

PADRÕES DE VARIABILIDADES ESPACIAIS E TEMPORAIS DE NDVI NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL USANDO ANÁLISE FATORIAL

Célia Campos Braga
Universidade Federal da Paraíba – UFPB
Av. Aprígio Veloso, 882, Campina Grande –PB, 58109-970
e-mail: Celia@dca.ufpb
Clóvis Angeli Sansigolo
Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE
Av. dos Astronautas, 1758, S.J. dos Campos- SP, 12201-970
e-mail: Sansigol@met.inpe.br
Tantravahi Venkata Ramana Rao
Universidade Federal da Paraíba – UFPB
Av. Aprígio Veloso, 882, Campina Grande –PB, 58109-970
e-mail: ramana@dca.ufpb.br

ABSTRACT

The objective of this study was to define the principal patterns of the seasonal and interannual variability of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the Northeast region of Brazil. For this purpose mean monthly and annual values of NDVI derived from the AVHRR/NOAA sensor data for the period of 1981-90 were used. The common principal spatial and temporal factors were calculated by employing the factorial analyses of the principal components. From these spatial and temporal principal common factors nine (09) homogeneous sub-regions of NDVI were identified in relation to the seasonal and interannual variabilities of NDVI in the Northeast region of Brasil.

INTRODUÇÃO

A maior parte da Região Nordeste do Brasil é caracterizada como semi-árida, apresentando na parte central temperatura média elevada que varia de 24 a 28° C, com grande variabilidade espacial e temporal da precipitação e elevada taxa de evaporação. A região é frequentemente submetida aos efeitos de secas severas, estando as áreas mais atingidas no chamado “Polígono das Secas”, cuja precipitação média anual é inferior a 800 mm, chegando a valores extremos inferiores a 400 mm, na parte central da Paraíba e Pernambuco, assim como próximo a Petrolina no vale do São Francisco. Por outro lado, observa-se em algumas regiões da faixa litorânea leste e oeste do Maranhão totais médios anuais que variam de 1200 a 1700mm, chegando a mais 2000 milímetros no sul da Bahia e norte do Maranhão (Strang, 1972).

A cobertura vegetal da Região Nordeste do Brasil é caracterizada por diversos padrões morfológicos que dependem da localização geográfica e das condições climáticas. A porção mais semi-árida se destaca pela presença de caatinga arbustiva, densa ou aberta, que perde sua folhagem no período de estiagem, tornando a florescer no período chuvoso. Além dessa vegetação, destacam-se ainda a Mata Atlântica, a vegetação de praias, dunas e restingas, os cerrados, as matas ribeirinhas, vegetação de mangues, vegetação rupestre, etc. (IBGE, 1985).

Nos últimos anos, o avanço da tecnologia levou os pesquisadores de todo o mundo a desenvolver sensores de alta resolução espectral capazes de fazer o monitoramento do comportamento espectral da vegetação que ocupa uma determinada área geográfica. O comportamento espectral dos sensores na banda do visível (VIS) e infravermelho próximo (IV) instalados a bordo dos satélites meteorológicos informa sobre a reflectância das superfícies vegetadas, o que possibilita delinear áreas de cobertura vegetal em todo o globo.

A combinação da radiação refletida no infravermelho próximo e no visível, assim como o contraste em relação a outros alvos de superfície é o centro da teoria que define o mapeamento da vegetação, a partir de dados do sistema de sensores AVHRR (Advance Very High Resolution Radiometer) do satélite NOAA (National Oceanic and Atmosphere Administration). Devido a sua pigmentação, a cor verde da vegetação sadia reflete mais no infravermelho próximo e menos no canal do visível, o que ocasiona altos valores para o NDVI(Índice de Vegetação por Diferenças Normalizada) . Quando a folha começa a secar ela perde a sua pigmentação verde, aumentando um pouco a reflectância no visível e diminuindo no infravermelho próximo, produzindo valores menores de NDVI. Entretanto, esses valores ainda são maiores do que para os alvos da superfície, isto ajuda a distinguir a vegetação verde e seca e demais alvos da superfície(Parkinson, 1997).

Séries multitemporais de valores do NDVI do sistema de sensores AVHRR, tem sido utilizado por vários pesquisadores em todo o mundo para identificação e classificação de vegetação terrestre, estimativas da produção primária da vegetação, caracterização da dinâmica da vegetação, estimativa da precipitação, alerta de secas e modelos climáticos de previsão. Destacam-se os trabalhos de Nicholson et al. (1994) para regiões semi-árida da África, Huete et al.1997, Gutman and Ignatov 1998 para diferentes tipos de vegetação do globo, Almeida (1997) para o cerrado brasileiro e Barbosa (1998) para a Região Nordeste, os quais encontraram correlações entre o NDVI e a precipitação.

O objetivo deste trabalho visa definir padrões de variabilidades temporais espaciais de NDVI na região Nordeste, utilizando técnicas de Análise Fatorial em Componentes Principais e Análise de Agrupamentos Hierárquicos.

DADOS E METODOLOGIA

Os dados de NDVI utilizados neste estudo são composições temporais mensais selecionadas para áreas do Nordeste do Brasil de 1981-1990, as quais foram extraídas das imagens do NDVI dos dados AVHRR/NOAA, com de 7,6 x 7,6 km, padrão Global Area Coverage (GAC) do arquivo GIMMS. Os dados GAC digitais são previamente examinados para verificação de ocorrências de nuvens usando técnicas limiar de temperaturas (canal 5). Os níveis de cinza dos canais 1 e 2 do sensor AVHRR são convertidos em unidades de reflectância, usando a calibração pre-vôo fornecida pela NOAA (Batista et al. 1993). Para minimizar os efeitos atmosféricos tais como: nuvens, vapor d'água, aerossóis que reduzem o contraste entre as reflectância visível e infravermelho próximo, são utilizadas as imagens mosaico, cujo o máximo valor do NDVI é observado para o período de mês (Gutman, 1999). Assim, o produto final contém o valor máximo mensal, obtido a partir dos dados diários do NDVI. No nosso estudo os valores médios de NDVI foram obtidos dentro da resolução espacial de 100 x 100 km Figura 1. A seguir os dados foram corrigidos para cada ano, devido a degradação do sensor sugerida por Kaufman e Holben 1993, para vários tipos de cobertura.

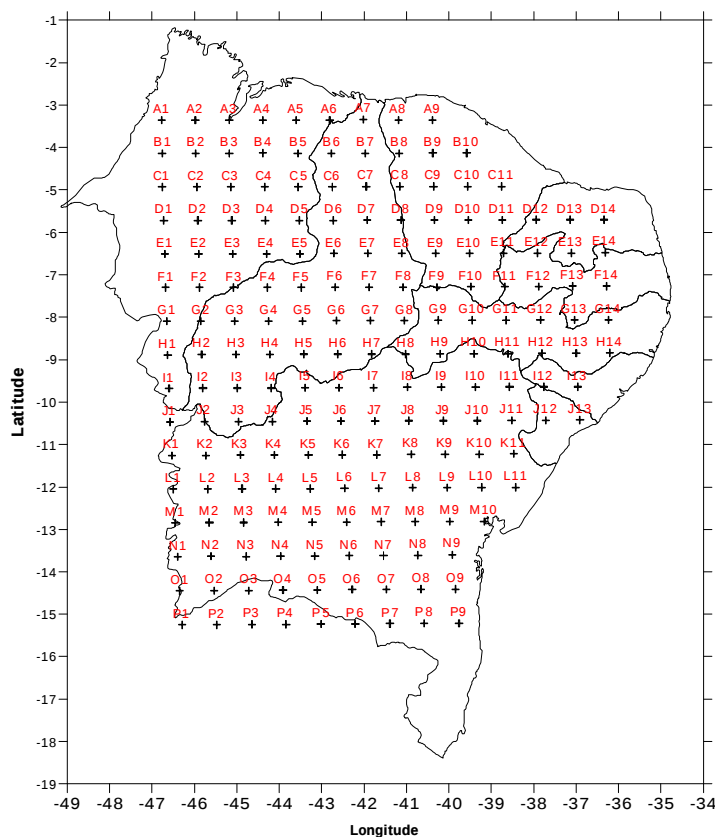


Figura 1– Distribuição espacial dos pontos de grade de NDVI reduzidos de 100x100km² no Nordeste do Brasil.

A partir das médias mensais de 10 anos de NDVI para os anos 1981-90 reduzidos para 185 pontos de grade distribuído na região Nordeste, organizaram-se dois arquivos de trabalho dispostos sob forma de matriz. Uma

matriz M (185 x12) para análise temporal e outra N(185x 10) para análise espacial. Foi empregado a técnica estatística multivariada conhecida como a Análise Fatorial por Componentes Principais (CP), para a obtenção dos fatores comuns espaciais e temporais do NDVI na região, objetivando definir os padrões de variabilidade espacial temporal e correlações da análise espacial, do NDVI (Wilks, 1995; Richaman 1986).

A identificação dos grupos homogêneos de NDVI foi feita a partir dos fatores comuns espaciais e escores temporais mais significativos obtidos através da Análise Fatorial dos dados mensais e anuais, usando as técnicas aglomerativas hierárquicas de agrupamentos. Dos métodos aglomerativos de agrupamentos testados optou-se pelo de Ward (1963), porque nos forneceu melhores resultados em relação a coerência espacial dos grupos. hierárquicos a obtidos através das Análise em Componentes Principais. Este método aglomertaico utiliza como função de agrupamento a distância Euclidiana e como critério de agrupamento a soma dos quadrados dos erros (Everitt,1974; Bouroche &Saporta, 1983).

A sequência dos grupos obtidos geralmente é representada sob a forma de uma árvore de ligação, ou dendrograma. O critério adotado por Ward propõe que em qualquer estágio de uma análise, a perda de informação resultante de cada agrupamento pode ser medida pela soma total do quadrado desvios (SQD) de cada ponto ao centro de gravidade do grupo ao qual pertence.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PADRÕES DE VARIABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL NDVI NO NORDESTE

A seguir são mostrados os resultados concernentes aos padrões de variabilidade temporal e espacial de NDVI sobre a região Nordeste do Brasil.

Estudos preliminares indicam que os valores do NDVI para áreas vegetadas variam de 0,1 a 0,8, valores estes que dependem da arquitetura, densidade e umidade da vegetação. Rochas e solos sem vegetação apresentam valores próximos de zero e água valores negativos. Os maiores valores encontrados estão associados a cobertura muito densas. Segundo Parkinson (1997) valores típicos de NDVI para florestas úmidas tropicais são da ordem de 0,6, para o deserto 0,05 e para nuvens que não precipitam -0,3. Neste estudo, após a calibração dos dados, ocasionadas pela a degradação dos sensores, como recomendado por Kaufman and Holben (1993), encontraram-se em algumas regiões do Nordeste valores de NDVI entre 0,15 e 0,62.

O primeiro fator comum temporal rotacionado do NDVI, que explica 52,8% da variância total da série, apresenta correlações altamente significativa, superiores a 0,8 nos meses de junho a setembro, e ainda significativas, superiores a 0,6 nos meses de maio e outubro (Figura 2). A distribuição espacial correspondente a este fator tem cargas fatoriais (escores) positivas maiores que 1 no litoral leste, norte e noroeste do Maranhão. Na parte central, verifica-se um núcleo bem definido, onde as contribuições são inferiores a -1, ou seja, existe um contraste destes índices, nos meses de junho a setembro entre interior e costa leste e noroeste da região (Figura 3a).

O segundo fator explicando 28,4% da variância, tem correlações positivas superiores 0,8 nos meses de novembro, dezembro e janeiro, e superiores a 0,6 em fevereiro e outubro. A configuração espacial associada a este segundo fator, evidencia um importante contraste entre regiões. Na Bahia verificam-se contribuições maiores que 1, enquanto que, na porção mais semi-árida (central- nordeste) do Nordeste essas contribuições inferiores a -1 (Figura 3b). Este padrão espacial de NDVI pode estar associado às precipitações provenientes de sistemas frontais que ocorrem de outubro a fevereiro no sul da Bahia (Kousky 1979).

Finalmente o terceiro fator é complexo, apresentando altas correlações superiores a 0,8 dominantes apenas nos meses de março e abril, porém com correlações significativas entre 0,6 e 0,8 em fevereiro e maio. A configuração espacial deste fator apresenta grande variabilidade espacial com contribuições menores que -1 no sudoeste da Bahia (além do S. Francisco), extremo norte do Maranhão e litoral deste o Rio Grande do Norte prolongando-se até as proximidades de Salvador. Na porção central do Maranhão, centro norte (cariris)do Nordeste e algumas regiões (paralelas a oeste) nas proximidades do S. Francisco, as contribuições são positivas superiores a 1, (Figura 3 c). Este terceiro fator pode estar relacionado com as precipitações oriundas da ZCIT, nos meses de março, abril, maio na parte central da região.

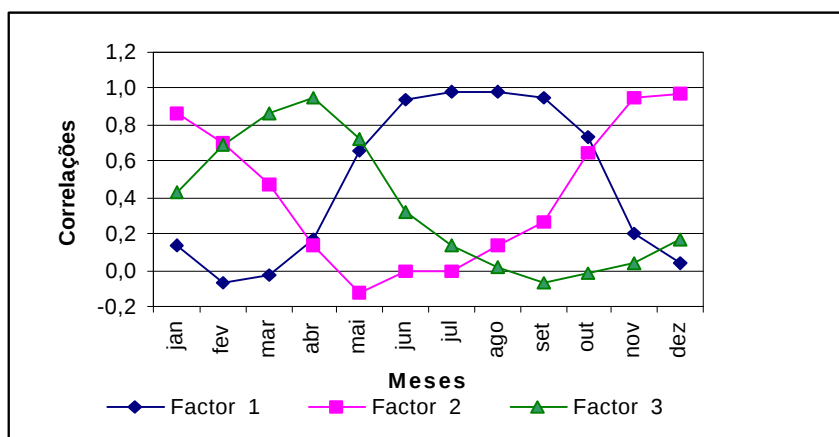


Figura 2 Cargas fatoriais (correlações) para os 3 primeiros fatores comuns temporais de NDVI que explicam 96,9 total (52,8% + 28,4%+15,6%) na região Nordeste do Brasil (1981-90).

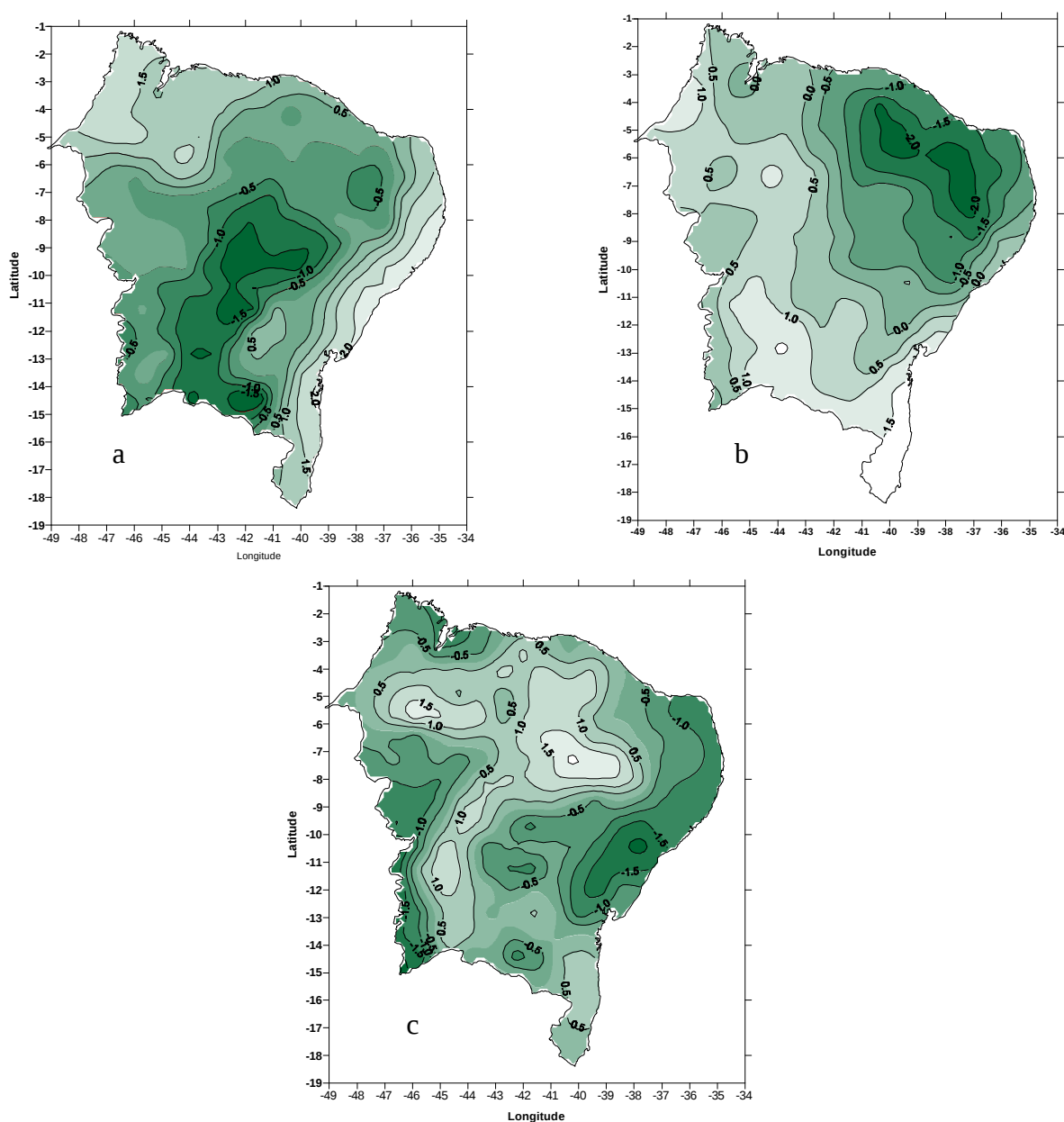
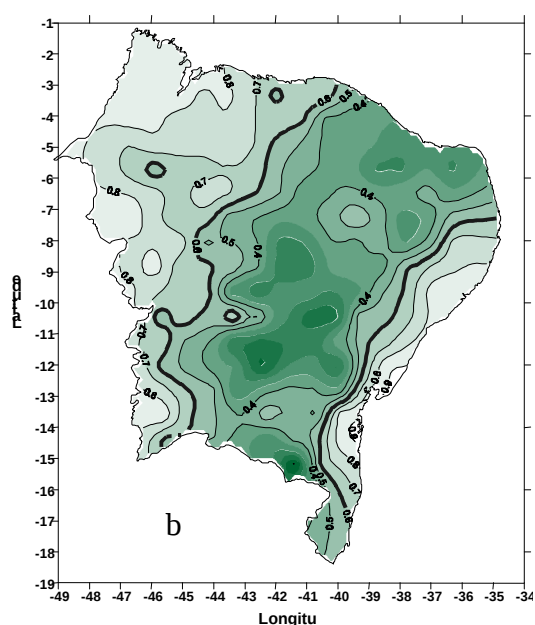
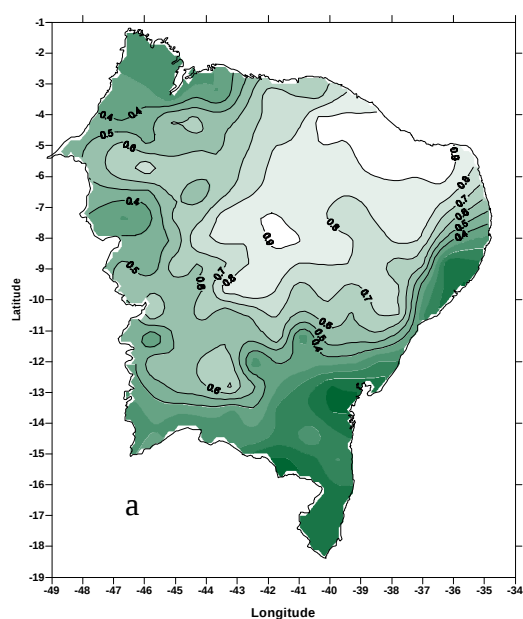


Figura 3. Padrões espaciais dos 3 primeiros fatores comuns temporais de NDVI na região Nordeste do Brasil (1981-90).

O primeiro fator comum espacial rotacionado do NDVI, que explica 75% da variância total dos dados, apresenta correlações positivas em quase toda a região. Observam-se correlações significativas, superiores a 0,8 no norte do Ce e RN, oeste Pb, Pe, extremo norte da Ba e este do Piauí. No restante da região as correlações são menores mas ainda significativas entre 0,4 e 0,6, com exceção do extremo norte do Ma, litoral este da região Nordeste (Pernambuco ao sul da Bahia), onde as correlações são inferiores a 0,3 (Figura 4a). A série temporal associada a este primeiro fator apresenta escores temporais da ordem de -2,0 de NDVI para o ano de 83 (Figura 5), significando que neste ano houve um decréscimo acentuado do NDVI, devido a diminuição da precipitação, provocada pelo forte evento de El Niño. Os menores escores de NDVI foram inferiores a 0,4 nas regiões central sul e sudeste da Bahia e parte do litoral leste. A redução acentuada no NDVI, ocasiona mudanças significativas na cobertura da vegetação provocado pela longa estiagem. Os escores máximos do NDVI são verificados nos anos de 85 e 86, significando que estes anos choveram acima da média na região central do Nordeste.

O padrão espacial do segundo fator comum explicando 8,5% da variância total dos dados, apresenta correlações positivas em toda a região com valores elevados ($r > 0,8$) na porção noroeste do Maranhão, e na faixa do litoral este do nordeste (de Pernambuco até a Bahia) (Figura 4b). Analisando a série temporal deste fator observam-se escores mais elevados em 89 e 90 (Figura 5). As correlações $< 0,4$ mais baixas são encontradas nas regiões mais semi-árida (que se estende do Ce, RN, PB, Pe região do S. Francisco até região central sul da Bahia). O ano de 89 e 90 choveu em torno da média, a vegetação se desenvolveu bem tornando-se mais vigorosa consequentemente aumentando o NDVI, principalmente naquelas regiões que são mais favorecidas devido sua posição geográfica e tipo de vegetação (Floresta decídua agreste, Babaçu, etc.), onde apresentam índices pluviométricos mais elevados que as demais regiões.

O padrão espacial do terceiro fator que explica 6,7% da variância é complexo, apresentando baixas correlações positivas em quase toda a região, executando um núcleo com $r > 0,6$, na região central sul da Bahia, (Figura 4c). Analisando a série temporal de anomalias desse terceiro fator verifica-se que os NDVIs, em 82, 84 e 87 foram baixos, mas não quanto o de 83. As chuvas em 82 foram poucas e concentrada em poucos meses, diminuindo o desenvolvimento da vegetação, e em consequência reduzindo sua reflectância espectral. No ano de 84, embora tenha chovido acima da média, o NDVI decresceu em algumas regiões mais secas, porque após dois anos secos consecutivos a vegetação leva algum tempo para se recuperar da estiagem prolongada e voltar a florescer, e se desenvolvendo totalmente. Em 87 a diminuição do índice se justifica porque este ano choveu muito abaixo da média devido atuação do forte evento de El Niño. A série temporal deste terceiro fator apresenta altos valores em 89 e 90. Após o ano chuvoso de 88 a vegetação se recuperou bem, favorecendo o aumento do NDVI em 89. O ano seguinte de 90 foi seco, mas a vegetação continuou verde, porque o período chuvoso do ano anterior começou mais tarde do que o normal na região Nordeste, contribuindo para que a vegetação no ano seguinte continuasse ainda verde, principalmente àquelas de grande porte tais como, Floresta, Mata decídua, Babaçu.



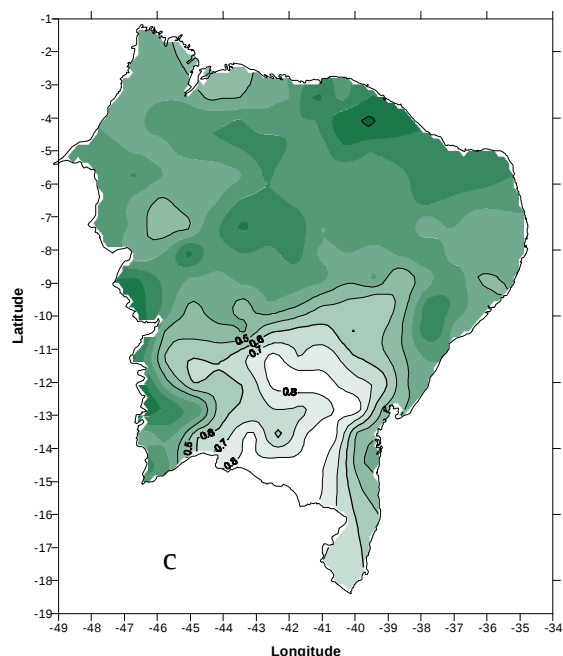


Figura 4. Padrões espaciais de variabilidade (correlações) dos 3 principais fatores comuns espaciais de NDVI para a região Nordeste do Brasil (1981-90) que explicam 96,9 % da variância total(75%+8,5%+6,7%).

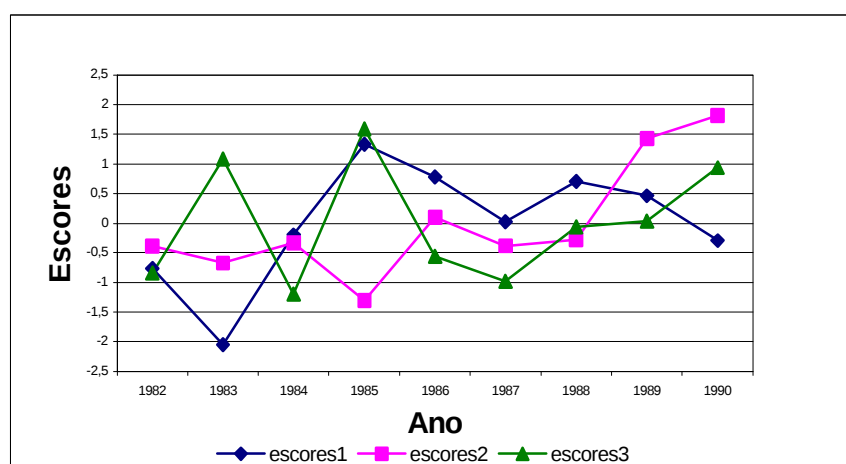


Figura 5. CP's dos três primeiros fatores comuns espaciais (escores) de NDVI, na região Nordeste do Brasil.

A delimitação dos agrupamentos dos NDVI em k classes ou grupos foi feita através de diferentes métodos de classificação, dentre eles destacam-se, o de Ward, Ligação Simples e Completa. Apesar de terem sido testados vários métodos aos fatores comuns espaciais e escores temporais do NDVI mais significativos., foi escolhido o de Ward por apresentar melhor coerência espacial.

De acordo com método de Ward (1963) aplicado aos fatores temporais espaciais e escores espaciais mais significativos (3 temporais e 3 espaciais), obtidos pela ACP, e conhecimento prévio sobre a cobertura da vegetação a região Nordeste foi dividida em nove (09) grupos homogêneas de NDVI, as quais estão ilustradas na (Figura 6).

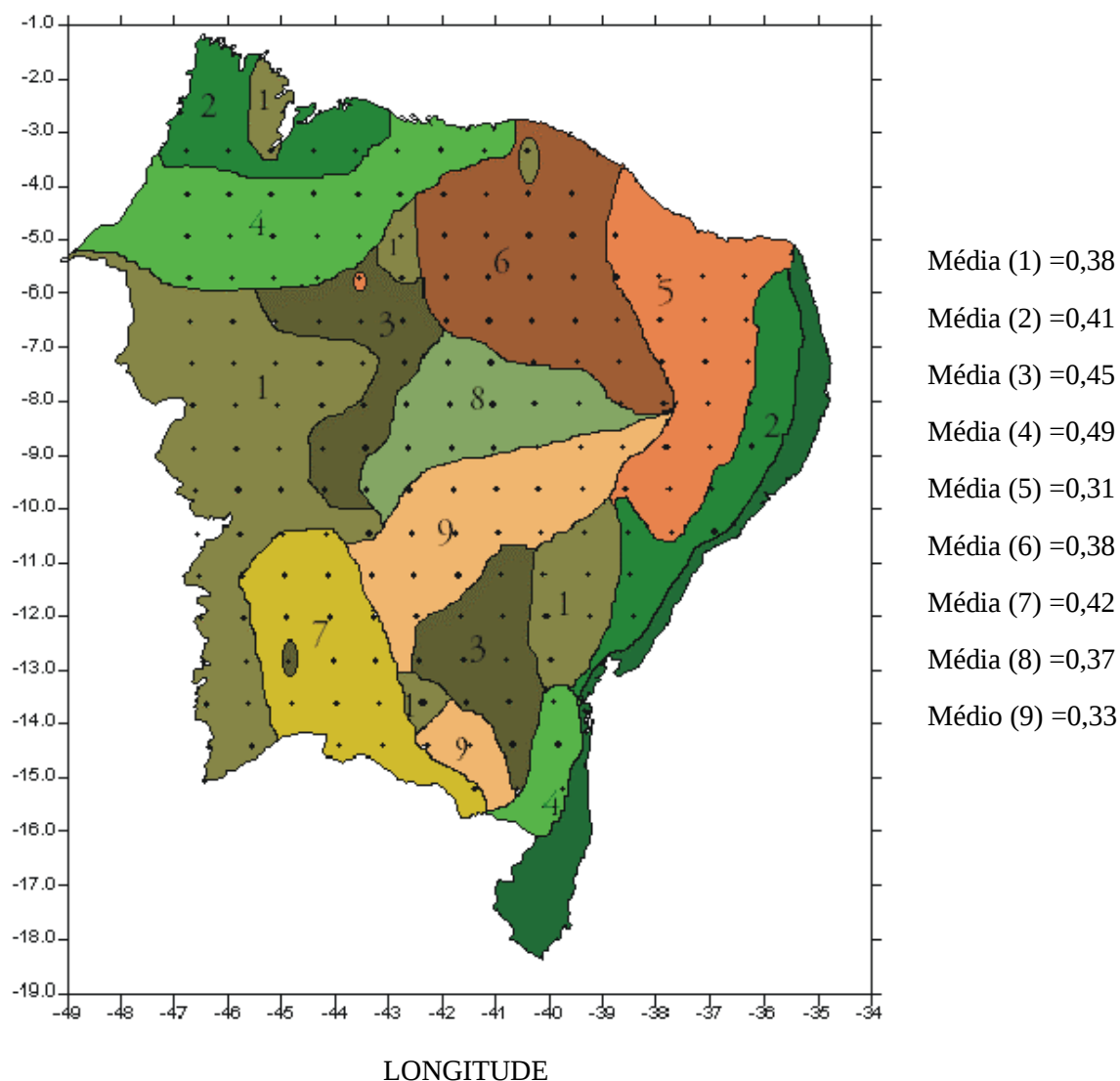


Figura 6. Regiões homogêneas de NDVI a partir dos seus principais fatores comuns espaciais escores temporais para o período de 1981-90

Grupo 1, compreende 23,2% da área, situa-se geograficamente em três regiões distintas, uma no sul do Maranhão, sudoeste e centro norte do Piauí, oeste da Bahia, outra na região próxima ao este da Bahia e a terceira no norte do Maranhão. Apresenta NDVI médio anual de 0,38. A vegetação predominante é do tipo cerrado e elementos de cerrado, com árvores e arbustos de raízes profundas, podendo atingir o lençol d'água a mais de 10 metros, permitindo que a maioria das espécies possa manter as folhas no período seco. Observa-se que nesta região, as variações médias mensais do índice é pequena, porque este tipo de vegetação mesmo no período de estiagem conservam boa parte da folhagem (IBGE, 1985)

Grupo 2, compreendendo 10,3% da área, é localizada na faixa paralela a costa, que se estende do Rio Grande do Norte acompanhando a zona da Mata com largura variável até a da Bahia (13° S) e ao norte do Maranhão e Piauí. Na porção este encontra-se parte a vegetação é do tipo floresta decídua agreste, e no norte a vegetação é floresta estacional perenifólia com babaçu. O NDVI médio anual é 0,41. Neste grupo o índice de vegetação oscila pouco durante o ano, porque as chuvas são mais regulares e a vegetação permanece verde por mais tempo.

Grupo 3, corresponde 11,9% da área compreendendo duas regiões geograficamente distantes, uma na região central do Piauí e leste do Maranhão e a outra no centro sul da Bahia. A vegetação predominante na primeira porção é o cerrado, elementos de cerrado e cerradão, já na Bahia a vegetação

é destacada por um núcleo, onde existe floresta decídua, floresta estacional semi-decídua, elemento de cerrado e vegetação rupestre. O NDVI médio anual é 0,45.

Grupo 4, compreendendo 11,3 % da área, localiza-se paralelamente a costa sul da Bahia (floresta estacional semi-decídua e Mata do Cipó), Maranhão e norte do Piauí e Ceará (Floresta semi-decídua, Floresta estacional perenifólia, floresta com babaçu e vegetação de dunas e restinga). O NDVI médio anual é 0,49. Em todos os anos estudados, esta região foi a que apresentou maiores índice e menores variações sazonais, ou seja, os valores mensais são mais regulares porque as chuvas nesta região são mais regulares.

Grupo 5, constitui 4,9% da área, compreende a região mais semi-árida do Nordeste situada no nordeste do Ceará, grande parte do RN, atravessando os estados da Pb, Pe, uma pequena área no oeste de Alagoas extremo norte de Sergipe, e norte da Bahia (raso da Catarina). Essas áreas são recoberta por vários tipos de vegetação caatinga, dentre elas destacam-se a caatinga seca e esparsa que são encontradas entre a Pb e interior do RN. Nestas áreas destacam-se os menores valores do NDVI. O índice médio anual foi 0,31.

Grupo 6, constitui 11,9 % da área, localizado em boa parte do Ceará, nordeste do Piauí, oeste da Paraíba (alto Sertão), e centro norte de Pernambuco (região de Triunfo e Serra Pintada). A maior parte da vegetação que recobre a região é a caatinga, com exceção de do sul do Ceará (chapada do Araripe) na divisa com a Paraíba, onde encontra-se Floresta decídua, e cerrado. O índice de vegetação médio anual é 0,38.

Grupo 7, compreende 10,8% da área, situada no sul do Piauí e central sudoeste da Bahia, é caracterizada pela vegetação do tipo caatinga (central sul da Bahia), contato caatinga/cerrado e floresta semi-decídua a oeste do Nordeste (além do S. Francisco). A combinação dessas vegetações fornecem índice médio anual de vegetação de 0,42.

Grupo 8, constituído por 5,9% dos pontos de NDVI, situa-se no este do Piauí, noroeste e norte de Pernambuco e uma faixa estreita no extremo norte da Bahia (parte do raso da Catarina). Apresenta vegetação do tipo cerrado em Pe, e nas outras regiões predomina a vegetação do tipo caatinga, com índice de vegetação médio anual 0,36.

Grupo 9, corresponde 9,7% da área, compreendendo a região do vale do S. Francisco em Pe e centro norte da Ba (região do S. Francisco e oriental da Chapada Diamantina). Em toda a região as margens do S. Francisco encontra-se vegetação do tipo Caatinga seca e esparsa, na parte oriental da Chapada, observa-se alguns núcleos de Floresta estacional semi-decídua, contato e caatinga/floresta semi-decídua nas proximidades de Jacobina e Morro do Chapéu). A região apresenta índice médio anual de vegetação 0,33. Pela descrição das regiões homogêneas de NDVI, observa-se que as variações da vegetação do tipo Caatinga combinada com pequenos núcleos de vegetação do tipo floresta estacional semi-decídua, nas diferentes regiões apresentam resposta do sensor muito próximas, dificultando a identificação dos diferentes tipos de vegetações. Nesta região os baixos índice pode está associado com a densidade da vegetação, regime pluviométrico e orografia na região.

CONCLUSÕES

Os três principais fatores comuns temporais de NDVI explicam 96,9 % da variância das médias mensais de NDVI na região Nordeste do Brasil. O primeiro predomina nos meses de junho a setembro nas regiões do litoral leste, o segundo de outubro a dezembro no sudoeste da Bahia e terceiro bem definido nos meses de março e abril no Maranhão e região central do Nordeste.

O principal fator comum espacial de NDVI explica 75% da variância total das séries anuais de NDVI. Esta diretamente associado à variabilidade interanual das precipitações na região.

A partir dos fatores comuns temporais (escores) e espaciais (correlações) foram identificadas e caracterizadas nove (09) sub-regiões homogêneas em relação as variabilidades sazonais e interanuais de NDVI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATLAS GEOGRAFICO DO NORDESTE Secretária de Planejamento da Presidência da República. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1985, escala 1: 4.000.000.
- ALMEIDA, S. A. O. Determinação de redução de umidade superficial na região dos cerrados com imagens AVHRR/NOAA e precipitação pluviométrica. Brasília, 1997. 316p. Tese de Doutorado em Ecologia. Universidade de Brasília.
- BARBOSA, A.H. Análise espaço-temporal de índice de vegetação normalizado AVHRR / NOAA e precipitação na região nordeste de Brasil em 1982-1985. Dissertação de mestrado. INPE , 163. 1998.
- BATISTA,G.T; SHIMABUKURO,Y.E e LARENCE, W. T. Monitoramento da cobertura florestal através de índice de vegetação do NOAA-AVHRR. In. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7 . Curitiba, maio 10-14, 1993. São José Campos INPE. Anais, 2: 30-37, 1993.
- BOUROCHE, J. M. & SAPOTA, G. L´analyse de Donnés. Paris, Presses Universitaires de France, 464p., 1983. 2ª edição.
- CEBALLOS, J.C. e BRAGA, C.C. Missing data assesement in a solarimetric network. International Journal of Climatology, 15: 325-340, 1995.
- EVERITT, B. Cluster Analysis. London, Heinemann Educational Books, 135p.,1974.
- GUTMAN,G. G. Vegetation Indices from AVHRR: Update and Future Prospects. Remote Sens. Environ. 35: 121-136,1991.
- GUTMAN, G. and IGNATOV, A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. Int. J. Remote Sensing, 19: No. 8, 1533-1543, 1998.
- HUETE,A.R.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K. and van LEEUWEN. A comparison of vegetation indice over a global set of TM images for EOS-MODIS. Remote Sens.Environ. 59:440-451, 1997.
- KAUFMAN, Y.J. and HOLBEN, N.B. Calibration of the AVHRR visible and near-IR by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. Int. J. Remote Sensing, 14(1), 21-52, 1993.
- NICHOLOSON, S.E and FARRAR, T.J. The Influence of Soil Type or the Relationships Between NDVI, Rainfall and Soil Moisture in Semiarid Bostswana. Remote Sens. Environmet. 50: 107-120.1994
- PARKINSON, C. L. “Earth from above”. University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation, 107-111, 1997.
- RICHAMAN, M. B. Review article ratation of principal components. Journal of climatology. 6: 293-335. 1986
- STRANG, D.M.G. Análise climatológica pluviométrica do Nordeste brasileiro. Relatório IAE-M-02/72, Centro Técnico Aeroespacial. São José dos Campos, 29p. 1972.
- WARD, J. H. Hierarchical grouping to otimize na objective function. Journal American Statistical Association , 58: 236-244, 1963.
- WILKS, S.D. Statistical methods in the atmospheric Sciences. London, Academic Press. 464p. 1995.