



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-9655-TDI/848

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DO NDVI SOBRE O
BRASIL E SUAS CONEXÕES COM O CLIMA**

Helen da Costa Gurgel

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada Pelo Dr. Nelson Jesus
Ferreira, aprovada em 30 de março de 2000.

528.711.7 : 551.583

GURGEL, H. C.

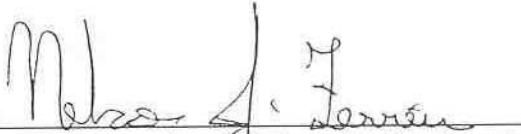
Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima / H. C. Gurgel. – São José dos Campos: INPE, 2000.

118p. – (INPE-9655-TDI/848).

1.Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). 2.Clima. 3.Cobertura vegetal. 4.Análise por principais componentes. 5.AVHRR. I.Título.

Aprovada pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de **Mestre em Sensoriamento Remoto.**

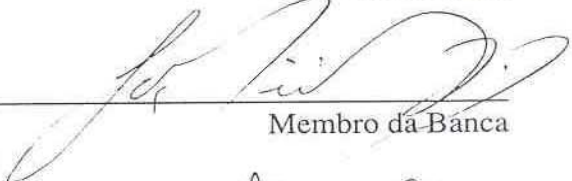
Dr. Nelson Jesus Ferreira


Orientador/Presidente

Dra Corina da Costa Freitas


Membro da Banca

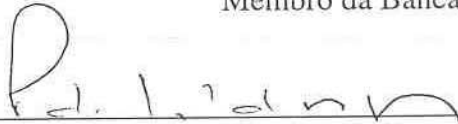
Dr. Getúlio Teixeira Batista


Membro da Banca

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro


Membro da Banca

Dr. Pedro Leite da Silva Dias


Membro da Banca
Convidado

Candidata: Helen da Costa Gurgel

São José dos Campos, 03 de março de 2000.

Dedico esta dissertação a minha amada mãe que tanto me ajudou para conseguir chegar a esta etapa, a meu pai, a meus irmãos Marcio e Rafa e ao Leandro e a todos aqueles que acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Nelson Jesus Ferreira pelas opiniões, discussões, ensinamentos, ajuda e motivação durante todas as etapas.

Aos doutores Alberto Setzer, Clovis Angeli Sansigolo, Corina da Costa Freitas, Dalton de Morisson Valeriano, Eduardo Bastos, Getulio Texeira Batista, João Roberto dos Santos e Yosio Edemir Shimabukuro pelas sugestões e comentários.

À pós-graduação do INPE e de Sensoriamento Remoto em especial ao Dr. Flávio Jorge Ponzoni e a Maria Etelvina Arbex.

Aos colegas da meteorologia Egidio, Francisca, Isabel, Joice, Maria Valverde e Pablo pelo apoio, sugestão e amizade.

Aos colegas da DPI Ricardo Cartaxo, Júlio D'Alge e Eymar Lopes pelo o apoio e ajuda em diversas etapas deste trabalho.

Aos colegas Alfredo, Correia, Manoel, Maria Isabel, Roberto, Silvia, Sidnei e a todos os colegas da turma de mestrado em Sensoriamento Remoto pelas sugestões e amizade.

A todos os colegas do INPE que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

RESUMO

Este trabalho avalia as conexões entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e as variabilidades climáticas anual e interanual sobre o Brasil. As análises foram feitas utilizando-se NDVI e Radiação de Ondas Longas (ROL), derivados do *National Oceanic and Atmospheric Administration – Advanced Very High Resolution Radiometer* (NOAA-AVHRR). O estudo foi baseado no comportamento estatístico destes dados para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 1993. Foram utilizadas as técnicas de estatística multivariada de análise por componentes principais (ACP) e análise de agrupamento, bem como médias mensais e sazonais e anomalias. A ACP foi aplicada nos dados de ROL e de NDVI; já a análise de agrupamento foi feita apenas nos dados de NDVI. Os resultados obtidos mostram que as médias e anomalias de ROL, assim como a ACP, possibilitaram a caracterização climática espacial e temporal dos principais sistemas de tempo que atuam sobre o Brasil. Em relação à ACP, observou-se que a primeira componente representa o padrão médio da atividade convectiva; a segunda e quarta componentes estão associadas aos modos verão/inverno e primavera/outono do ciclo anual; a terceira componente mostra as variações moduladas pelos eventos de El Niño, e; a quinta componente está associada ao ciclo semi-anual. A análise de agrupamento realizada nos dados de NDVI, identificou sete grandes grupos de vegetação que ocorrem no Brasil e revelou a variabilidade anual e interanual e o tempo de resposta a precipitação destes grupos. A ACP aplicada ao NDVI demonstrou a potencialidade desta variável em caracterizar as grandes feições da vegetação que predominam no território brasileiro. Além disso, caracterizou-se a variabilidade anual e interanual destas tipologias de vegetação relacionadas com a variabilidade climática (componentes 1, 2 e 3). A ACP também revelou os principais fatores “não climáticos”, tais como ocorrência de queimadas, mudança de horário da passagem dos satélites NOAA e trocas dos satélites NOAA 9 e 11 (componentes 4, 5, 6 e 10), que ocasionam distúrbios no NDVI. Os altos valores de correlações obtidos entre os autovetores, resultantes da ACP da ROL e do NDVI, que correspondem aos modos verão/inverno ($r = 0,91$) e primavera/outono ($r = 0,70$), indicam que a variabilidade anual da cobertura vegetal brasileira é modulada em grande parte pelo regime climático. Os resultados encontrados também sugerem que as técnicas estatísticas utilizadas neste trabalho, mostraram-se ser, interessantes ferramentas para caracterizar eventos de mudanças periódicas ou aperiódicas em dados de séries temporais obtidos através de sensoriamento remoto.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF NDVI OVER BRAZIL AND ITS CONNECTIONS WITH THE CLIMATE

ABSTRACT

This work studies the connections between Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and annual and interannual climatic variabilities over Brazil. For this purpose, NDVI and Outgoing Longwave Radiation (OLR) data, obtained from National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA-AVHRR) between January/82 and December/93, were analyzed. To accomplish this study, Cluster and Principal Component Analysis (PCA) were the statistical tools used, as well as monthly and seasonal means, and annual anomalies. PCA was done at both NDVI and OLR data, in contrast to Cluster analysis, which was applied only to NDVI data. The obtained results point that the means and anomalies at OLR data and the PCA, allow a climatic characterization in space and time of the main climatic systems that act on Brazil. In relation to the PCA, it was observed that the first component represents the mean pattern of convective activity; second and fourth components are associated to the summer/winter and spring/autumn modes of the annual cycle; the third component shows the variations modulated by El Niño's events, and the fifth component is associated with the semi-annual cycle. The cluster analysis of NDVI data, sorted seven great vegetation groups that appear in Brazil and showed the annual and interannual variation, as well as these groups' response time to precipitation. The PCA of NDVI demonstrated the potentiality of this variable in characterizing the main features of vegetation that prevail in the Brazilian territory. In addition, annual and interannual variability of these vegetation groups related to the climatic variability (components 1, 2 and 3), was characterized. PCA also revealed the main "non climatic" factors that disturbs NDVI, which are: the occurrence of burns, NOAA's satellites period delays and the changes of NOAA's satellites 9 and 11 (components 4, 5, 6 and 10). The high values of correlations obtained among the eigenvectors, resultants from PCA of OLR and NDVI data, that correspond to summer/winter ($r = 0.91$) and spring/autumn ($r = 0.70$) modes, indicate that the annual variability of Brazilian vegetation cover is largely modulated by the climatic regime. The obtained results suggest that the statistical techniques used in this work, proved to be useful tools to characterize events of periodic and non-periodic changes in temporal series data collected by remote sensing.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 - Variabilidade Climática	19
2.2 - Radiação de Ondas Longas (ROL)	22
2.3 - Vegetação do Brasil	23
2.4 - Sistema AVHRR/NOAA.....	28
2.5 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	30
2.6 - Ruídos no NDVI (AVHRR/NOAA)	32
2.6.1 - Contaminação por Nuvens	33
2.6.2 - Efeitos Atmosféricos	33
2.6.3 - Efeitos Devido ao Sensor	35
2.7 - Aplicações de NDVI	36
CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA	41
3.1 - Área de Estudo	41
3.2 - Dados Utilizados	42
3.2.1 - Imagens NDVI do NOAA/AVHRR.....	42
3.2.2 - Radiação de Ondas Longas (ROL)	43
3.2.3 - Indicadores Climáticos do ENSO	43
3.3 - Metodologia	44
3.3.1 - Médias e Anomalias de NDVI E ROL.....	45
3.3.2 - Análise por Componentes Principais (ACP).....	46
3.3.2.1 - Aspectos Matemáticos da ACP	47
3.3.2.2 - ACP dos dados de ROL	53

3.3.2.3 - ACP dos dados de NDVI	53
3.3.3 - Análise de Agrupamento	54
3.3.3.1 - Análise de Agrupamento nos dados de NDVI	56
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1 - Radiação de Ondas Longas (ROL)	59
4.1.1 - Médias de ROL	59
4.1.2 - Análise por Componentes Principais de ROL	61
4.1.2.1 - Análise da Primeira Componente.....	62
4.1.2.2 - Análise da Segunda Componente.....	63
4.1.2.3 - Análise da Terceira Componente	64
4.1.2.4 - Análise da Quarta Componente.....	66
4.1.2.5 - Análise da Quinta Componente	67
4.2 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	68
4.2.1 - Análise de Agrupamento do NDVI.....	68
4.2.2 - Análise por Componentes Principais do NDVI	76
4.2.2.1 - Análise da Primeira Componente.....	77
4.2.2.2 - Análise da Segunda Componente.....	80
4.2.2.3 - Análise da Terceira Componente	83
4.2.2.4 - Análise da Quarta Componente.....	85
4.2.2.5 - Análise da Quinta e Sexta Componentes	87
4.2.2.6 - Análise da Décima Componente	89
4.3 - Correlação entre NDVI e ROL.....	91
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICE A - MÉDIA MENSAL E ANOMALIA ANUAL DE ROL	109
APÊNDICE B - MÉDIA MENSAL E SAZONAL DE NDVI.....	113

LISTA DE FIGURAS

	pág.
1.1 - Composição de NDVI sobre a América do Sul para:(a) 1983 (ano de El Niño) e (b) 1990 (ano normal)	17
2.1 - Comparação dos processos convectivos observados na região do Pacífico Tropical (a) em anos normais e (b) em anos de El Niño.....	20
2.2 - Impactos do El Niño sobre a América do Sul	21
2.3 - Mapa de vegetação do Brasil	24
2.4 - Comportamento espectral da vegetação	31
2.5 - Horário de cruzamento no equador dos satélites NOAA no período de 1980 a 1995.....	36
3.1 - Áreas de estudo para: (a) dados de NDVI, o território brasileiro e (b) dados de ROL, janela de latitude 35°N a 35°S e longitudes 10°E a 20°W	41
3.2 - Diagrama do procedimento de análise das conexões entre o NDVI e a variabilidade climática sobre o Brasil.....	45
3.3 - Formas de entrada e saídas dos dados em ACP.....	52
3.4 - Exemplo de árvore (ou chave) de classificação utilizada em análise de agrupamento.....	55
4.1 - Média sazonal de ROL, em Watts/m^2 , para o período de 1982 a 1993	60
4.2 - Primeira imagem componente da ACP de ROL	62
4.3 - Autovetores da primeira componente de ROL.....	63
4.4 - Segunda imagem componente da ACP de ROL	64
4.5 - Autovetores da segunda componente de ROL	64
4.6 - Terceira imagem componente da ACP de ROL.....	65
4.7 - Autovetores da terceira componente de ROL	65
4.8 - Quarta imagem componente da ACP de ROL	66
4.9 - Autovetores da quarta componente de ROL	67
4.10 - Quinta imagem componente da ACP de ROL	67
4.11 - Autovetores da quinta componente de ROL	68
4.12 - Resultado da análise de agrupamento realizada nos dados de NDVI	69

4.13 - Média mês-ano do segundo grupo da análise de agrupamento de NDVI	70
4.14 - Média mês-ano do terceiro grupo da análise de agrupamento de NDVI	71
4.15 - Média mês-ano do quarto grupo da análise de agrupamento de NDVI	72
4.16 - Média mês-ano do quinto grupo da análise de agrupamento de NDVI	73
4.17 - Média mês-ano do sexto grupo da análise de agrupamento de NDVI	74
4.18 - Média mês-ano do oitavo grupo da análise de agrupamento de NDVI	75
4.19 - Média mês-ano do nono grupo da análise de agrupamento de NDVI	76
4.20 - Primeira imagem componente da ACP de NDVI	77
4.21 - Autovetores da primeira componente de NDVI.....	78
4.22 - Segunda imagem componente da ACP de NDVI	81
4.23 - Autovetores da segunda componente de NDVI	81
4.24 - Terceira imagem componente da ACP de NDVI.....	84
4.25 - Autovetores da terceira componente de NDVI	84
4.26 - Quarta imagem componente da ACP de NDVI	86
4.27 - Autovetores da quarta componente de NDVI	86
4.28 - Média de NDVI da região central do Nordeste e norte do Rio Grande do Sul.....	87
4.29 - Quinta e sexta imagens componentes da ACP de NDVI	88
4.30 - Autovetores da quinta e sexta componentes de NDVI.....	89
4.31 - Décima imagem componente da ACP de NDVI.....	90
4.33 - (a) Autovetores da segunda componente de NDVI e ROL, (b) autovetores da terceira componente de NDVI e ROL, (c) autovetores da quarta componente de NDVI e ROL e (d) autovetores da terceira componente de NDVI e da quarta de ROL.....	92
A.1 - Média mensal de ROL, em Watts/m ² , de 1982 a 1993	111
A.2 - Anomalia anual de ROL, em Watts/m ² , de 1982 a 1993	113
B.1 - Média mensal de NDVI do período de 1982 a 1993	115

LISTA DE TABELAS

	pág.
2.1 - Características do Sensor AVHRR/NOAA.....	29
2.2 - Lançamento e Período de Utilização dos Dados do Sensor AVHRR/NOAA	30
2.3 - Canais Espectrais e Aplicações do Sensor AVHRR/NOAA	30
2.4 - Efeitos Atmosféricos nos Canais 1 e 2 e NDVI.....	34
4.1 - Coeficiente de Correlação Linear (r) dos Autovetores das Componentes 2, 3 e 4 da ACP de NDVI e ROL	93

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste século as mudanças provocadas pelo homem no meio ambiente têm sido intensas, ocasionando impactos de diferentes naturezas no solo, na água, na atmosfera, na biodiversidade e na população humana. A conscientização dessas mudanças cresceu e os estudos sobre mudanças globais e seus impactos têm tido destaque no campo das ciências da natureza. As mudanças na cobertura vegetal e uso da terra são importantes fatores que induzem a mudanças globais ambientais, com implicações profundas nos ecossistemas, nos fluxos biogeoquímicos e no clima (NRC, 1988 e IGBP, 1990).

Nas últimas décadas, com o advento do sensoriamento remoto orbital, tornou-se possível o monitoramento da evolução espacial e temporal das mudanças na cobertura da superfície terrestre. Valendo-se de sensores multiespectrais, fenômenos como queimadas, desmatamentos, expansão urbana e mudanças na cobertura vegetal, passaram a ser estudados de forma objetiva. Santos e Novo (1977), utilizaram dados do sensor orbital MSS/Landsat, para realizar um inventário da cobertura vegetal natural na região Amazônica (Nordeste do Mato Grosso), para auxiliar na fiscalização e no desenvolvimento de uma política de ocupação para a área. Setzer et al. (1992), aperfeiçoaram a técnica de monitoramento diário de queimadas, utilizando dados de sensores orbitais (AVHRR/NOAA) de baixa resolução espacial (1 km) e alta resolução temporal (12 horas), auxiliando o governo brasileiro no processo de gerenciamento e fiscalização das áreas de risco de queimadas e focos de fogo.

No caso da vegetação, há um interesse natural em seu monitoramento, uma vez que ela é uma fonte vital para sustentação da vida humana e animal em nosso planeta. Devido ao fato da dinâmica da cobertura vegetal afetar diretamente o ambiente terrestre, informações quantitativas e qualitativas sobre essa cobertura são necessárias para pesquisas de mudanças globais (Townshend et al., 1993).

A vegetação tem uma assinatura espectral específica quando comparada com a grande maioria dos alvos terrestres. Assim, vários estudos relacionados à identificação e

mapeamento da vegetação têm se baseado na premissa de contraste espectral entre a reflectância da vegetação e os elementos de fundo da cena (Rouse et al., 1974). A combinação entre a reflectância da vegetação nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, tem sido denominada índice de vegetação. Um dos índices de vegetação mais conhecidos é o índice de vegetação por diferença normalizada *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) no qual a diferença entre a reflectância no canal do infravermelho próximo e no do vermelho é dividida pela sua soma (Rouse et al., 1974).

Vários estudos têm demonstrado que o NDVI correlaciona-se com variáveis climáticas em amplas condições ambientais. Hellden e Eklundh (1988), constataram que anomalias de NDVI são correlacionadas com anomalias de chuva em diferentes regiões da Etiópia e que há correspondência entre o NDVI e a distribuição de áreas de ocorrência de seca severa e de escassez de chuva. Na América do Sul, Liu et al. (1991), mostraram que as áreas de vegetação com estresse, indicadas pelo NDVI, correspondiam em sua maioria a áreas que sofreram impactos de seca provocadas pelo El Niño. Batista et al. (1997), utilizando dados de NDVI da Amazônia, do período de 1981 a 1991, determinaram os tipos de vegetação dominantes e ainda identificaram variações interanuais associadas a mudanças nas condições ambientais. Barbosa (1998), utilizando médias mensais de precipitação e NDVI, constatou que as distribuições espacial e temporal dessas variáveis na região do Nordeste do Brasil, têm padrões semelhantes e uma relação considerável.

O aprimoramento do conhecimento da relação clima/cobertura vegetal, tem aplicações numa variedade de problemas de interesse prático e científico, que incluem o aumento da produtividade agrícola e a modelagem climática. No caso do Brasil, devido à sua extensão continental e ao predomínio de diversos padrões climáticos, é importante avaliar como a cobertura vegetal responde à variabilidade climática e vice-versa, usando técnicas de sensoriamento remoto. A Figura 1.1, obtida por Batista et al. (1997), evidencia de forma marcante a ocorrência do impacto do El Niño sobre o continente sul americano. Observa-se na Amazônia, por exemplo, grandes diferenças no campo de NDVI num ano de El Niño (Figura 1.1a) quando comparado com um ano normal (Figura 1.1b), além de diferenças significativas em outras regiões.

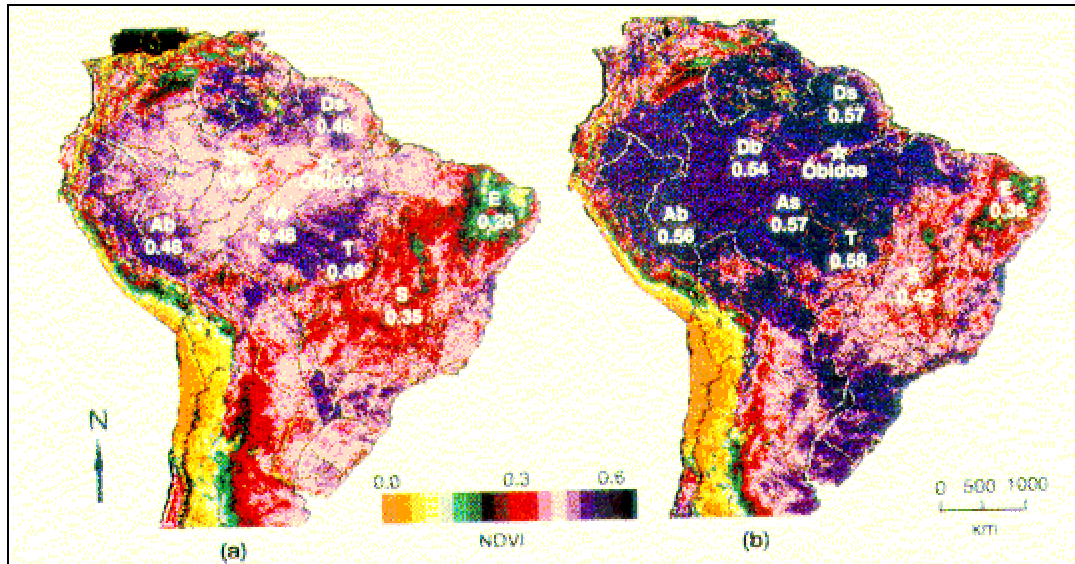


Fig. 1.1 - Composição de NDVI sobre a América do Sul para: (a) 1983 (ano de El Niño) e (b) 1990 (ano normal)
 FONTE: Batista et al. (1997, p. 3199).

Apesar da evolução dos estudos sobre NDVI no Brasil, ainda existem muitas questões em aberto, tais como: as diferenças interanuais são realmente moduladas por oscilações tipo El Niño? Como a cobertura vegetal responde às diferentes oscilações climáticas de grande escala no Brasil?

Motivado por essa problemática, o presente estudo tem como objetivos:

- a) identificar e avaliar os padrões espaciais e temporais de variabilidade do NDVI no Brasil, nas escalas anual e interanual e,
- b) diagnosticar as principais características climáticas associadas às mudanças de grande escala de NDVI no Brasil.

Para a avaliação dos dados, utilizou-se análises de componentes principais e de agrupamentos, que são técnicas de estatística multivariada que possibilitaram estabelecer padrões de variação da vegetação verde relacionados com mudanças/anomalias climáticas. Os dados utilizados foram NDVI e Radiação de Ondas Longas (ROL) obtidos pelo *Advanced Very High Resolution Radiometer / National Oceanic and Atmospheric Administration (AVHRR/NOAA)* do período de 1982 a 1993.

Espera-se que o presente trabalho contribua para melhorar o conhecimento científico no que se refere ao impacto do clima na variabilidade espacial e temporal do NDVI no Brasil, e que a metodologia utilizada possibilite o entendimento e domínio de técnicas estatísticas para serem aplicadas em uma gama de estudos em sensoriamento remoto.