



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



SAZONALIDADE DA VEGETAÇÃO EM FUNÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO NO ESTADO DA PARAÍBA

Leandro Fontes de Sousa¹, Célia Campos Braga², Elder Guedes do Santos³, Roberta Everllyn Pereira Ribeiro⁴, Pâmela Lorena Ribeiro Ávila⁵

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, l.f.sousa@hotmail.com. ²Professora Doutora da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas (UACA/DCA), Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, celiadca@hotmail.com. ³Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, elder.ufcg@gmail.com. ⁴Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, robertaeverllyn@hotmail.com. ⁵Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, panloly@hotmail.com.

Artigo submetido em 10/09/2014 e aceito em 12/11/2014.

RESUMO

O objetivo desse estudo é analisar a variabilidade média do índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) e compreender sua relação com o regime pluviométrico do estado da Paraíba durante o período de 2007 a 2009. Foram utilizados totais mensais de precipitação de 30 estações pluviométricas distribuídas no Estado, num total de cinco municípios em cada região homogênea de precipitação. Utilizaram-se composições mensais do IVDN obtidas a partir do sensor MODIS/Aqua para o mesmo período. A seguir, utilizou-se a técnica estatística dos mínimos quadrados para encontrar uma equação que melhor se ajustasse aos dados. Constatou-se que as regiões de menor variabilidade do IVDN apresentaram as melhores correlações (r) polinomiais do segundo grau entre o IVDN e a chuva para um nível de significância $\alpha = 0,01$. Em todas as regiões as correlações foram superiores a 0,79. O menor erro padrão percentual da estimativa foi obtido na Zona da Mata e Litoral (8,79%) onde as chuvas são mais regulares com menor variabilidade do índice de vegetação. Nas demais regiões o erro percentual padrão da estimativa (EPPE) oscilou de 10,14 a 16,78%. O modelo polinomial de segundo grau foi utilizado para estimar o IVDN usando dados de precipitação do ano de 2005, o EPPE oscilou de 12,89 a 26,11% evidenciando que o modelo representa bem o comportamento do IVDN em função das chuvas.

Palavras-chave: IVDN, precipitação, variabilidade, correlação polinomial de segundo grau.

SAZONALITY OF THE VEGETATION AS A FUNCTION OF THE RAINFALL REGIME IN THE PARAÍBA STATE

ABSTRACT

This study aims to analyse the variability of the Normalized Differential Vegetation Index mean (NDVI) and its relationship between to precipitation and NDVI index at Paraíba state during 2007-2009. The precipitation data are from 30 rain gauges spacially distributed at Paraíba region in a total of five county by homogeneous region, whereas the NDVI were inferred using the sensor MODIS on board the Aqua satellite. Was applied the method of least squares to find the relationship that best represents the behavior of NDVI depending on rainfall. Was found that regions with low variability of NDVI showed the best correlation (r) second degree polynomial between NDVI and rainfall for a significance level $\alpha=0.01$. The analysis between precipitation and NDVI have a high correlation ($r > 0.79$) for all regions evaluated. The lowest Standard Error Percentage of the Estimate was obtained at Coastal region (8.79%) where rains are more regular with less variability in the vegetation index. In the remaining areas of estimate (EPPE) percentage error ranged from 10.14 to 16.78%. The second degree polynomial model was used to estimate NDVI using rainfall data of 2005 and the EPPE ranged from 12.89 to 26.11% showing that the model represents well the behavior of NDVI depending on rainfall.

Key words: NDVI, variability, rainfall, correlation second degree polynomial.

* E-mail para correspondência: l.f.sousa@hotmail.com
(Sousa, L. F.).

Introdução

O sensoriamento remoto é uma ferramenta poderosa e viável para estudos relacionados aos recursos naturais, pois a partir das características locais, obtêm-se informações contínuas que permitem o mapeamento de grandes áreas em um curto intervalo de tempo. Atualmente dados obtidos através dessa técnica têm sido amplamente empregados em estudos que visam compreender o comportamento dinâmico da vegetação, tornando mais operacional o sistema de monitoramento da cobertura vegetal. Colwell (1983) define sensoriamento Remoto (SR) como a medição ou aquisição das propriedades de um objeto ou fenômeno por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico com o mesmo. Isto é possível através da detecção e registro da energia emitida ou refletida e do processamento das informações (CCRS, 2007; FERREIRA, 2002).

Anderson *et al.* (2003) afirmam que é necessário estudar o planeta Terra como um sistema integrado, devido as relações entre a vida, os oceanos e a atmosfera estarem intrinsecamente ligadas. Conforme os autores, o comitê espacial norte americano mantém um programa de pesquisa de longa duração nas mediações do *Earth Observing System (EOS)*, que visa monitorar a superfície terrestre, oceanos, atmosfera e suas interações, para determinar como a Terra está mudando e quais as consequências para a vida neste planeta, desenvolvendo um entendimento de seu funcionamento como um sistema único e interligado. O primeiro satélite lançado pelo EOS foi o TERRA em dezembro de 1999 portando os seguintes sensores: MODIS, MISR, ASTER, CERES e MOPITT. MODIS, MISR, ASTER, CERES e MOPITT. O TERRA começou a coletar dados a partir de fevereiro de 2000. O segundo satélite lançado foi o AQUA, em maio de 2002, com os sensores MODIS, AMSU, HBS, AMSR-E e CERES instalados a bordo.

Uma das relações mais estudadas em todo mundo é a da vegetação com os fatores climáticos, uma vez que a cobertura vegetal de uma localidade está intimamente ligada ao tipo de clima e de solo predominante na região. Da mesma maneira que os fatores ambientais (clima e solo) influenciam na vegetação, a mesma também interfere no ambiente local, de modo que sua retirada pode causar mudanças significativas. Nesse contexto, o sensoriamento se destaca como uma ferramenta de grande utilidade, pois a partir dele, deriva-se uma série de índices de vegetação. Segundo Huete *et al.* (2002) os índices de vegetação são destinados a indicar as propriedades da vegetação e permitir comparações espaciais e temporais confiáveis da atividade fotossintética terrestre além de permitir o monitoramento das variações sazonais, interanuais, fenológicas e dos parâmetros biofísicos da vegetação a curto e longo prazo.

Pesquisadores em todo mundo têm realizado estudos a partir de sensoriamento remoto, em busca de entender melhor as relações existentes entre a vegetação e a precipitação pluvial. Destacam-se os trabalhos de Nicholson e Farrar (1994) que demonstraram que na África a variação do IVDN está

mais relacionada com a capacidade de armazenamento de água do solo do que com a própria precipitação. Braga *et al.* (2003) utilizaram séries temporais do IVDN para determinar o tempo de resposta da vegetação às precipitações na região nordeste do Brasil. Srivastava *et al.* (1997) utilizaram os dados remotos para estudar a relação entre IVDN e totais sazonais da precipitação e evapotranspiração no estado de Karnataka (Índia). Francisco *et al.* (2012), com o objetivo de mapear áreas com cobertura vegetal de caatinga, utilizaram várias imagens de satélite para determinar quantitativamente e qualitativamente o IVDN no município de Petrolina-PE. Os autores concluíram que o índice que melhor se correlaciona com a cobertura vegetal foi o IVDN da caatinga para período seco, e que a metodologia utilizada mostrou-se eficiente para caracterização, classificação e separação deste em 9 classes. Ferreira *et al.* (2012) estudaram a dinâmica da vegetação na região de Petrolina- PE, utilizando os índices IVDN e o *Normalized Difference Water Index (NDWI)*. Os autores concluíram que o NDWI apresentou melhores resultados no período chuvoso e IVDN para o período seco.

Considerando a importância da vegetação, bem como a influência dos fatores climáticos no seu desenvolvimento, especialmente a precipitação, este estudo tem por objetivo encontrar uma equação que melhor se ajuste ao comportamento sazonal da vegetação em relação ao regime pluviométrico do estado da Paraíba.

Material e Métodos

Dados de Precipitação

Os dados dos totais mensais da precipitação utilizados nesse estudo foram obtidos do site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) para os anos de 2005, 2007, 2008 e 2009. Foram selecionados 30 postos pluviométricos distribuídos em 6 regiões homogêneas de precipitação do estado da Paraíba, previamente obtidas por Brito e Braga (2005) (Figura 1).

Produtos do sensor MODIS

Os produtos MODIS foram obtidos do site da NASA. Eles são adquiridos no formato HDF (*Hierarchical Data Format*). Tais produtos encontram-se arranjados em mosaicos denominados “tiles”. O estado da Paraíba encontra-se localizado no *tile* v9 e h_14 em destaque na Figura 2. Todos os produtos do MODIS já vêm calibrados e corrigidos atmosféricamente antes de serem cedidos aos centros de distribuição.

O produto utilizado neste estudo é o e MYD13A3 que representa composições mensais do IVDN para os anos de 2005, 2007 2008 e 2009, e foram corrigidos multiplicando-se a imagem pelo fator de correção 0,0001. Em seguida, as imagens foram convertidas para a projeção LAT-LON WGS 84 e extraída para planilhas de latitude, longitude e IVDN no sentido de viabilizar a aplicação das técnicas estatísticas. Para cada mês, em cada posto de precipitação escolhido de cada região homogênea, foi

selecionado o valor do IVDN no pixel correspondente a aquela localidade.

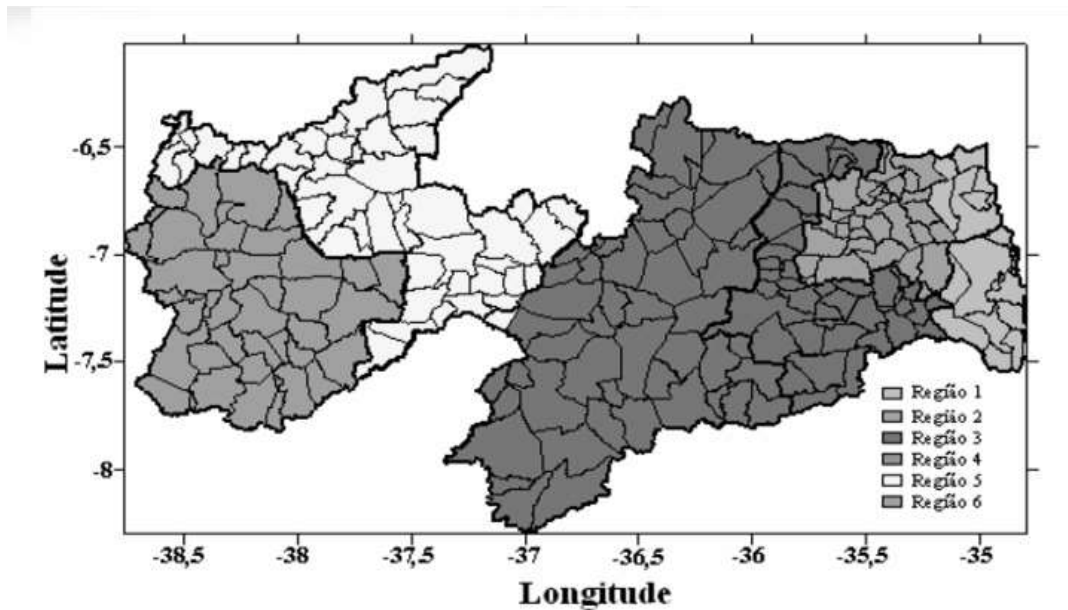


Figura 1- Regiões Homogêneas da Precipitação no Estado da Paraíba. Região 1, Litoral e Zona da mata; região 2, Brejo; região 3, Agreste; região 4, Cariri/Curimataú; região 5, sertão; região 6, alto Sertão. Fonte: Brito e Braga (2005).

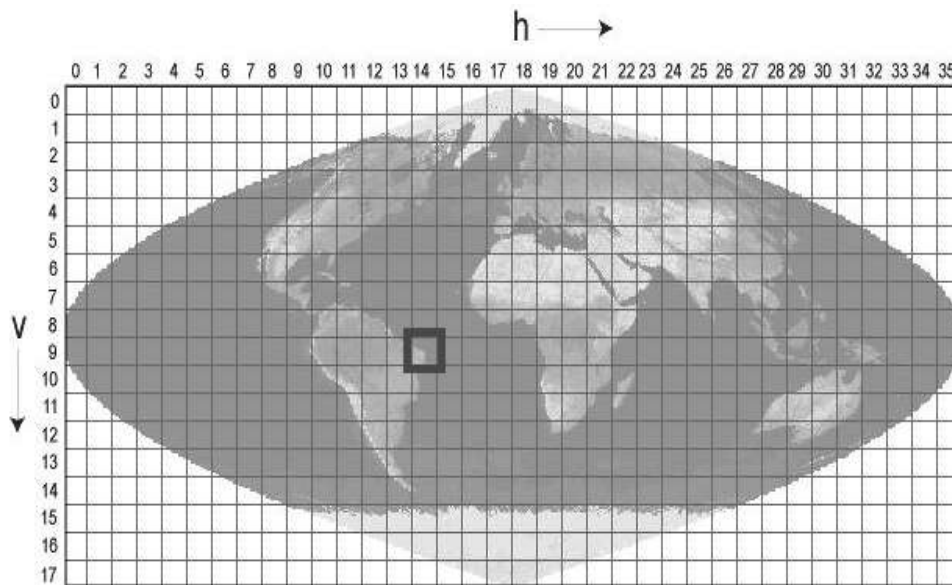


Figura 2 - Tiles do sensor MODIS com destaque para o tile v9 h14 correspondente ao Estado da Paraíba. Fonte: https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_overview.

Índice de vegetação da diferença normalizada.

O IVDN mede o grau de desenvolvimento da vegetação, é um índice importante para pesquisas relacionadas ao meio ambiente. A base da proposição desses índices está no comportamento antagônico da refletância da vegetação nas regiões espectrais do visível e infravermelho próximo. Devido à sua pigmentação, a cor verde da vegetação sadia reflete mais no infravermelho próximo e menos no canal visível, o que ocasiona altos valores para o IVDN (JACKSON e HUETE, 1991). Quando a folha começa a secar ela perde a sua pigmentação verde, aumentando sua refletância no visível e diminuindo no

infravermelho próximo, produzindo valores menores de IVDN, permitindo distinguir a vegetação verde ou seca dos demais alvos da superfície (PARKINSON, 1997).

De acordo com Rouse et al. (1973), o IVDN é um dos índices representativos da vegetação mais utilizados no mundo e é dado pela seguinte expressão:

$$IVDN = \frac{IVP - VIS}{IVP + VIS} \quad (1)$$

onde, IVP é a refletância na banda espectral o infravermelho próximo, e VIS é a refletância na banda espectral do visível.

Análise estatística

De acordo com Spiegel (1978), a primeira etapa para auxiliar na determinação de uma equação que relacione uma variável a outra, consiste em coletar dado que indiquem os valores correspondentes das variáveis consideradas. O segundo passo consiste em local pontos (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , ..., (X_n, Y_n) em um sistema de coordenadas cartesianas, onde o conjunto de pontos resultantes é denominado de *diagrama de dispersão* onde frequentemente é possível visualizar uma curva regular que se aproxima dos dados denominada de *ajustamento*.

Um dos principais objetivos do ajuste de curvas é estimar uma das variáveis (*A variável dependente*) em função da outra variável (*a variável independente*). Tal processo de estimação é chamado de *regressão*. Se y deve ser estimado em função de x por meio de uma equação, tal equação é denominada de equação de regressão de Y sobre X e a curva correspondente é a curva de regressão de Y sobre X (SPIEGEL 1978; WILKS, 2006).

Os dados de precipitação e IVDN foram ajustados a um polinômio de segundo grau pelo método dos Mínimos Quadrados. Seja $Y = \alpha + \beta X + \gamma X^2$ o modelo polinomial de segundo grau escolhido para ajustar os pontos (X_i, Y_i) da amostra estudada. Designar-se-á por “a”, “b” e “c” aos valores de estimados de α , β e γ respectivamente. A estimativa de Y do modelo ajustado compondo “a” “b” e “c” da equação parabólica, são dadas respectivamente por:

$$Y = a + bX + cX^2 \quad (2)$$

O coeficiente de correlação r mede o grau de ajuste dados o qual é usado tanto para as relações lineares como não lineares. Logo, o coeficiente de correlação r é dado pela seguinte expressão:

$$r = \pm \sqrt{\frac{\text{Variação explicada}}{\text{Variação total}}} = \pm \sqrt{\frac{\sum(Y_{\text{estimado}} - \bar{Y})^2}{\sum(Y_{\text{observado}} - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

em que r é uma grandeza adimensional variando entre $-1 \leq r \leq 1$, sendo que quanto mais próximo de ± 1 melhor é a qualidade do ajuste.

O teste de significância do r amostral T-Student foi utilizado. Considerando “p” como sendo o coeficiente de correlação de uma população teórica avaliada a partir do coeficiente de correlação amostral, para $\rho = 0$ (hipótese nula) denotada por:

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (4)$$

No caso da hipótese nula ser rejeitada, num determinado nível de significância, equivale a dizer que o r amostral encontra-se na área de aceitação, ou seja, existe uma correlação entre as populações, caso contrário, se a hipótese nula for aceita, a correlação

entre as populações é igual a zero situando-se na área de rejeição. (SPIEGEL, 1978).

O erro padrão da estimativa é uma medida do desvio médio entre os valores observados de Y e os valores estimados Y' . Ele informa de modo aproximado a magnitude do erro entre os valores estimados e os valores de Y verificados na amostra. Quanto menor o Erro padrão da Estimativa (EPE) melhor é o ajuste do modelo. O Erro Percentual Padrão da Estimativa (EPPE) é calculado a partir do EPE, e quanto mais próximo de zero melhor será a estimativa do modelo. O EPE e o EPPE são obtidos pelas equações abaixo onde, Y e Y' são os valores observados e estimados da variável dependente respectivamente. N é o tamanho da amostra e \bar{Y} é o valor médio dos valores observados da variável dependente.

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y')^2}{N}} \quad (5)$$

$$EPPE(\%) = \frac{EPE}{\bar{Y}} 100 \quad (6)$$

Resultados e Discussão

A seguir será analisado o comportamento do índice de vegetação em relação ao regime pluviométrico de cada região homogênea do Estado e será feita a análise estatística do método dos mínimos quadrados.

A Figura 3a a 3f representam o comportamento da média dos cinco municípios de cada região homogênea de precipitação e do IVDN para o período de 2007 a 2009. Verifica-se em todas as regiões que o IVDN está relacionado com o regime de precipitação. À medida que a precipitação aumenta (diminui) o IVDN também cresce (decresce), sugerindo que há uma correlação positiva entre as variáveis, evidenciando a existência de uma relação causa-efeito entre o estágio de desenvolvimento da vegetação e o regime de chuvas. Na Figura 3a o IVDN médio da região homogênea do Alto Sertão variou entre 0,33 e 0,68 neste período estudado. A média das chuvas dos cinco municípios na região apresentou os maiores valores nos meses de janeiro a maio e os menores valores da chuva nos meses de julho a novembro. Como o esperado o IVDN começa a crescer no início do período chuvoso, com valor máximo no mês de abril e mínimo entre setembro e outubro na estação seca. Na região do Sertão (Figura 3b) o índice, a variou entre 0,24 e 0,7, com altos valores no mês de abril e mínimos os meses de setembro e outubro, de acordo com o regime de chuva do sertão. Na região do Cariri (Figura 3c) os máximos valores de chuvas ocorreram nos meses de fevereiro a maio nos três anos estudados e os menores de junho a dezembro. Nessa região a variabilidade da média do índice de vegetação se assemelha ao do sertão (0,24 a 0,66), seguindo o regime das chuvas. Na região do agreste em geral os máximos de precipitação ocorrem de março a agosto conforme se observa em 2007 e 2008, mas no ano de

2009 o máximo ocorreu no mês de fevereiro. Nessa região a variabilidade do índice de vegetação variou entre 0,29 e 0,74, com valores máximos no mês de abril de 2007 provocado pelas chuvas de fevereiro. Nos demais anos os máximos ocorreram no mês de maio.

A região homogênea do brejo paraibano segue o regime de chuvas do litoral, onde os maiores índices pluviométricos ocorreram de fevereiro a setembro e menores de outubro a dezembro. Nesses três anos o IVDN médio da região oscilou entre 0,41 a 0,78, com máximo em maio e mínimo em novembro. Salienta-se que a vegetação nessa região apresenta menor variabilidade que as regiões anteriores, tendo em vista que a maior parte da cobertura da região é de agricultura de subsistência, mata úmida e vegetação agreste (ATLAS DA PARAÍBA, 2000).

Na região do litoral e zona da mata os maiores índices pluviométricos ocorrem de fevereiro a setembro no ano de 2007. Em 2008 e 2009 os maiores volumes pluviométricos ocorreram de março a agosto e menores de setembro e dezembro. A média do índice de vegetação dos cinco municípios contidos na região litorânea apresentou uma variabilidade entre 0,41 e 0,7.

A variação do IVDN entre o período chuvoso e o de estiagem, foi menor que nas demais regiões indicando uma característica do tipo de vegetação da região, que é composta por árvores de grande porte e, por isso, conseguem manter o vigor durante a maior parte do ano. Os máximos valores do IVDN ocorreram no mês de abril, maio e junho nos anos de 2007, 2008 e 2009 respectivamente. Os menores valores ocorreram entre os meses de outubro e novembro.

Os resultados obtidos em parte corroboram com os de Sousa *et al.* 2010, 2011 que utilizaram séries temporais de precipitação, e imagens do AVHRR/NOAA com o objetivo de associar a variabilidade da vegetação com o regime pluviométrico do Estado da Paraíba. Os autores sugerem que o IVDN pode ser usado como um bom indicador de ocorrência das chuvas na região. Araújo *et al.* (2011), encontraram ótimas correlações entre a precipitação pluvial e o IVDN da cultura da soja chegando a obter valores de 0,99 durante o início do desenvolvimento do ciclo da soja. Este estudo fortalece o entendimento de que o monitoramento vegetação através de sensoriamento remoto é um bom indicador das chuvas regionais.

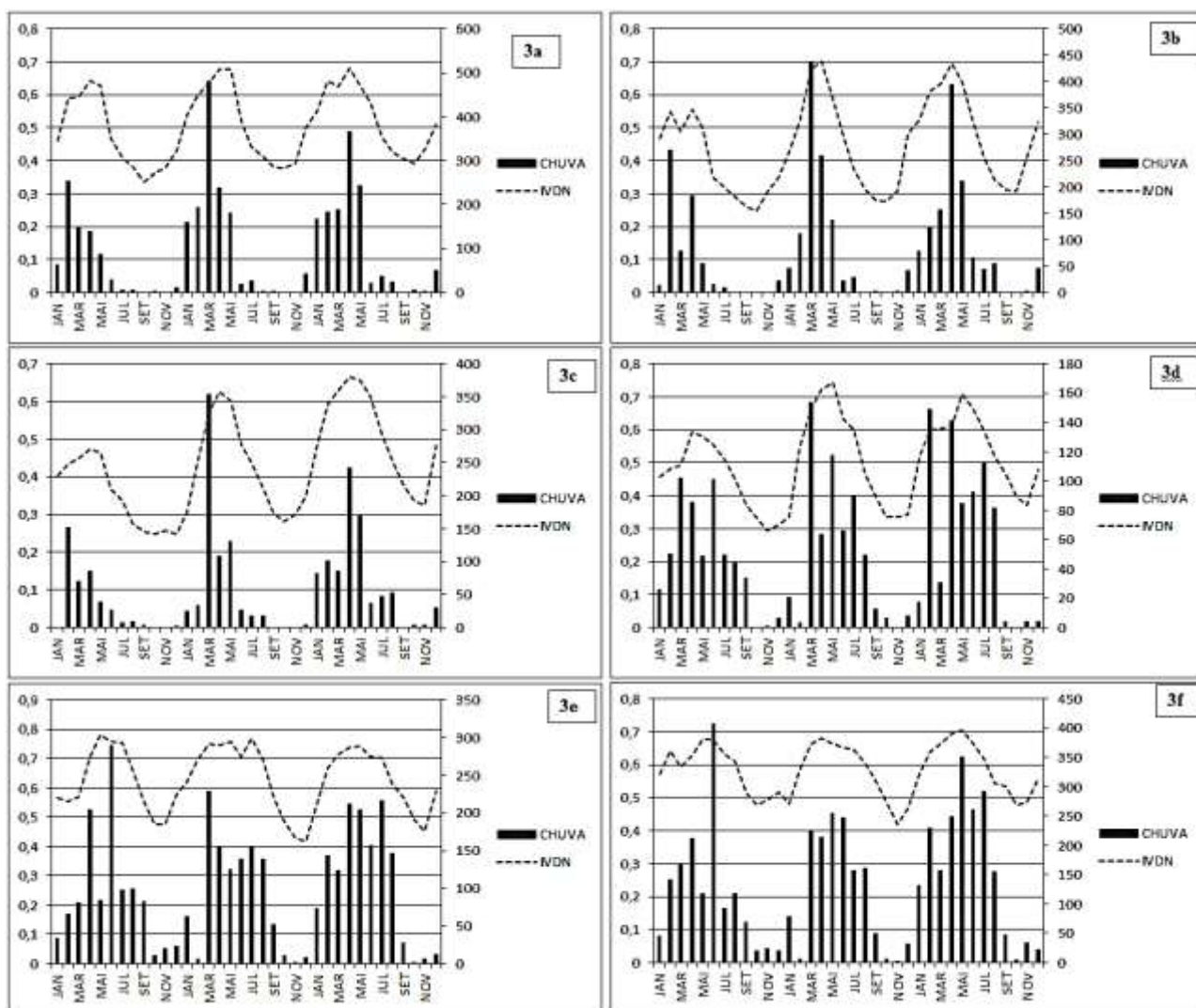


Figura 3. Média mensal do IVDN e do total mensal de precipitação para os cinco municípios no Período de 2007 a 2009 nas regiões homogêneas. Alto Sertão, Figura (3a); Sertão (3b); Cariri (3c); Agreste (3d); Brejo (3e) e Litoral e Zona da Mata, (3f).

A Figura 4 ilustra o diagrama de dispersão e curva de regressão do IVDN obtida através do sensor MODIS/Terra para os três anos estudados, em função da precipitação nas seis regiões homogêneas no Estado da Paraíba. Para tal aplicou-se o Método dos Mínimos Quadrados aos dados de chuva e IVDN. Os resultados encontrados apontam que a equação polinomial do segundo grau foi a que melhor se ajustou aos dados.

Na Tabela 2 constam os valores do coeficiente de correlação entre a precipitação e o IVDN. Aplicou-se o teste significância estatística T-Student bilateral. A correlação entre a chuva e o índice de vegetação variou de 0,79 a 0,91 em todas as regiões homogêneas. Por exemplo, para o Agreste, a equação de regressão polinomial do segundo grau obtida apresentou o menor coeficiente de correlação polinomial igual a 0,79, o que implica num coeficiente de determinação $r^2 = 0,62$. O modelo polinomial explica, portanto, 62,4% da variância total dos dados do IVDN. A significância do coeficiente (r) foi baseada no teste de Student (t), para o nível de significância de 0,01, com 34 graus de liberdade da amostra (v), o que resultou em $t_{\text{tabelado}} = 2,44$ contra $t_{\text{cal}} = 7,82$. Como $t_{\text{calculado}} > t_{\text{tabelado}}$, a hipótese nula de que o r amostral foi obtido em população $p=0$ foi rejeitada e a hipótese não nula foi aceita. O erro padrão percentual da estimativa foi da ordem de 17,68%. A região do Agreste é composta por vegetação de transição entre a caatinga e a zona da mata apresentando árvores das duas regiões (Atlas da Paraíba, 2000). Esse erro elevado está associado a alta variabilidade do índice entre o período seco e o chuvos. Já na região do Sertão, a correlação polinomial apresentou valor de 0,91, o que implica num coeficiente de determinação $r^2 = 0,828$. Desse modo, o modelo polinomial explica 82,8% da variância total dos dados do IVDN. O teste de Student (t), para o nível de significância de 0,01 e 34 graus de liberdade da amostra (v) resultou em $t_{\text{tabelado}} = 2,44$ contra $t_{\text{calculado}} = 12,93$. Como no caso anterior do Agreste o $t_{\text{calculado}} > t_{\text{tabelado}}$, a hipótese não nula foi aceita e o erro padrão

da estimativa foi da ordem de 13,77%. Para as regiões do Litoral e Zona da Mata, brejo, Cariri e Alto sertão e os coeficientes de correlação foram da ordem de 0,85, 0,82, 0,84 e 0,9 respectivamente, o que implica em coeficientes de determinação variando de 0,67 a 0,81 nessas regiões. O Erro padrão percentual variou de 8,25% a 17,68%.

Diante dos resultados a maior variabilidade do IVDN ocorreu no Agreste com maior erro padrão e a menor no Litoral com menor erro padrão da estimativa. Os resultados obtidos nessa parte corroboram com os de Li *et al.*, 2004, que realizaram um estudo para avaliar o desempenho de diferentes tipos de cobertura vegetal no Senegal (África), no período de 1982 a 1997. Os autores observaram uma forte relação entre o IVDN e a precipitação no Senegal cujas correlações lineares variaram entre 0,74 e 0,90. O uso do erro padrão da estimativa forneceu informações essenciais para a detecção de anomalias espaciais associadas à degradação da terra, onde valores altos do erro padrão da estimativa estavam associados a áreas com vegetação degradada enquanto que áreas com áreas de cobertura vegetal preservada os erros foram menores. Conforme Nicholson e Faar (1994), existem inúmeros estudos que sugerem uma relação linear entre IVDN e precipitação no semiárido africano, porém analisando o semiárido de Botswana (África) os autores observaram que tal linearidade entre esses dois parâmetros ocorrem apenas na faixa de 25 a 200 mm (mensais) e de 200 a 1200 mm (anuais).

Sousa *et al.*, 2014 com o objetivo de encontrar a relação que melhor representa o comportamento da entre o IVDN e a precipitação no Estado da Paraíba verificaram que a relação que melhor representa o comportamento do índice em função das chuvas foi uma relação polinomial de segundo grau. Os autores encontraram uma correlação polinomial de segundo grau entre a chuva e o IVDN variando entre 0,69 a 0,86.

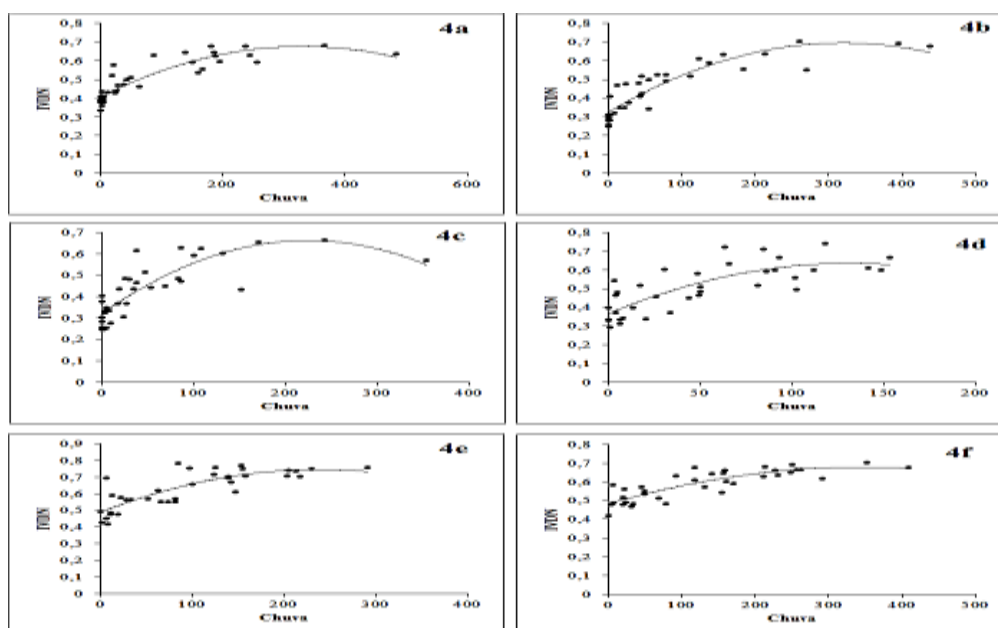


Figura 4- Diagramas de dispersão e curva de regressão do índice de vegetação em função das chuvas para as cinco regiões homogêneas do Estado da Paraíba.

Tabela 1. Valores dos coeficientes da equação polinomial de segundo grau entre a chuva e o IVDN.

Região	Coeficientes da equação de segundo grau		
	a	b	c
Alto Sertão	-0,000002	0,0016	0,4054
Sertão	-0,000004	0,0023	0,3241
Cariri	-0,000007	0,0031	0,3184
Agreste	-0,00002	0,0041	0,3652
Brejo	-0,000005	0,0022	0,4871
Litoral e zona da mata	-0,000002	0,0011	0,4824

Tabela 2. Valores do t calculado pelo teste de significância do r amostral, valores tabelados da distribuição T-Student para o nível de significância de 0,01, e o coeficiente de correlação. O símbolo * significa que a correlação é confiável a 99%.

Região	t _{calculado}	t _{tabelado}	Correlação	EPPE (%)
Alto Sertão	12,55	2,44	0,90*	10,14
Sertão	12,93	2,44	0,91*	13,77
Cariri	9,18	2,44	0,84*	16,62
Agreste	7,55	2,44	0,79*	17,68
Brejo	8,42	2,44	0,82*	10,38
Litoral e Zona da Mata	9,53	2,44	0,85*	8,25

Uso do modelo polinomial para estimar o IVDN no ano de 2005.

A Figura 5a mostra que na região do alto sertão os valores do IVDN foram superestimados pelo modelo polinomial em quase todos os meses, com exceção dos meses de abril e maio cujos valores observados foram superiores aos valores estimados pelo modelo. O erro percentual padrão da estimativa apresentou um valor de 18,96% indicando que a discrepância pequena entre os valores estimados pelo modelo e os estimados pelo sensor MODIS/Aqua. Portanto, o modelo pode ser utilizado com cautela para estimar o IVDN a partir da precipitação na região. Na região do sertão, (Figura 5b) o comportamento é semelhante ao verificado ao Alto Sertão, entretanto, o modelo superestimou os valores do IVDN com erro percentual da 24,8%, devido a variabilidade do índice perante as chuvas. Na região do Cariri (Fig.5c) a curva dos valores estimados pelo modelo não representou bem o comportamento dos obtidos pelo sensor nos meses abril a julho (estação chuvosa), já durante os meses de agosto a novembro (estação seca) o comportamento dos valores estimados pelo modelo acompanhou os valores estimados pelo Satélite. O erro

padrão da estimativa foi da ordem de 25,17%. Na região correspondente ao Agreste (Figura 5d), verifica-se naqueles meses que os valores do IVDN obtidos pelo satélite são elevados (primeiro semestre), o IVDN não foi bem representativo pelo modelo polinomial. No entanto, durante os meses do período de estiagem o comportamento das curvas são próximo. No Brejo (Figura 5e) o IVDN foi superestimado pela equação de segundo grau em quase todos os meses com exceção dos meses de abril e julho. No litoral, as curvas de ambos os valores seguiram um comportamento semelhante. No entanto, os valores observados foram superestimados pelo modelo durante o período de estiagem e subestimados na estação chuvosa da Região. Em todas as regiões o erro padrão percentual apresentou valores entre 12,89 e 26,11%. O maior valor do erro padrão da estimativa encontrado foi no Agreste e o menor no litoral onde a variabilidade do IVDN é menor que nas demais regiões.

Diante do exposto observa-se que os maiores erros padrão percentual da estimativa estão associados com áreas com uma maior variabilidade do IVDN e menores em áreas com vegetação preservada.

Tabela 3. Valores do coeficiente de correlação linear entre os valores estimados pelo modelo e os valores observados, bem como valores do EPPE.

Região	$t_{\text{calculado}}$	t_{tabelado}	Correlação	EPPE(%)
Alto Sertão	8,71	2,76	0,83*	18,96
Sertão	6,71	2,76	0,75*	24,88
Cariri	3,78	2,76	0,54*	25,17
Agreste	4,45	2,76	0,60*	26,11
Brejo	5,49	2,76	0,68*	17,96
Litoral e Zona da Mata	18,38	2,76	0,95*	12,89

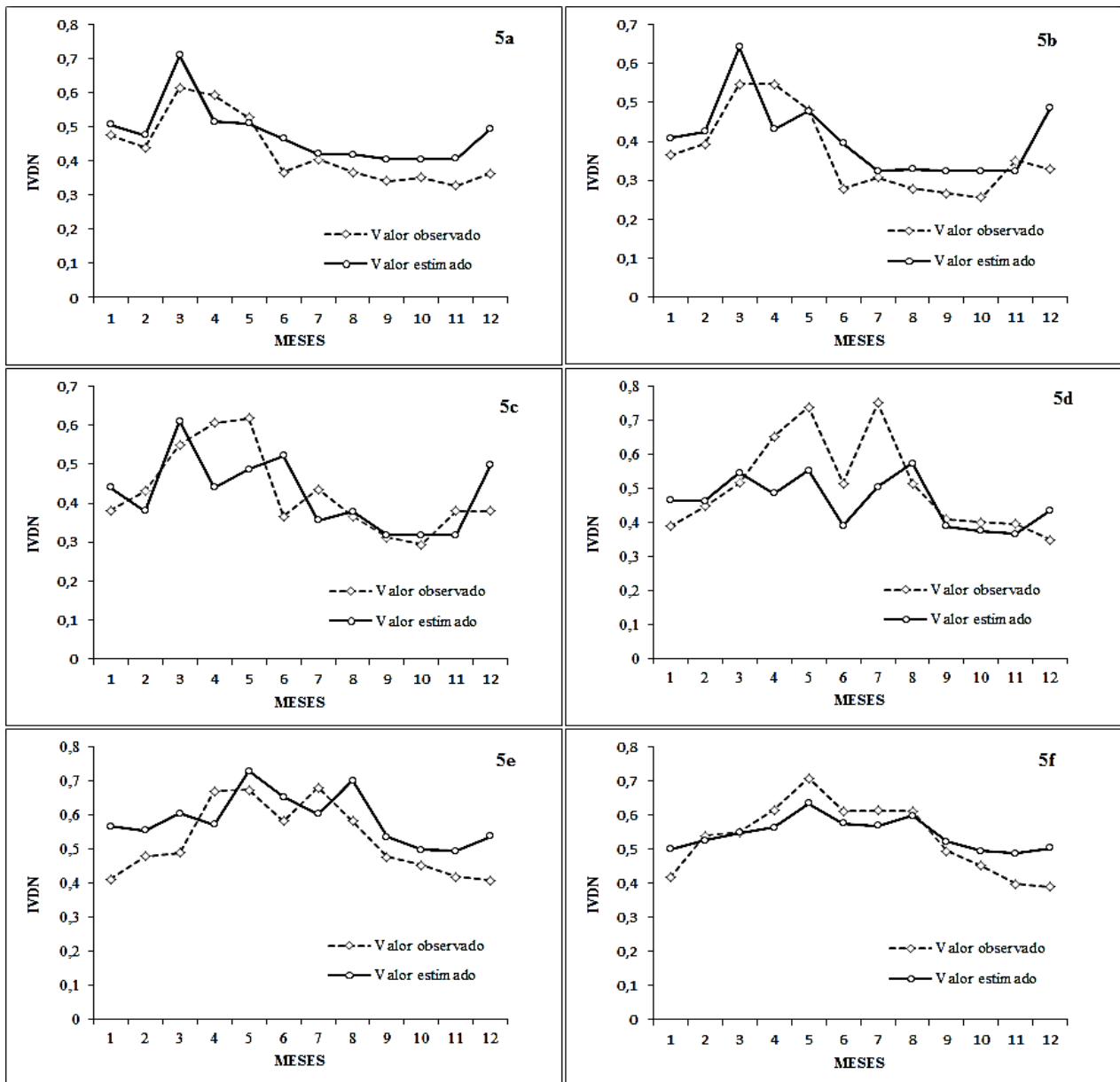


Figura 5. Distribuição temporal dos valores do IVDN para o ano de 2005. A linha pontilhada representa os valores observados do IVDN, e a linha contínua representa os valores estimados do IVDN pelo modelo polinomial de segundo grau. Figura (5a): alto sertão, Figura (5b): sertão, (5c): cariri, (5d): agreste, (5e): brejo, e (5f): litoral e zona da mata.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos conclui-se que existe uma relação forte entre o IVDN e o regime de chuvas Estado da Paraíba, durante os anos estudados principalmente nas regiões onde a variabilidade do IVDN é menor. Consequentemente as correlações entre o IVDN e a chuva são melhores nas regiões onde o Índice apresenta menor variabilidade, ou seja, nas regiões do sertão e alto sertão, e na região litorânea e da mata paraibana.

O menor erro padrão percentual da estimativa de 8,25% foi obtido na Zona da Mata e Litoral onde as chuvas são mais regulares, consequentemente menor variabilidade do índice de vegetação. Nas demais regiões os erros padrões oscilaram entre 10,14 a 16,78%.

Nas regiões do Cariri, agreste e brejo, onde a dispersão entre o IVDN e a chuva é maior, os valores estimados pelo modelo e os obtidos pelo sensor MODIS/Aqua, tiveram correlações mais baixas (de 0,54 a 0,56), apesar disso, são significativas em termos estatísticos para o nível de 0,01. A região da Zona da Mata e Litoral apresentou erro padrão percentual da estimativa de 12,89% entre os valores reais e os estimados. Nas demais regiões o EPPE oscilou de 17,96% a 26,11%. Logo, a metodologia empregada pode ser utilizada com cautela para estimativa do IVDN, principalmente nas regiões onde as chuvas são mais irregulares.

Agradecimentos

O primeiro, terceiro e quinto autor agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes), e a quarta autora ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudos.

Referências

- Altas Geográfico do Estado da Paraíba. 2000. Editora Grafset, 2ª Edição, João Pessoa.
- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA. 2013. Site <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em maio de 2013.
- Anderson, L. O.; Latorre, M. L.; Shimabukuro, Y. E.; Arai, E.; Carvalho Junhor, O. A. 2003. Sensor MODIS: Uma abordagem geral, São José dos Campos: INPE.
- Araújo, G. K. D.; Rocha, J. V.; Lamparelli, R. A. C. 2011. Relação entre IVDN da cultura da soja e dados de precipitação de estações meteorológicas e do modelo ECMWF, no estado do Paraná. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba. Anais... Curitiba: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Brasil, p. 254-2
- Braga, C. C.; Brito, J. I. B.; Sansigolo, C. A. e Rao; T. V. R. 2003. Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria-RS, v.11,n.1,p.149-157.
- Brito, J. I. B., Braga, C. C. 2005. Chuvas no Estado da Paraíba em 2004. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*. v.29, n.1, p.27-32.
- Canada Centre for Remote Sensing – CCRS. Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing. 2007. Disponível: [em:http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_epdf](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_epdf). Acesso em: novembro de 2013.
- Cowell, R. N. 1983. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church: ASP&RS.
- Ferreira, A. G. 2002. Interpretação de imagens de satélites meteorológicos: uma visão prática e operacional do hemisfério sul. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 270 p.
- Ferreira, J. M. S.; Ferreira, H. S.; Silva, H. A.; Santos, A. M.; Galvêncio, J. D. 2012. Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina - PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.4, p.904-922.
- Francisco, P. R M.; Chaves, I. B.; Chaves, L. H. G.; Lima, E. R. V. 2012. Detecção de Mudança da Vegetação de Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.6, p. 1473-1487.
- Huete, A. R.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v.83, p. 195-213.
- Jackson, R. D.; Huete, A. R. 1991. Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, V.11, p.185-200.
- Li, Lewis, J. Rowland, J. Tappan, G. Tieszen, L. L. 2004. Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series. *Journal of Arid Environments*. v.59, p.463-480.
- LPDAAC. 2014. Vegetation Indices Monthly L3 Global 1 Km. Disponível em: https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/myd13a3. Acesso em maio de 2014.
- Nicholson, S.E.; Farrar, T.J. 1994. The influence of soil type on the relationships between IVDN, rainfall, and soil moisture in semi-arid Botswana. I. IVDN response to rainfall. *Remote Sensing of Environment*, v50. P.107-120.
- Parkinson, C. L. 1997. "Earth from above". University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation, 107-111.

- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Scheel, J. A.; Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, v. 1, p. 309-317.
- Sousa, L. F.; Braga, C. C.; Barbieri, L.F.P. 2010. Monitoramento Mensal do IVDN No Estado da Paraíba Usando Imagens do AVHRR/NOAA de julho de 2009 a junho de 2010. In: VII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2010, Campina Grande. C&T e Desigualdades Regionais no Brasil, v. I.
- Sousa, L. F.; Braga, C. C.; silva, F. P. 2011. Monitoramento Mensal da Variabilidade da Vegetação no Estado da Paraíba Usando Imagens do AVHRR/NOAA: Período de 2010/2011. In: VIII CONGRESSO DE CAMPINA GRANDE, 2011, Campina Grande. Encontro Unificado de Iniciação Científica e Extensão. Campina Grande: UFCG, v. I.
- Spiegel, M. R. 1978. Probabilidade e Estatística. Coleção Schaum. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil.
- Srivastava, S. K.; Jayraman, V.; Nageswara Rao, P .P .; Manikiam, B.; Chandrasekhar, M. G. 1997. Interlinkages of NOAA/AVHRR derived integrated IVDN to seasonal precipitation and transpiration in dryland tropics. International Journal of Remote Sensing, v.18, n.14, p. 2931-2952.
- Wilks, D. S. 2006. Theoretical probability distributions. In: Statistical methods in the atmospheric sciences. San Diego: Academic Press.