores mais elevados na parte oeste e sul da região Nordeste com valores superiores a 2,0 no sudoeste do Estado da Bahia e no restante da região, o peso da contribuição à variância é mínimo, ou seja, indicando período de pouca chuva e de menor IVDN (Figura 4b). Este segundo fator pode estar relacionado com a precipitação pluvial originada da penetração dos sistemas frontais KOUSKY, (1979) com maior correlação entre chuva e IVDN, nos trimestres outubro, novembro, dezembro e novembro, dezembro e janeiro, respectivamente.

O terceiro fator comum, que explica 18,4 % da variância, tem correlação em torno de 0,9 com a precipitação pluvial de fevereiro a abril. Este padrão tem pouca relação com o IVDN durante todo o ano. O padrão espacial deste fator apresenta valores superiores a 2,0 na parte noroeste da região do Nordeste, nos Estados do Maranhão e do Piauí (Figura 4c). A chuva nestes meses e locais mencionados está relaci-

Tabela 1. Seqüência dos autovalores na ordem decrescente e a contribuição (%) à variância total dos dados mensais de IVDN e da precipitação na região Nordeste do Brasil.

Fator	Autovalor	Variância (%) Explicada	Variância acumulada (%)
1	8,17	34,0	34,0
2	7,29	30,4	64,4
3	4,40	18,4	82,8
4	1,68	6,9	89,7
.	< 1	.	.
.	.	.	.
..	.	.	.
24	0	0	100

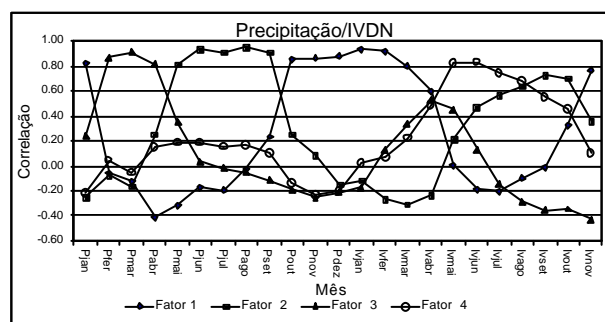


Figura 3. Correlação dos quatro primeiros fatores comuns que explicam 89,6% da variância do IVDN e da precipitação pluvial na região Nordeste do Brasil.

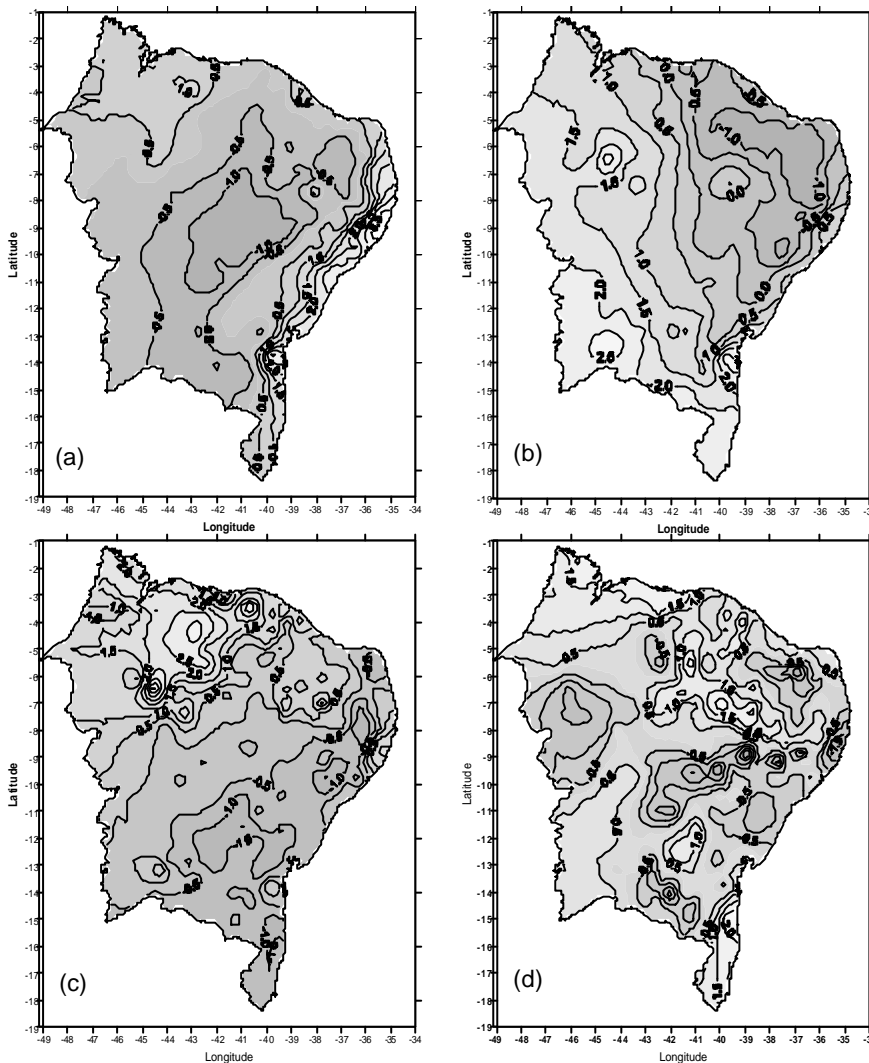


Figura 4. Padrões espaciais para os quarto primeiros fatores comuns a, b, c e d respectivamente do IVDN e da precipitação pluvial na região Nordeste do Brasil no período de observação de 1981-1991.

onada com a atuação mais intensa da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (UVO, 1989).

O quarto fator comum, que explica 6,9% da variância, apresenta alta correlação ($r > 0,8$) com o IVDN nos meses de abril a maio (Figura 3). Entretanto, observa-se que este fator não tem correlação sazonal significativas com a chuva. O padrão espacial correspondente a este fator é complexo, com pesos fatoriais negativos inferiores a $-1,0$ na região do vale do São Francisco no Estado da Bahia e no Estado do Rio Grande do Norte. Nas demais regiões do Nordeste do Brasil o peso da variância explicada é baixo, destacando-se pequenos núcleos no sudeste do Estado da Bahia e sul do Estado

do Ceará na região da Chapada do Araripe onde se verificam valores da ordem 2,0 (Figura 4d). A distribuição do padrão espacial deste quarto fator comum, mostra que apesar da pouca correlação com a chuva, evidencia que na vegetação das regiões sul do Estado do Ceará e sudeste do Estado do Bahia, não ocorreu mudança significativa na sua fenologia. Foram determinadas oito regiões homogêneas a partir do agrupamento dos quatro principais fatores comuns do IVDN e da precipitação pluvial na região Nordeste do Brasil. O período chuvoso das regiões homogêneas 1, 2, 3 e 4, se concentra nos meses de fevereiro, março e abril. Nas regiões 5, 7 e 8, o período chuvoso é de novembro a março e o da região 6 de março a julho (Tabela 2).

A análise quantitativa dos padrões médios mensais do IVDN e da precipitação pluvial, nas oito regiões homogêneas no Nordeste, indica uma forte dependência do IVDN com

relação às variações da precipitação. Por exemplo, a região homogênea 6, situada no litoral leste do Nordeste, cuja vegetação predominante é floresta decídua e agreste mostra a variabilidade anual do índice de vegetação em relação à precipitação pluvial. Nesta região as chuvas são mais regulares conseqüentemente, a vegetação apresenta pouca flutuação e tem valor máximo do IVDN de dois meses após o valor máximo da precipitação pluvial (Figura 5). As regiões 3, 4 e 7, cuja vegetação predominante é caatinga, apresentaram o máximo valor do IVDN, um mês após o máximo da chuva observada Figura 5 (região 3). As demais regiões apresentam tempo de resposta semelhante à região 6, porém em épocas diferentes do ano, devido aos diferentes regimes

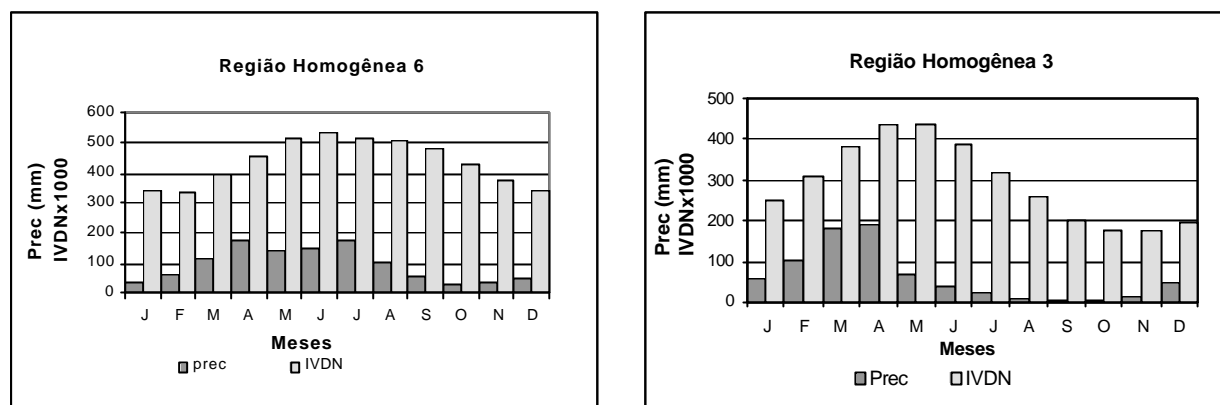


Figura 5. Variabilidade temporal das médias mensais do IVDN e da precipitação pluvial para as regiões homogêneas 6 e 3 respectivamente na região Nordeste do Brasil no período de 1981-91.

pluviométricos (períodos de chuva) da região Nordeste do Brasil. O aumento do IVDN com as chuvas, corresponde ao início do ciclo fenológico da vegetação. À medida que as chuvas vão diminuindo, durante os meses do ano, os valores de IVDN decrescem em função da resposta da cobertura ao estresse hídrico, nas diferentes regiões homogêneas. Estudos feitos por LIU et al., (1994) para o continente americano com dados de imagens de satélites meteorológicos mostram dependência da cobertura da vegetação a variabilidade interanual da precipitação. NICHOLSON & FARRAR, (1994) também evidenciaram que para região do Sahel (África), existe uma relação linear entre o IVDN e precipitações desde que não ultrapassem os 500mm/ano.

O resultado comparativo das regiões homogêneas apresentados neste estudo evidenciam que o tempo de resposta da vegetação a chuva mais intensa nas diferentes regiões homogêneas de IVDN e precipitação pluvial, ocorre com defasagem de um a dois meses e depende do tipo de cobertura vegetal (Tabela 2). ALMEIDA, (1997) encontrou o mesmo tempo de resposta da vegetação a precipitação pluvial para a região do cerrado brasileiro, mostrando que embora as condições climáticas seja diferentes, a vegetação responde igualmente a precipitação pluvial.

Conclusões

O IVDN obtido a partir das imagens do AVHRR, permitiu extrair informações espaciais importantes sobre a vegetação natural. A Análise Fatorial das séries temporais representado pelos padrões de

variabilidade espacial do IVDN e da precipitação pluvial possibilitaram um melhor entendimento e explicação, dos mecanismos físicos responsáveis pela variabilidade sazonal dos parâmetros estudados. O peso do primeiro fator mostrou a resposta do IVDN à variabilidade sazonal da precipitação pluvial na região leste do Nordeste. O peso associado ao segundo fator identifica a resposta do IVDN à precipitação pluvial com regime pluviométrico da região sul e oeste do Nordeste, e o peso do terceiro fator evidencia o regime pluviométrico da parte noroeste da região Nordeste do Brasil. Portanto conclui-se que a flutuabilidade da dinâmica da vegetação da região Nordeste está relacionada à variabilidade dos fenômenos meteorológicos que atuam na região Nordeste do Brasil.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo fornecimento das imagens de satélite e, em especial, a Egídio Araújo pelo apoio indispensável no processamento dos dados.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, S.A.O. **Determinação de redução de umidade superficial na região dos cerrados com imagens AVHRR/NOAA e precipitação pluviométrica.** Brasília: UNB, 1997. 316 p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, 1997.
- BARBOSA, A.H. **A Análise espaço-temporal de índice de vegetação normalizado AVHRR/ NOAA e**

Tabela 2 Síntese das principais características das oito regiões homogêneas do IVDN e da precipitação pluvial no Nordeste do Brasil.

Regiões Homogêneas	Área (%) (km ²)	Localização	IVDN (médio) máx/mês	Precipitação anual (mm) máxima/mês	Vegetação Predominante	Tempo de Resposta (mês)
1	10,3 163.616	CE/ PB PE / PI	0,39 0,53/abr	874 223/mar	Caatinga, Floresta estacional semi - decídua	1
2	8,2 131.404	Norte do PI e CE e leste do MA	0,41 0,52/mai	1560 376/mar	Floresta estacional de babaçú, Praias/ dunas e restinga	2
3	7,3 117.686	Oeste do RN, leste da PB, PE e norte da BA	0,29 0,44/mai	725 190/abr	Caatinga	1
4	5,4 86.400	Faixa paralela ao agreste do RN até BA	0,36 0,48/mai	582 116/abr	Caatinga	1
5	26,3 421.648	Oeste do PI, sul do MA e vale do São Francisco sul da BA	0,47 0,47/fev	873 159/dez	Cerrado, contato caatinga/ Cerrado	2
6	3,9 62.092	Faixa paralela ao litoral leste do Nordeste	0,44 0,54/jun	1128 181/jul	Floresta estacional decídua (agreste)	2
7	8,5 135.736	Oeste de PE e leste do PI e da BA	0,37 0,47/abr	634 140/mar	Caatinga	1
8	24,3 388.436	Oeste e centro sul da BA e sul do PI	0,43 0,53/fev	785 168/dez	Cerrado, elemento de cerrado, Floresta estacional semi - decídua	2
Não selecionada	4,6 73.644	Litoral leste	-	-	Mata Atlântica	-

precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-1985. São José dos Campos: INPE, 1998, 163 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1998.

BRAGA, C.C. **Inter-Relações entre Padrões de Índice de Vegetação e de pluviometria no Nordeste do Brasil.** Campina Grande: UFPB, 2000. 124 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Curso de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal da Paraíba, 2000.

CEBALLOS, J.C.; BRAGA, C.C. Missing data assessment in a solarimetric network. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 15, n. 3, p. 325-340, 1995.

EASTMAN, J.R.; FULK, M. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, Virginia, v. 59, n. 9 p. 1307-1312, 1993.

EVERITT, B. **Cluster Analysis**. Heinemann Educational Books, London: Academic Press, 3. edition. 1993. 170 p.

GARAYALDE, E.J.G.; da SILVA, M.G.A.; TAVARES, A. de SÁ. Classificação meso-climática da região sul do Brasil pela análise de Componentes Principais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1., CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1986, Brasília. **Anais...**, Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 1, 1986. p. 119-124.

GUTMAN, G.; IGNATOV, A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. **International Journal of Remote Sensing**, Dundee, UK, v. 19, n. 8, p. 1533-1543, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Atlas Nacional Do Brasil (Região Nordeste)**. Rio de Janeiro: IBGE, 1985. (sem paginação).

- KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, Boston, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.
- KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variations in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, Stockholm, Sweden, v. 108, n. 4, p. 488-498, 1980.
- LIU, W.T.H.; MASSAMBANI, O.; NOBRE, C. A. Satellite recorded vegetation response to drought in Brasil. **International Journal of Climatology**, Chichester, England, v. 14, n. 4, p. 342-354, 1994.
- NICHOLSON, S.E.; FARRAR, T.J. The influence of soil type or the relationships between IVDN, rainfall and soil moisture in semi-arid Bostswana. **Remote Sensing of Environmet**, New York, v. 50, n. 1, p. 107-120, 1994.
- PARKINSON, C.L. **Earth from above.**, Sansalito: University Sciences Books, Lund University, p. 107-111, 1997.
- PREISENDORFER, R. **Principal component analysis in meteorology and oceanography**. Amsterdam: Elsevier, 1988. 425 p.
- RAO, V.B.; LIMA, M.C.; FRANCHITO, S.H. Seasonal and interannual variations of rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, Boston, v. 6, n. 9, p. 1754-1763, 1993.
- RICHMAN, M.B. Review article on rotation of principal components. **Journal of Climatology**, Chichester, England, v. 6, n. 3, p. 293-335, 1986.
- SRIVASTAVA, S.K. et al. Interlinkages of NOAA/ AVHRR derived integrated IVDN to seasonal precipitation and transpiration in dryland tropics. **International Journal of Remote Sensing**, Dundee, UK, v. 18, n. 14, p. 2931-2952, 1997.
- STRANG, D.M.G. **Análise climatológica pluviométrica do Nordeste brasileiro**. São José dos Campos: Centro Técnico Aeroespacial - CTA, 1972. 70 p. (Relatório IAE-M-02/72).
- TOWNSHEND, J.R.G.; GOFF, T.E.; TUCKER, C.J. Multitemporal dimensional images of normalized difference vegetation index at continental scales. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, New York, v. 23, n. 6, p. 888-895, 1985.
- UVO, C.R.B. **Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 1989, 82 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.
- WILKS, S.D. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. London: Academic Press, 1995. 474 p.