

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DA VEGETAÇÃO NA  
REGIÃO NORDESTE DO BRASIL ATRAVÉS DO EVI  
DO SENSOR MODIS**

**MILEIDE DE HOLANDA FORMIGONI**

**ALEGRE  
ESPÍRITO SANTO - BRASIL  
MARÇO - 2008**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DA VEGETAÇÃO NA  
REGIÃO NORDESTE DO BRASIL ATRAVÉS DO EVI  
DO SENSOR MODIS**

**MILEIDE DE HOLANDA FORMIGONI**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier

**ALEGRE  
ESPÍRITO SANTO - BRASIL  
MARÇO - 2008**

# ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DA VEGETAÇÃO NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL ATRAVÉS DO EVI DO SENSOR MODIS

MILEIDE DE HOLANDA FORMIGONI


Disertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada: 04 de março de 2008



---

Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos  
Centro de Ciências Humanas e  
Naturais - UFES




---

Prof. Dr. Mauro Antonio Homem  
Antunes  
Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro - UFRRJ



---

Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima  
Centro de Ciências Agrárias – UFES



---

Prof. Dr. Paulo de Tarso Ferro de  
Oliveira Fortes  
Centro de Ciências Agrárias – UFES

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

F725a Formigoni, Mileide de Holanda, 1981-  
Análise multi-temporal da vegetação na região nordeste do Brasil  
através do EVI do sensor MODIS / Mileide de Holanda Formigoni. –  
2008.  
89 f. : il.

Orientador: Alexandre Candido Xavier.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo,  
Centro de Ciências Agrárias.

1. Sensoriamento remoto. 2. Comunidades vegetais. 3. Fenologia  
vegetal. 4. Brasil, Nordeste. I. Xavier, Alexandre Candido. II.  
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. III.  
Título.

CDU: 63

---

Aos meus pais pela educação e dedicação.

Aos meus irmãos pelo apoio.

Ao meu noivo pelo constante incentivo.

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS pela Vida que me concedeu.

Ao meu orientador, professor Dr. Alexandre Cândido Xavier pela confiança, conhecimento transmitido, orientação, apoio e paciência na realização deste trabalho.

Aos professores do curso de mestrado desta instituição que de alguma forma deram sua contribuição.

Aos meus pais, Zuleide e Nilson, fundamentais na minha vida, pela educação, preocupação, contribuição e todo amor que tiveram e têm comigo.

Aos meus irmãos, Lorena e Tiago pela contribuição quando precisei de auxílio, seja para viagens repentinas à Alegre, seja por me “substituir” nos demais compromissos.

Ao meu noivo, Douglas por todo amor e carinho, constante incentivo, apoio nos momentos de desespero e desânimo, paciência nos momentos de estresse e entendimento quando estive ausente.

Aos meus primos Clovis, Suellen e Gabriel pelo “abrigo” e atenção sempre oferecidos quando precisei.

Aos demais familiares que com certeza, de alguma forma, contribuíram com mais essa formação.

Aos membros da banca pela atenção para com esta dissertação.

Aos colegas Carlos Alexandre e Denis que sempre me socorreram nos momentos de aperto para entendimento do SPRING e para auxílio para aquisição de imagens.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela concessão de imagens e artigos de fundamental importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Instituto Nacional de meteorologia (INMET) pela concessão de dados meteorológicos.

A Petrobrás pela concessão da bolsa de estudos.

FORMIGONI, Mileide de Holanda, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, Março de 2008. **Análise multi-temporal da vegetação na região Nordeste do Brasil através do EVI do sensor MODIS**. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier.

## RESUMO

O Nordeste Brasileiro (NEB) apresenta diferentes tipos de vegetação, sendo importantes para o seu ecossistema. Com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto é possível, por exemplo, analisar variações de comunidades de vegetação e suas alterações fenológicas. O objetivo principal deste trabalho é avaliar o comportamento temporal do Índice de Vegetação Melhorado (EVI) do sensor Spectroradiômetro de Resolução Espacial Moderada (MODIS), de diferentes tipos de vegetação do NEB no período entre fevereiro de 2000 a julho de 2006. A área de estudo foi a região do NEB, sendo utilizado para caracterização dos tipos de vegetação um mapa de vegetação na escala de 1:5.000.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Um total de 140 imagens EVI livres de nuvens com resolução espacial de 250 m foram adquiridas da Agência Nacional Aeroespacial Norteamericana (NASA). Quatro imagens CBERS-2/CCD com resolução espacial de 20 m foram também adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para auxiliar na coleta das amostras de dados de EVI dos diferentes tipos de vegetação. Dados de precipitação das cidades de Petrolina e Pesqueira (Pernambuco), Barra do Corda e Carolina (Maranhão) localizadas nas regiões de vegetação do tipo Caatinga, Floresta Atlântica, Amazônia e Cerrado, respectivamente, foram utilizados para avaliar sua relação com os dados de EVI sob estas vegetações. Dados de EVI sobre área irrigada também foram utilizados para esta análise. Os resultados obtidos mostraram que: i) os dados multitemporais EVI de diferentes tipos de vegetação foram sensíveis às respectivas variações fenológicas, com os menores e maiores valores de EVI ocorrendo nos períodos de seca e chuva respectivamente; ii) a vegetação Amazônia apresentou a menor variação multitemporal dos valores de EVI, todavia apresentando os valores mais elevados, podendo-se justificar pela maior quantidade de folhas e por estarem

sempre verdes; iii) a vegetação de caatinga analisada apresentou a maior variação dos valores de EVI, pois na época de seca, perde todas as folhas e na época de chuva, se torna verde devido a menor variabilidade da precipitação; iv) todos os dados de EVI das vegetações apresentaram relação significativa (valor- $p < 0,05$ ) com a precipitação.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, índice de vegetação, biomas, Nordeste brasileiro.

FORMIGONI, Mileide de Holanda, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, Março de 2008. **Multi-temporal analysis of Northeast vegetation by means of MODIS-EVI data**. Advisor: Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier.

### ABSTRACT

The Brazilian Northeast (NEB) region presented different vegetation types that are essential component of its ecosystem. With remote sensing techniques it is possible, for example, to analyzed variations in vegetation community and alterations in vegetation phenological. Analysis the main objective of this work is to evaluate the temporal behavior of the Enhanced Vegetation Index (EVI) from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), of different vegetation types in the NEB over period between February/2000 and July/2006. The study area was the NEB, where it was used to characterize the vegetations types a vegetation map of Brazil, in the 1:5,000,000 scale from Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). A total of 140 cloud-free EVI images with spatial resolution 250 m were acquired from National Aeronautics and Space Administration (NASA). Four CBERS-2/CCD images spatian resolution 20 m were also acquired from National Institute for Espace Research (INPE) to assist EVI data sample collection for each vegetation type. Precipitation data of the cities Petrolina and Pesqueira (Pernambuco), São Luiz and Carolina (Maranhão) located in regions of Caatinga, Atlantic Forest, Amazon and Savannah biome vegetation, respectively, were used to analyze its relationship with EVI from these vegetation. Also, EVI from irrigated area at Petrolina were used in these analysis. Results obtained showed that: i) multi-temporal EVI data from different vegetation types were sensitive to the vegetation phenological cycles, with minor and greater values of EVI in the periods of less and greater precipitation, respectively; ii) amazon biome vegetation presented lesser variation in the multi-temporal EVI, however with greater values, justified by vegetation species the are always with green leaf; iii) Caatinga biome vegetation presented greater EVI values variation because the vegetation species on the dry periods occur total defoliation

and on wet period the vegetation became green; iv) all EVI data from the vegetations studied presented significant relationship with precipitation ( $p\text{-value} < 0.05$ ).

**Key words:** remote sensing, vegetation indices, biomes, northeast brazil.

## CONTEÚDO

	Página
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	vi
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Objetivo geral .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Biomas do NEB .....	3
2.1.1 Bioma Amazônia .....	3
2.1.2 Bioma Caatinga .....	4
2.1.3 Bioma Cerrado .....	5
2.1.4 Bioma Mata Atlântica.....	6
2.2 Vegetação do NEB .....	7
2.3 Tipos de vegetação dos principais biomas do NEB .....	7
2.3.1 Floresta ombrófila densa .....	8
2.3.2 Floresta ombrófila aberta .....	8
2.3.3 Savana estépica .....	8
2.3.4 Savana .....	8
2.3.5 Áreas de tensão ecológica .....	9
2.4 Comportamento espectral .....	9
2.4.1 Comportamento espectral da vegetação .....	10
2.4.2 Comportamento espectral dos solos .....	12
2.5 Índices de vegetação espectrais .....	14
2.6 Aplicações dos índices de vegetação .....	16
2.7 Sensor MODIS .....	17
2.7.1 Produtos do sensor MODIS .....	20
2.7.1.1 Produto MOD13 .....	21

2.8 Programa CBERS .....	21
3. MATERIAIS E MÉTODO .....	24
3.1 Área de estudo .....	24
3.1.1 Clima do NEB .....	24
3.1.2 Caracterização do solo e relevo .....	26
3.2 Base cartográfica .....	27
3.3 Imagens .....	27
3.4 Análise de EVI versus biomas .....	29
3.4.1 Tipos de vegetação na latitude -6,69° .....	30
3.5 Análise de dados EVI dos biomas relacionados à precipitação .....	31
3.5.1 Dados pluviométricos .....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	36
4.1 Análise do EVI nos principais biomas do NEB .....	36
4.1.1 Avaliação dos filtros aplicados .....	36
4.1.2 Tipos de vegetação nos principais biomas do NEB na latitude - 6,69° .....	40
4.1.3 EVI temporal versus principais biomas do NEB .....	41
4.2 Relação da dinâmica sazonal do EVI com a precipitação .....	43
4.2.1 Bioma caatinga e área irrigada versus precipitação .....	45
4.2.2 Bioma mata atlântica versus precipitação .....	47
4.2.3 Bioma amazônia versus precipitação .....	49
4.2.4 Bioma cerrado versus precipitação .....	51
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54

**LISTA DE TABELAS**

	Página
<b>Tabela 1</b> – Principais características do sensor MODIS / satélite terra .....	18
<b>Tabela 2</b> – Especificações das bandas do sensor MODIS .....	19
<b>Tabela 3</b> – Produtos do sensor MODIS voltados para a superfície terrestre.....	20
<b>Tabela 4</b> – Sensor CCD do CBERS-2 .....	23
<b>Tabela 5</b> – Informações das imagens do sensor CCD, para os principais biomas do NEB .....	31
<b>Tabela 6</b> – Estações meteorológicas do INMET utilizadas para obtenção dos valores de precipitação .....	33
<b>Tabela 7</b> – Principais biomas e tipos de vegetação encontrados na latitude de Referência e respectivas longitude .....	35

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1</b> – Comportamento espectral de diferentes alvos .....	10
<b>Figura 2</b> – Comportamento espectral característico de uma folha verde.....	11
<b>Figura 3</b> – Curvas espectrais de solos contendo diferentes porcentagens de água .....	13
<b>Figura 4</b> – Sistema de referência do produto MODIS .....	28
<b>Figura 5</b> – Representação do transecto da latitude -6,69º.....	29
<b>Figura 6</b> – Imagem do sensor MODIS com localização dos pontos amostrais para os principais biomas do NEB.....	32
<b>Figura 7</b> – Imagem CBERS-2 referente a região de Petrolina, PE.....	34
<b>Figura 8</b> – Transecto dos dados EVI originais e o resultado após aplicação do filtro espacial de mediana 7x7 .....	37
<b>Figura 9</b> – Imagem temporal após o agrupamento das imagens EVI nas diferentes datas no transecto da latitude -6,69º .....	38
<b>Figura 10</b> – Imagem temporal após o agrupamento das imagens EVI nas diferentes datas no transecto da latitude -6,69º após a execução do filtro mediana 5x5 .....	39
<b>Figura 11</b> – Comportamento temporal do EVI na posição de latitude -6,69º e longitude -37,4º após a segunda filtragem .....	40
<b>Figura 12</b> – Distribuição dos principais tipos de vegetação encontrados na latitude 6,69º e longitudes de -34º a -50º.....	41
<b>Figura 13</b> – Comportamento do EVI na latitude -6,69º correspondente aos principais biomas do NEB .....	43
<b>Figura 14</b> – Distribuição da precipitação para os principais biomas do NEB.....	45

- Figura 15** – Dados multitemporais de EVI para a região representada pelo bioma caatinga e área irrigada juntamente com a precipitação ..... 46
- Figura 16** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido pela correlação entre o EVI da região representada pelo bioma caatinga (a) e área irrigada (b) com a precipitação ..... 47
- Figura 17** – Dados multitemporais de EVI para a região representada pelo bioma mata atlântica juntamente com valores de precipitação ..... 48
- Figura 18** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido pela correlação entre o EVI da região representada pelo bioma mata atlântica e a precipitação..... 48
- Figura 19** – Dados multitemporais de EVI para a região representada pelo bioma amazônia juntamente com valores de precipitação ..... 50
- Figura 20** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido pela correlação entre o EVI da região representada pelo bioma amazônia e a precipitação .... 50
- Figura 21** – Dados multitemporais de EVI para a região representada pelo bioma cerrado juntamente com valores de precipitação ..... 51
- Figura 22** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido pela correlação entre o EVI da região representada pelo bioma cerrado e a precipitação ..... 52

## LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS

A	Floresta Ombrófila Aberta
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
ATE	Áreas de Tensão Ecológica
CAST	Agência Chinesa de Ciência e Tecnologia
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CCD	Câmera Imageadora de Alta Resolução
CERES	Clouds and the Earth's Radiant Energy System
D	Floresta Ombrófila Densa
DPI /INPE	Departamento de Processamento de Imagens / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
EDC	EROS Data Center
EVI	Índice de vegetação melhorado
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HDF	Hierarchy Data Format
IAF	Índice de Área Foliar
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVM	Infravermelho Médio
IVP	Infravermelho Próximo
IVs	Índices de Vegetação Espectrais
LP DAAC	Land Distributed Active Archive Center
MODIS	Spectroradiômetro de Resolução Espacial Moderada
MOPITT	Measurements of Pollution in the Troposphere
MRT	Modis Reprojection Tool
NASA	Agência Nacional Aeroespacial Norteamericana
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NEB	Nordeste Brasileiro
S	Savana
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
SR	Sensoriamento Remoto
T	Savana Estépica Nordestina
V	Vermelho
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## 1. INTRODUÇÃO

O Nordeste Brasileiro (NEB), localizado na faixa tropical de aproximadamente 1º a 18º de latitude Sul e 35º a 47º de longitude Oeste, é constituído pelos Estados de Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Maranhão (MA), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio Grande do Norte (RN) e Sergipe (SE). Essa região apresenta grande variabilidade espacial e temporal da pluviometria e abrange diferentes biomas, sendo que o predominante é o bioma caatinga, seguido de outros como amazônia, cerrado e mata atlântica.

O monitoramento da cobertura vegetal utilizando produtos e técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e geoprocessamento têm se tornado muito freqüente em diversas áreas de pesquisa. É embasado na necessidade de análises dos recursos vegetais, contribuindo para o acompanhamento temporal e obtenção de informações como a distribuição dos tipos de vegetação, a fenologia, a estrutura do dossel, as condições de estresse e as mudanças de uso do solo.

Um dos sensores que podem ser utilizados para o monitoramento da superfície terrestre é o Spectroradiômetro de Resolução Espacial Moderada (MODIS), por meio dele são gerados vários Índices Espectrais de Vegetação (IVs), dentre eles, destaca-se o “Enhanced Vegetation Index” (Índice de Vegetação Melhorado, EVI) mais sensível às variações de biomassa verde e menos sensível às variações do solo e da atmosfera, capaz de identificar as modificações no estado da cobertura vegetal. O sensor MODIS é um dos instrumentos mais comumente utilizados para estudos e monitoramento de grandes áreas, por meio de seus produtos que atendem a diversos campos de pesquisa.

Em se tratando de biomas, é importante salientar que cada bioma possui um comportamento fenológico específico. Portanto, para o estudo de biomas utilizando imagens multitemporais, é necessário o conhecimento de características e desenvolvimento dos mesmos.

A fenologia é de fundamental importância para o desenvolvimento de

estudos relacionados à cobertura vegetal. É a ciência que estuda as aparências e as mudanças das atividades vegetativas e reprodutivas nos organismos vivos. Mudanças anuais na temperatura e precipitação podem ter influência sobre a fenologia. Por outro lado, mudanças sazonais podem ter influência na disponibilidade dos recursos naturais e atuam de forma potencializadora ou limitante no crescimento da vegetação, alterando fatores como a taxa de acumulação de biomassa e a taxa de senescência (LEE et al., 2002).

### **1.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o comportamento temporal do EVI do sensor MODIS para os principais biomas e tipos de vegetação do NEB no período de fevereiro de 2000 a julho de 2006.

### **1.2 Objetivos específicos**

Para atingir o objetivo principal foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- 1) Análise do EVI de cada bioma estudado no NEB;
- 2) Análise da relação do EVI de diferentes biomas com a pluviometria.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Esta seção apresenta uma revisão de literatura sobre os assuntos que serão abordados neste trabalho: principais biomas e tipos de vegetação encontrados no NEB; comportamento espectral da vegetação e do solo; índices de vegetação espectrais; características do sensor MODIS e; programa Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS). As informações aqui apresentadas servirão de base para o desenvolvimento deste estudo.

### **2.1 Biomas do Nordeste do Brasil**

Bioma é um conjunto de vida vegetal e animal, formado pelo conjunto de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas semelhantes, resultando em diversidade biológica própria (IBGE, 2004a).

O NEB é uma região que apresenta alta diversidade biológica, onde podem ser encontrados diversos biomas e tipos de vegetação. Tendo como base o mapa de biomas do Brasil, na escala de 1:5.000.000, os principais biomas encontrados no NEB são (IBGE, 2004b): amazônia, caatinga, cerrado e mata atlântica.

#### **2.1.1 Bioma Amazônia**

O bioma amazônia abrange, no Brasil, área de aproximadamente 4.871.000 km<sup>2</sup>, contendo parte de nove países da América do Sul, sendo 69% dessa área pertencentes ao Brasil, abrangendo os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima (INPE, 2001).

O bioma amazônia apresenta principalmente a floresta ombrófila densa, composta, em geral, por árvores altas com dossel que pode ou não apresentar árvores emergentes. A maioria das plantas de porte baixo, quando ocorrem, constitui árvores jovens em crescimento resultantes de matrizes próximas (IBGE, 2004c).

Este bioma apresenta vegetação higrófila, adaptada à vida em condições de excesso de água. Ocorre em clima ombrófilo, sem período biologicamente seco durante o ano e, excepcionalmente, com até dois meses de umidade escassa. As temperaturas médias variam entre 22°C e 25°C (IBGE, 2004a).

### **2.1.2 Bioma Caatinga**

A área do bioma caatinga estende-se por aproximadamente, 900.000 km<sup>2</sup>, ocorrendo nos Estados de AL, BA, CE, PB, PE, PI, RN, SE e Minas Gerais (SAMPAIO & RODAL, 2000). Em alguns Estados, no entanto, há maior ocorrência deste bioma, como é o caso dos Estados do CE, PB, PE e RN, em áreas superiores a 80% (BARBOSA, 1999).

A palavra caatinga tem origem na língua indígena e significa mata branca que discrimina bem o tipo de vegetação, visto que no período da seca, esta vegetação apresenta um aspecto branco, pelo fato da maioria das plantas perderem suas folhas (MAIA, 2004). A vegetação foi batizada com este termo para diferenciá-la das matas perenifólias do ambiente tropical, que sempre apresentam-se escuras e fechadas (FERRI, 1980).

Chamada de savana estépica nordestina, a caatinga abrange várias formações que constituem um tipo de vegetação estacional-decidual, com características definidas, com árvores baixas e arbustos (IBGE, 2004c).

Este bioma apresenta uma vegetação xerófila, adaptada à seca, que se mostra essencialmente heterogênea quanto à fisionomia e à estrutura, conservando, porém, certa uniformidade na sua composição, devido ao conjunto de plantas arbóreo/arbustivas, algumas vezes, associadas com bromélias, gramíneas e cactáceas (FERNANDES, 1998).

A fenologia das espécies do bioma caatinga permite que estas se desenvolvam em condições de seca, em geral, apresentando espécies caducifólias, ou seja, que perdem as folhas na estação seca para reduzir a transpiração e a perda de água da planta, tornando a florescer na estação chuvosa. A adaptação à falta

d'água, durante vários meses do ano, aparece na forma, na cor, no metabolismo e nos ciclos vitais das espécies. Dentre as adaptações desta vegetação, destacam-se o tamanho das folhas que são pequenas para diminuir a perda d'água; cascas claras que diminuem o aquecimento do tecido vivo na planta; perda das folhas durante a estação seca e/ou diminuição da evapotranspiração durante as horas mais quentes evitando a perda excessiva de água; caules verdes que contribuem com a fotossíntese sem aumentar a superfície da planta, melhorando a eficiência vital do vegetal, dentre outras adaptações (MAIA, 2004).

Cada uma das espécies pertencentes a este bioma tem importância para o ecossistema (MAIA, 2004). As plantas possuem adaptações ao clima, tais como: folhas transformadas em espinhos, cutículas altamente impermeáveis e caules suculentos. O aspecto geral da caatinga na seca é de mata espinhosa. (OLIVEIRA et al., 2006).

Em ambiente de caatinga, as temperaturas médias são, geralmente, elevadas (26°C), as umidades relativas médias são baixas e as precipitações pluviométricas médias anuais situam-se entre 250 e 750 mm, aproximadamente. A duração da estação seca é muito variável, em geral superior a sete meses (SÁ, 1991).

### **2.1.3 Bioma Cerrado**

O bioma cerrado ocorre em, aproximadamente, 23% do território nacional ou cerca de 2.000.000 km<sup>2</sup> (WWF, 1995). Ocupa a totalidade do Distrito Federal e grande parte dos Estados de Goiás (97%), Maranhão (65%), Mato Grosso do Sul (61%), Minas Gerais (57%) e Tocantins (91%), além de porções de outros Estados (IBGE, 2004a).

O cerrado, também chamado de savana brasileira apresenta estrato arbóreo xeromorfo, lenhoso, constituído de micro e nanofanerófitas de raízes profundas, muitas vezes providas de xilopódios. Suas árvores variam de pequeno a médio porte e possuem troncos e galhos tortuosos, folhas coriáceas e brilhantes ou então revestidas por densa camada de pêlos. Essas espécies, na época das secas, dessecam a parte aérea, mantendo vivos os brotos regenerativos ao nível do solo (IBGE, 2004c).

A vegetação do cerrado é mesofítica e suas plantas são, geralmente,

escleromorfos e transpiram normalmente na época das secas. A semideciduidade ocorre neste bioma, devido ao caráter estacional do clima (OLIVEIRA, 1998).

O ciclo de vida das espécies do cerrado é perene, pois as mesmas possuem mecanismos que facilitam sua sobrevivência e reprodução durante o período seco (OLIVEIRA 1998). A existência de estruturas que conservam água, como os xilopódios, ou de um sistema radicular bem desenvolvido, que muitas vezes pode alcançar camadas mais profundas do solo onde há água disponível, são fatores responsáveis pela manutenção de estruturas aéreas de sustentação e fotossintetizantes ao longo do ano (EITEN, 1972).

A vegetação da savana ocorre em vários tipos de clima, subsistindo tanto sob climas estacionais tropicais com período seco variando entre três a sete meses, como sob clima ombrófilo sem período biologicamente seco (IBGE, 2004a). Os solos são muito pobres, sendo que apenas 5,2% da área dos cerrados que são terra roxa estruturada e latossolos roxos, considerados de boa qualidade (CASTRO, 1994).

O clima e particularmente a precipitação e a duração do período de seca são fatores importantes na distribuição da vegetação de cerrado. O trabalho de Castro (1994) demonstrou grande variabilidade destes fatores e identificou no mínimo cinco grupos de vegetação na região de cerrado.

#### **2.1.4 Bioma Mata Atlântica**

Praticamente contínua ao longo de grande parte da região litorânea. E estendendo-se desde o NEB até o Estado de Santa Catarina (LEITÃO FILHO, 1987), o bioma mata atlântica ocupa inteiramente três Estados: Espírito Santo, Rio de Janeiro e Santa Catarina; e 98% do Paraná, além de porções de outras unidades da federação (IBGE, 2004a). Ao todo, são 1.300.000 km<sup>2</sup>, ou cerca de 15% do território nacional (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2002).

As formações do bioma são as florestas ombrófila densa, ombrófila mista (mata de araucárias), estacional semidecidual e estacional decidual e os ecossistemas associados como manguezais, restingas, brejos interioranos, campos de altitude e ilhas costeiras e oceânicas (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2002).

Conhecida como área de transição entre a amazônia e o espaço extra-amazônico, a mata atlântica foi conceituada como fisionomia florestal compostas de

árvores mais espaçadas. Ocorre em clima que pode apresentar um período com mais de dois e menos de quatro meses secos, com temperaturas médias entre 24°C e 25°C (IBGE, 2004a).

O bioma mata atlântica consiste em formação vegetal higrófila, ou seja, de ambiente úmido e perene (sempre verde), densa, pois possui muitas árvores por metro quadrado, e heterogênea, tendo muitas espécies vegetais como representantes.

As matas costeiras do NEB foram quase totalmente dizimadas, estando restritas, atualmente, a pequenas manchas, muitas vezes no alto das elevações (VASCONCELOS, 1996).

## **2.2 Vegetação do Nordeste do Brasil**

A fisionomia da vegetação é um dos atributos que deve ser observado para sua classificação, sendo que esses atributos não são independentes, visto que o total pluviométrico anual é um atributo de habitat, que afeta o atributo fisionomia, e conseqüentemente afeta a reflectância. Textura e drenagem do solo também são características que afetam a forma da vegetação e sua reflectância espectral.

No caso da cobertura vegetal do NEB, as variações da diversidade vegetal e da distribuição de tipos de vegetação detectados por meio da reflectância espectral podem gerar dados sobre diferentes tipos de vegetação relacionados ao estresse hídrico. Deste modo, o SR pode ser utilizado para detectar as respostas da vegetação natural à diminuição de chuvas ou outros efeitos ambientais (BARBOSA, 1999).

A consulta ao mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 2004c), revela nitidamente a extensão ocupada pelos tipos de vegetação inseridos no bioma caatinga no NEB, que cobre cerca de 37% da região, seguido dos outros tipos de vegetação inseridos nos demais biomas estudados.

## **2.3 Tipos de vegetação dos principais biomas no Nordeste do Brasil**

Os tipos de vegetação descritos a seguir pertencem aos principais biomas do NEB, foram utilizados no desenvolvimento deste estudo e serão brevemente descritos de acordo com o mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 2004c).

### **2.3.1 Floresta ombrófila densa**

A floresta ombrófila densa (D) ocorre sob clima ombrófilo sem período seco durante o ano, com temperaturas médias oscilando entre 22°C e 25°C. Esta região fitoecológica ocupa parte do espaço amazônico e estende-se pela costa atlântica desde o sul de Natal, no RN, até o Espírito Santo. É constituída por árvores de grande a médio porte. A floresta ombrófila densa é representada por quatro grupos de formação: aluvial, das terras baixas, submontana e montana.

### **2.3.2 Floresta ombrófila aberta**

Faciações da floresta ombrófila densa, a floresta ombrófila aberta (A) foi conceituada como f Agência Nacional Aeroespacial Norteamericana isionomia florestal composta de árvores mais espaçadas, com estrato arbustivo pouco denso. Ocorre em clima que pode apresentar um período com mais de dois e menos de quatro meses secos, com temperaturas médias entre 24°C e 25°C. A floresta ombrófila aberta é representada por três grupos de formação: aluvial, das terras baixas e submontana.

### **2.3.3 Savana estépica**

A savana estépica nordestina (T), mais conhecida como caatinga, abrange as várias formações que constituem um tipo de vegetação estacional-decidual. As árvores são baixas, raquíticas, de troncos delgados e com esgalhamento profuso. Muitas espécies são microfoliadas e outras são providas de acúleos ou espinhos, a maioria das espécies possui adaptações fisiológicas especializadas à insuficiência hídrica. A savana estépica é representada por quatro subgrupos de formação: florestada, arborizada, parque e gramíneo-lenhosa.

### **2.3.4 Savana**

A vegetação de savana (S), característica do bioma cerrado ocorre tanto em climas estacionais tropicais, com períodos secos de três a sete meses, como em climas ombrófilos sem período biologicamente seco. Geralmente apresenta dois

estratos distintos, sendo um arbóreo lenhoso xeromorfo, formado por árvores de pequeno a médio porte, troncos e galhos tortuosos com folhas revestidas por camadas de pêlos; e outro estrato gramíneo-lenhoso. Portanto, a savana apresenta grande variabilidade estrutural, com significativas diferenças com relação ao porte e à densidade.

### **2.3.5 Áreas de tensão ecológica**

Áreas de tensão ecológica (ATE) são resultado do contato entre diferentes tipos de vegetação, quando entre duas ou mais regiões fitoecológicas existem áreas onde estas floras se contatam, justapondo-se ou interpenetrando-se, formam os contatos, identificados, respectivamente, em encraves e ecótonos. No primeiro caso, cada mosaico de vegetação guarda a sua identidade florística e fisionômica sem se misturar, permitindo a definição da formação ou subformação dominante. No caso dos ecótonos, a identidade florística passa a ser em nível de espécie não havendo predominando a dominância de uma região sobre a outra.

## **2.4 Comportamento espectral**

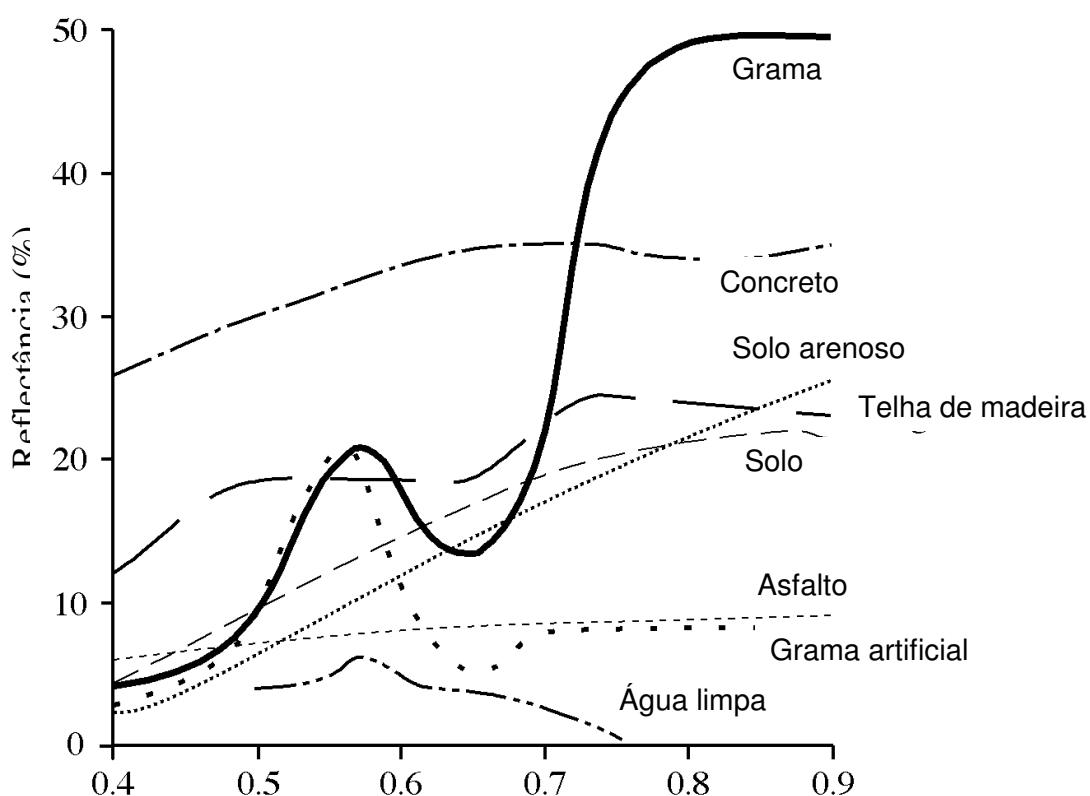
Comportamento espectral é definido como a curva de reflectância em função do comprimento de onda nas regiões do espectro eletromagnético (JENSEN, 2000).

As informações das imagens de satélites geradas por meio do SR são obtidas por meio do comportamento espectral dos alvos imageados. Ao incidir sobre um alvo, a radiação proveniente do Sol interage com o seu material e pode sofrer três tipos de interação: reflexão, transmissão e absorção (MOREIRA, 2000). Nos sensores remotos, que possuem imagens nas bandas do visível ao infravermelho de ondas curtas, é medida somente a intensidade da radiação refletida, não podendo desconsiderar que a reflectância também depende das propriedades do objeto, como a forma, o tamanho, a estrutura e a textura da superfície imageada (MENESES & MADEIRA NETTO, 2001).

De acordo com Moreira (2005), os espectros de reflectância de maior interesse para estudos ambientais estão compreendidos entre 0,4 e 2,6  $\mu\text{m}$ . Este espectro pode ser sub-dividido em três regiões espectrais, sendo: região do visível (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) correspondente ao azul (0,45  $\mu\text{m}$ ), ao verde (0,54  $\mu\text{m}$ ) e ao vermelho

(0,65  $\mu\text{m}$ ); região do infravermelho próximo (IVP, 0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ) e região do infravermelho médio (IVM, 1,3 a 2,6  $\mu\text{m}$ ).

A Figura 1 apresenta o comportamento espectral de diferentes alvos, nos comprimentos de onda compreendidos entre 0,4 a 0,9  $\mu\text{m}$  (JENSEN, 2000). Observa-se a diferença de reflectância no comportamento de alvos distintos, especialmente quando se compara a grama com os demais alvos apresentados.



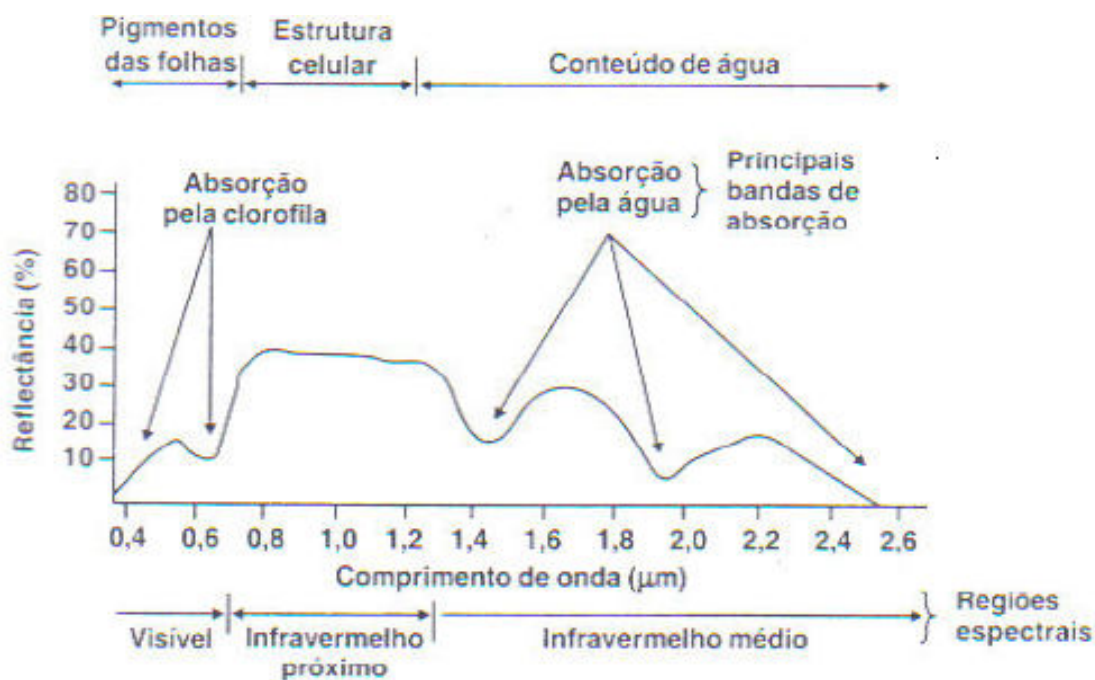
**Figura 1** – Comportamento espectral de diferentes alvos.  
Fonte: Jensen (2000).

#### 2.4.1 Comportamento espectral da vegetação

A utilização do SR no estudo da vegetação exige a necessidade de compreender os processos de interação entre a radiação eletromagnética e todas as partes que compõem uma planta e o ambiente em que ela se encontra.

A interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação depende de fatores químicos e estruturais, como os pigmentos fotossintetizantes e organização dos tecidos existentes nas folhas da vegetação. Este processo pode ser analisado por meio da absorção, transmissão e reflexão da radiação, fenômenos que compõem o comportamento espectral da vegetação, envolvendo especialmente o estudo da reflectância de dosséis vegetais (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

O comportamento espectral da vegetação pode ser caracterizado por três regiões do espectro eletromagnético: visível, IVP e IVM e pode ser analisado na Figura 2.



**Figura 2** – Comportamento espectral característico de uma folha verde.  
Fonte: adaptada de Hoffer (1978).

Na região do visível, ocorre a redução da reflectância, associada à absorção pelos pigmentos foliares, principalmente a clorofila. Na faixa do azul a absorção está relacionada à presença dos pigmentos xantofila, carotenóides e clorofila  $\alpha$  e  $\beta$  (HOFFER, 1978). Na faixa do vermelho somente a clorofila absorve a radiação e na região do verde a maioria das plantas é moderadamente transparente (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007). Em função do processo de senescência, que leva à

desidratação e a perda de pigmentos, a curva espectral da vegetação verde é gradualmente modificada (SOUSA, 2003).

Na região do IVP, o comportamento da radiação eletromagnética quanto à reflexão, transmissão e absorção é dominado pelas propriedades da vegetação (MOREIRA, 2005). Nessa faixa espectral a absorção é muito baixa, menos de 15%, e a reflectância pode chegar a até 50%, variando de acordo com a estrutura interna das folhas (TUCKER & GARRATT, 1979).

Na faixa do IVM, a reflectância da vegetação é caracterizada por decréscimo dos valores de energia refletida, devido, principalmente, à quantidade de água líquida presente na folha (MOREIRA, 2005). Nessa faixa espectral, as bandas de maior absorção de água ocorrem em 1,4  $\mu\text{m}$ ; 1,9  $\mu\text{m}$  e 2,5  $\mu\text{m}$  (HOFFER, 1978).

No que diz respeito ao comportamento espectral do dossel vegetal, os valores de reflectância dependem das características de cada espécie vegetal, além do estágio fenológico, aspectos sanitários e condições adversas do clima como secas e geadas (MOREIRA, 2000).

Ponzoni & Shimabukuro (2007) definem dossel vegetal como “um conjunto de plantas de uma mesma fisionomia distribuídas sobre a superfície terrestre.” A distribuição espacial dos componentes da vegetação, define a sua arquitetura, essa distribuição depende do tipo de vegetação existente e do estágio de desenvolvimento das plantas (PONZONI, 2001).

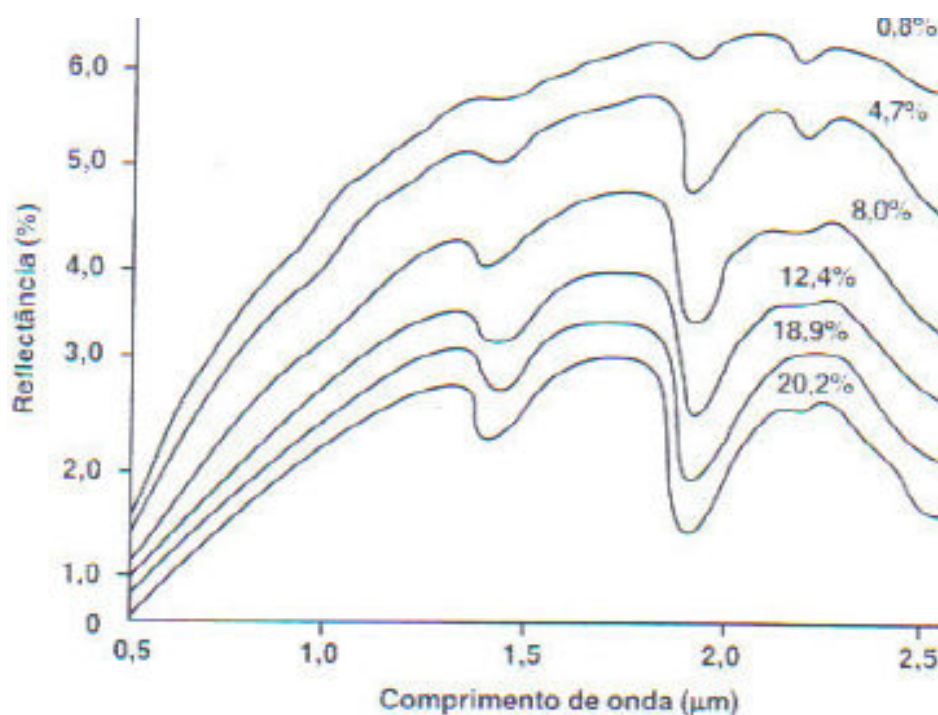
Pode-se citar como aspectos que influenciam a reflectância do dossel: suas alterações morfo-fisiológicas no dossel (NOBEL et al., 1993), o ângulo de visada e demais parâmetros geométricos que caracterizam a bidirecionalidade da radiância medida pelos sensores remotos, e as características espectrais do solo onde a vegetação se desenvolve (PONZONI, et al. 2002).

#### **2.4.2 Comportamento espectral dos solos**

O comportamento espectral dos solos é menos variável quando comparado com o da vegetação em relação aos valores de reflectância. Alguns parâmetros do solo influenciam a radiação refletida da superfície, sendo que os mais importantes são os óxidos de ferro, a umidade, a matéria orgânica, a granulometria, a mineralogia da argila, o material de origem e a temperatura (MOREIRA, 2005).

Solos úmidos, geralmente mais escuros, apresentam reflectância menor que

os secos na faixa do comprimento de onda de 0,4 a 2,6  $\mu\text{m}$ . Tal fato pode ser observado na Figura 3, onde é apresentado o comportamento espectral dos solos com relação à umidade (BOWERS & HANKS, 1965).



**Figura 3** – Curvas espectrais de solos contendo diferentes percentagens de água.  
Fonte: adaptada de Bowers & Hanks (1965).

Óxidos de ferro influenciam a cor dos solos. Na região do IVP os espectros de energia refletida são atenuados quando solos apresentam maiores teores de óxidos (MOREIRA, 2005).

A granulometria é importante fator que influencia no comportamento espectral dos solos. Por exemplo, Stoner & Baumgardner (1980) verificaram que os solos de textura arenosa aumentam a reflectância à medida que as proporções de areia fina e muito fina tornam-se maiores. Este aumento é especificamente acentuado nos comprimentos de onda na faixa espectral do IVP. Para solos de textura média a fina, a formação de agregados estáveis em água ocasiona a criação de uma superfície diferente daquela formada por grãos de solos arenosos, o que irá

resultar em menor valor de reflectância.

Com relação à matéria orgânica, deve-se levar em consideração a composição e o conteúdo da mesma, geralmente, à medida que o teor de matéria orgânica aumenta, a reflectância do solo decresce no intervalo de comprimento de onda de 0,4 a 2,5  $\mu\text{m}$  (HOFFER & JOHANNSEN, 1969).

## **2.5 Índices espectrais de vegetação**

A realização de pesquisas na década de 60 mostrou a possibilidade de utilização de sensores para o monitoramento da cobertura vegetal na superfície terrestre. Os primeiros estudos relativos à biomassa vegetal foram desenvolvidos com informações extraídas de fotografias, ou com medidas radiométricas obtidas a partir de sensores em campo ou colocados em aeronaves. A partir da década de 70, desenvolveu-se diversas pesquisas utilizando dados de sensores orbitais, essas pesquisas buscaram métodos adequados para estudar eficientemente apenas a massa vegetal, eliminando as interferências provocadas pela resposta espectral do solo e da atmosfera (MOREIRA, 2000).

Os IVs realçam a vegetação e se correlacionam com os parâmetros biofísicos como: biomassa, Índice de Área Foliar (IAF), porcentagem de cobertura vegetal, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade (EPIPHANIO, et al., 1996). Os IVs estão relacionados, dentre outros fatores, com a quantidade de folhas verdes numa determinada área, característica que foi associada à possibilidade de estudar a dinâmica da vegetação (TUCKER et al., 1985).

Um fator importante para caracterizar um IV, é que ele possa ser aplicado independentemente da situação temporal ou espacial, isto é, que não tenha a sua aplicação restrita a determinada região ou período. Um IV ideal deve ser capaz de responder a sutis variações no estado fenológico da vegetação, e não pode ser fortemente influenciado por variações nas condições e tipos de solo, na geometria de iluminação e visada e nas condições atmosféricas (JACKSON & HUETE, 1991).

Huete (1988) descreve alguns objetivos específicos dos IVs:

- Desenvolver com precisão medidas empíricas da vegetação, para descrever tanto as variações temporais quanto espaciais na composição da vegetação e sua atividade fotossintética;

- Amplificar a sensibilidade da resposta da vegetação, fornecendo dados precisos para estimativas de parâmetros biofísicos;
- Maximizar o monitoramento da cobertura da terra, em escala global com resoluções espaciais e temporais mais acuradas possíveis dentro das características do instrumento e das propriedades da superfície imageada;
- Minimizar os efeitos das nuvens, sombra das nuvens e aerossóis atmosféricos, padronizando as variáveis do sensor como ângulo solar e de visada de pixels livres de nuvens no nadir.

Na literatura, são encontrados dezenas de IVs sendo quase todos obtidos por meio de medidas da reflectância nas faixas espectrais do V e IVP do espectro eletromagnético (MOREIRA & SHIMABUKURO, 2004), como por exemplo o NDVI (“Normalized Difference Vegetation Index” – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), o SAVI (“Soil Adjusted Vegetation Index” – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e o EVI.

O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973) com o objetivo de eliminar diferenças sazonais do ângulo do sol e minimizar os efeitos da atenuação atmosférica, observados para dados multitemporais. Os valores obtidos com o NDVI são contidos em uma mesma escala entre  $-1$  e  $1$ .

Uma característica atribuída ao NDVI é a rápida saturação, o que o torna insensível ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento (MOREIRA, 2000).

Sellers (1989) comentou que a partir do IAF de três ou cinco o NDVI apresenta características de saturação, apesar de indicar uma boa sensibilidade ao desenvolvimento inicial de dosséis.

Alguns estudos têm utilizado o NDVI com o objetivo de avaliar a fenologia e para desenvolver modelos fenológicos em escalas regionais e globais (SEEN et al., 1995). Análises no padrão do NDVI para florestas temperadas (DUCHEMIN et al., 1999) e florestas boreais (ROYER et al., 1996) têm mostrado grande consistência com a resposta da vegetação à sazonalidade.

O SAVI foi proposto por Huete (1988) para minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação. Foi desenvolvido com o propósito de ser importante passo a favor do estabelecimento de modelos globais simples, que possam delinear a dinâmica dos sistemas solo-vegetação para os dados de SR. Este autor explica que foi adicionada uma constante ao NDVI, que tornou este IV menos sensível às

variações do solo.

Com o desenvolvimento do sensor MODIS, um novo IV, "Enhanced Vegetation Index" (EVI), foi proposto por Huete et al. (1997). O EVI foi desenvolvido para aperfeiçoar o sinal da vegetação verde minimizando os efeitos do solo e atmosfera. O EVI pode ser calculado pela seguinte equação (JUSTICE et al., 1998):

$$EVI = G \frac{\rho_{IVP} - \rho_{Ver}}{L + \rho_{IVP} + C_1 \rho_{Ver} - C_2 \rho_{Azul}} \quad (1)$$

em que: G = fator de ganho (2,5);  $\rho_{IVP}$  = reflectância no infravermelho próximo;  $\rho_{Ver}$  = reflectância no vermelho;  $\rho_{Azul}$  = reflectância no azul;  $C_1$  = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para o vermelho (6);  $C_2$  = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para o azul (7,5); L = fator de correção para a interferência do solo igual a 1.

O EVI tem se mostrado mais sensível às alterações na biomassa vegetal, principalmente em regiões de alta densidade de vegetação, como áreas de floresta (HUETE et al., 2002). Também de acordo com Espig et al. (2006), o EVI é mais adequado ao estudo da caatinga por minimizar os efeitos atmosféricos e de solo, representando melhor a resposta espectral da vegetação, obtendo vantagem sobre o NDVI.

## 2.6 Aplicações dos índices de vegetação

O estudo da cobertura vegetal utilizando IVs com componente temporal associado às informações espaciais e espectrais pode revelar os padrões e processos sobre o monitoramento ambiental e a dinâmica de uso do solo (BRUZZONE et al., 2003). O uso de imagens que englobam vários períodos do mesmo ano e entre anos consecutivos, já se mostrou importante em diversos estudos sobre a vegetação, porém, as técnicas utilizadas para alcançar seus objetivos variam de acordo com o autor.

A seguir serão apresentados alguns trabalhos que mostram a relevância de estudos multitemporais na análise e avaliação de cobertura vegetal, incluindo estudos da fenologia e classificação de diferentes tipos de vegetação.

Batista et al. (1993) analisaram a variação do NDVI para vários tipos de

coberturas vegetais da região Norte do Brasil, e evidenciaram a separabilidade entre os diversos tipos de vegetação usando o NDVI e a variação fenológica desta vegetação em relação as estações do ano e eventos climáticos marcantes como o fenômeno El Niño (1982-83). Como alguns resultados, observaram que o NDVI para as amostras no cerrado, mostrou que o mesmo foi sempre distinto do tipo de vegetação denominado floresta densa submontana. Esta diferenciação foi evidente no período de seca, especialmente no mês de setembro. Para as amostras de caatinga houve uma grande variação nos valores do NDVI ao longo do ano, apresentando os menores valores médios durante a estação seca.

Ferreira et al. (2005) analisaram a sazonalidade do bioma cerrado pelo NDVI e EVI do sensor MODIS. Comparando os IVs, observou-se que o EVI apresentou um melhor desempenho para a discriminação sazonal da cobertura vegetal.

Lacruz et al. (2005) realizaram o monitoramento das mudanças em um corredor ecológico do bioma amazônia no Estado do Pará, no período de jan/2001 a dez/2003, por meio de imagens EVI do sensor MODIS com resolução espacial de 250 m. Por análise harmônica, caracterizaram o comportamento de diferentes tipologias de uso e cobertura da terra. As imagens EVI/MODIS se mostraram apropriadas para este tipo de estudo, principalmente quando se requer trabalhar com extensas regiões.

Liesenbergl et al. (2006) avaliaram a dinâmica da vegetação do bioma cerrado, no Estado de Minas Gerais, através dos IVs NDVI e EVI, observou-se que as fitofisionomias do bioma em análise mostraram perfis de IVs com maiores valores ocorrendo na estação chuvosa e menores na estação seca.

## **2.7 Sensor MODIS**

O sensor MODIS está a bordo dos satélites Terra e Aqua, lançados pela NASA (Agência Nacional Aeroespacial Norteamericana) em 18 de dezembro de 1999 e 04 de maio de 2002, respectivamente. Estes satélites fazem parte do projeto EOS (“Earth Observing System” – Sistema de Observação da Terra), formado por diversos países que constituem uma série de plataformas para o monitoramento terrestre em várias áreas de conhecimento, em diferentes escalas (RIZZI, 2004).

A bordo do satélite TERRA estão os sensores MODIS; ASTER (“Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer”); CERES (“Clouds and

the Earth's Radiant Energy System"); MISR ("Multiangle Imaging Spectroradiometer") e MOPITT ("Measurements of Pollution in the Troposphere").

Os dados do sensor MODIS para estudos temporais possuem características apropriadas. Em função da larga faixa imageada em cada período orbital do satélite (2.330 km), o MODIS observa diariamente quase toda a superfície terrestre, permitindo a geração de imagens livres de cobertura de nuvens por meio da composição de várias imagens obtidas no período de 16 dias (RIZZI, 2004). As principais características do sensor MODIS podem ser observadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Principais características do sensor MODIS / satélite Terra  
Fonte: adaptado de Justice et al. (2002)

Órbita do satélite Terra	705 km, síncrona com o sol, polar; 10:30h descendente; 13:30h ascendente.
Cobertura de repetição do satélite Terra	Diária, a Norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°
Cobertura dos imageamentos do sensor MODIS	± 55°; 2.330 km ("scans" contínuos no nadir no equador)
Alcance espectral do sensor MODIS	0.4 – 14.4 μm
Cobertura espectral do sensor MODIS	Aproximadamente 55°, 2330 km em fileira ("scans" contínuos em nadir no equador)
Resolução espacial do sensor MODIS	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir

Na Tabela 2 observa-se que o sensor MODIS possui 36 bandas que estão localizadas em função dos comprimentos de onda específicos. Este sensor possui resolução espacial de 250 m x 250 m nas duas primeiras bandas (V e IVP), 500 m x 500 m nas bandas 3 a 7 e 1.000 m x 1.000 m nas demais 29 bandas.

**Tabela 2** – Especificações das bandas do sensor MODIS  
 Fonte: Adaptada de Lillesand & Kiefer (1994)

<b>Uso Primário</b>	<b>Banda</b>	<b>Largura de Banda (nm)</b>	<b>Resolução Espacial</b>
Superfície terrestre/nuvem	1	620-670	250
	2	841-875	250
Propriedades da superfície/nuvem	3	459-479	500
	4	545-565	500
	5	1230-1250	500
	6	1628-1652	500
	7	2105-2155	500
Cor dos oceanos/fitoplâncton/ biogeoquímica	8	405-420	1000
	9	438-448	1000
	10	483-493	1000
	11	526-536	1000
	12	546-556	1000
	13	662-672	1000
	14	673-683	1000
	15	743-753	1000
	16	862-877	1000
Vapor d'água atmosférico	17	890-920	1000
	18	931-941	1000
	19	915-965	1000
Temperatura Nuvens/superfície	20	3660-3840	1000
	21	3929-3989	1000
	22	3929-3989	1000
Temperatura atmosférica	23	4020-4080	1000
	24	4433-4498	1000
Vapor d'água	25	4482-4549	1000
	27	6535-6895	1000
	28	7175-7475	1000
Ozônio	29	8400-8700	1000
	30	9580-9880	1000
Temperatura nuvens/superfície	31	10780-11280	1000
	32	11770-12270	1000
Altitude Topo de nuvem	33	13185-13485	1000
	34	13485-13785	1000
	35	13785-14085	1000
	36	14085-14385	1000

### 2.7.1 Produtos do sensor MODIS

O objetivo dos produtos gerados pelo sensor MODIS é direcionado para a quantificação e a detecção de mudanças da cobertura do solo, e para os processos naturais e antrópicos (STRAHLER et al., 1999).

O sensor MODIS possui diversos produtos, com diferentes objetivos de aplicação. A Tabela 3 apresenta os produtos voltados para os estudos da superfície terrestre.

**Tabela 3** – Produtos do sensor MODIS voltados para a superfície terrestre

Fonte: adaptado de Justice et al. (2002)

<b>PRODUTOS RELACIONADOS AO BALANÇO ENERGÉTICO</b>	<b>APLICAÇÃO</b>
MOD 09	Reflectância de superfície
MOD 11	Temperatura da superfície da terra e emissividade
MOD 43	Albedo
MOD 10 e 29	Cobertura de neve e extensão de gelo na superfície do mar
<b>PRODUTOS RELACIONADOS À VEGETAÇÃO</b>	<b>APLICAÇÃO</b>
MOD 13	Índices de vegetação (NDVI e EVI)
MOD 15	Índice de área foliar e radiação fotossinteticamente ativa
MOD 17	Fotossíntese líquida e produtividade primária
<b>PRODUTOS RELACIONADOS À COBERTURA TERRESTRE</b>	<b>APLICAÇÃO</b>
MOD 12	Cobertura da terra e mudança na cobertura da terra
MOD 14	Anomalias termais, fogo e queima de biomassa
MOD 44	Conversão da cobertura vegetal

Os produtos do sensor MODIS são armazenados em formato HDF (“Hierarchy Data Format”), que permite implementação transparente de acesso aos dados, através de um conjunto de ferramentas específicas (LATORRE et al., 2003).

### **2.7.1.1 Produto MOD13**

O produto MOD13 apresenta-se consistente para análises temporais das condições da vegetação, devida sua resolução temporal, podendo ser utilizado para monitorar a atividade fotossintética da vegetação e interpretações da fenologia (ANDERSON, 2005).

Este produto possui dois IVs, o NDVI e o EVI. Uma particularidade do NDVI é o fato deste ser mais sensível à clorofila, enquanto o EVI é mais sensível a variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o IAF, a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel sendo que ambos são produzidos globalmente com resolução espacial de 250 m, 500 m e 1000 m (ROSENDO, 2005). Além dos IVs, o produto MOD13 é composto pelas imagens de reflectância do azul, V, IVP, IVM e dados de qualidade (QA) das composições.

Rosendo (2005) explica que a escala dos produtos é definida por siglas, que indicam suas respectivas resoluções espaciais, como por exemplo: MOD13A1 (resolução espacial de 500 m); MOD13A2 (resolução espacial de 1000 m); MOD13C2 (resolução espacial de 25 km). Neste trabalho foi utilizado o produto MOD13Q1, que indica que os produtos possuem resolução espacial de 250 m, o “Q” refere-se a “Quarter Km”, ou seja, quarta parte do quilômetro, sendo considerado produto com alta resolução espacial.

Os dois IVs do produto MOD13 se complementam em estudos da vegetação e fornecem informações consistentes sobre detecção de mudanças vegetais e parâmetros biofísicos do dossel.

## **2.8 Programa CBERS**

O programa CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) é um projeto conjunto entre o Brasil, por meio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a China, por meio da Agência Chinesa de Ciência e Tecnologia (CAST), envolvendo a construção, o lançamento e o gerenciamento operacional de

satélites de SR. Este programa contemplou, inicialmente, apenas dois satélites de SR, CBERS-1 e 2, que são idênticos em sua constituição técnica, missão (coleta de dados ambientais) e em suas cargas úteis como equipamentos a bordo, câmaras, sensores e computadores, entre outros equipamentos voltados para experimentos científicos. Em 19 de setembro de 2007, foi lançado o CBERS-2B. Uma melhoria significativa é a instalação de um receptor de GPS (“Global Positioning System” – Sistema de Posicionamento Global). Esse sistema é complementado por um conjunto de propulsores à hidrazina que também auxilia nas eventuais manobras de correção da órbita nominal do satélite (CBERS/INPE, 2007).

O CBERS-2 está à altitude de 778 km, em órbita circular, com cruzamento no equador no sentido Norte-Sul às 10:30 da manhã. Nesta configuração orbital obtêm imagens aproximadamente com a mesma escala e recobre quase que inteiramente a terra a intervalos regulares de 26 dias (EPIPHANIO, 2002).

O satélite CBERS-2 possui três sensores: WFI (Câmera de Amplo Campo de Visada), CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução) e IRMSS (Imageador por Varredura de Média Resolução); com alto potencial de atender a múltiplos requisitos de aplicações (CBERS/INPE, 2007).

O sensor CCD possui resolução espacial de 20 m em quatro bandas espectrais mais uma pancromática, podendo ser utilizado para observação de fenômenos ou objetos cujo detalhamento seja considerado importante. Por possuir campo de visada de 120 km, auxilia nos estudos municipais ou regionais. Suas bandas estão situadas na faixa espectral do visível e do IVP, o que permite bons contrastes entre vegetação e outros tipos de objetos (CBERS/INPE, 2007).

A Tabela 4 apresenta as características e os constituintes da câmera CCD do CBERS-2, que cobre as faixas espectrais do visível se estendendo até o IVP. Com essas características é possível atender à grande parcela da demanda por dados de SR, permitindo o suporte na análise dos dados MODIS.

**Tabela 4** – Sensor CCD do CBERS-2

Fonte: adaptado de CBERS/INPE (2007)

<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Bandas espectrais	0,51 - 0,73 $\mu\text{m}$ (pancromático) 0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$ (azul) 0,52 - 0,59 $\mu\text{m}$ (verde) 0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ (vermelho) 0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$ (infravermelho próximo)
Resolução espacial no terreno	20 m x 20 m
Resolução temporal	26 dias no nadir; até 3 dias com visada lateral
Faixa de imageamento	113 km

O catálogo para verificação de cobertura de imageamento e qualidade de imagens pode ser acessado a partir da internet no endereço eletrônico: <<http://www.dgi.inpe.br/index.html>>, onde as imagens podem ser obtidas gratuitamente.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

A área de estudo abrange a região Nordeste do Brasil, localizada, aproximadamente, na faixa tropical entre 1°S a 18°S e 35°W a 47°W, com dimensão territorial de aproximadamente 1.550.000 km<sup>2</sup> (IBGE, 2004a), abrangendo nove Estados, sendo eles: AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, SE e RN. Nesta região podem ser encontrados os biomas: amazônia, caatinga, cerrado e mata atlântica.

##### **3.1.1 Clima do Nordeste do Brasil**

De acordo com a classificação de Köppen, o clima do NEB é classificado como Bshw (quente e semi-árido, com chuvas de verão) e Bshw' (quente semi-árido com chuvas de verão/outono), havendo a influência da massa equatorial continental, da massa equatorial atlântica e da massa tropical atlântica, portanto, todo esse sistema tem influência no ambiente (FERNANDES, 2003).

O regime pluviométrico do NEB está condicionado ao movimento para o sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que caracteriza-se por apresentar baixa pressão atmosférica, provocando a convecção do ar quente e úmido, favorecendo a formação de nuvens cumuliformes e conseqüentemente, grandes precipitações convectivas. A estação chuvosa nordestina ocorre, em sua maior parte, de janeiro a abril durante o movimento extremo para o sul da ZCIT, deixando o NEB nos meses seguintes sob o domínio do centro de ação do Atlântico (alta pressão), representado pela massa equatorial atlântica (NIMER, 1972).

Vários autores classificam o NEB como região semi-árida, embora existam sub-regiões costeiras onde a precipitação média anual é superior a 2.000 mm. Devido à localização no extremo leste da América do Sul, na faixa tropical, o NEB está submetido à influência de vários sistemas atmosféricos, os quais, interagindo

entre si, conferem-lhe características climáticas peculiares (BARBOSA, 1999).

No NEB, a precipitação média anual varia de 400 a 650 mm. Existem áreas com diferentes microclimas, como no município de Areia, PB, onde a precipitação média anual é superior a 1.300 mm e a estação chuvosa estende-se de janeiro a setembro (SILVA et al., 2004).

As chuvas esparsas que chegam ao litoral nordestino, são originadas por correntes perturbadoras do sul, que são representadas por invasões de frentes polares, que dificilmente conseguem ultrapassar o Trópico de Capricórnio na primavera e no verão. Fato contrário ocorre no inverno, quando a frente polar ultrapassa, com mais frequência, àquele paralelo, alcançando o litoral de PE, enquanto o sertão continua sob a ação da alta tropical com o tempo estável e sem chuvas (SILVA, 1987).

A região onde encontra-se o bioma caatinga caracteriza-se por apresentar forte irregularidade climática, apresentando os valores meteorológicos mais extremos do país: a mais forte insolação, a mais baixa nebulosidade, as mais altas médias térmicas e, sobretudo, os mais baixos valores pluviométricos, em torno de 500 a 700 mm anuais, com grande variabilidade espacial e temporal (OLIVEIRA, et al., 2006).

Em chapadas altas ocorrem três regimes climáticos relativamente semelhantes: o primeiro, com maior predominância, ocorre no oeste da BA, com precipitação média anual superior a 1000 mm e estação chuvosa de outubro a abril (SILVA et al., 2004).

Na depressão sertaneja o clima é quente, semi-árido e apresenta duas estações chuvosas distintas: o primeiro, em maior proporção, ocorre na região mais seca (sertão), com estação chuvosa de outubro a abril; e o segundo ocorre na região de clima mais ameno (agreste), com estação chuvosa de janeiro a junho. De modo geral, a precipitação média anual de toda a área é de 500 a 800 mm (SILVA et al., 2004).

Em áreas próximas ao litoral, no Estado da BA o clima é quente e chuvoso, ocorrendo no mês mais seco, precipitação média mensal superior a 600 mm e média anual em torno de 1.500 mm. Na região da zona da mata, a estação chuvosa ocorre de janeiro a setembro com média anual em torno de 1.200 mm (SILVA et al., 2004).

Com relação à temperatura, o NEB apresenta certa homogeneidade espacial e pouca variação anual. No litoral nordestino a temperatura média anual está em

torno dos 24°C. A mínima média do mês mais frio é de 26°C do RN a SE e de 22°C na BA. A média das máximas absoluta fica entre 36°C e 38°C (SILVA, 1987).

### **3.1.2 Caracterização do solo e relevo**

As ecorregiões das grandes unidades de paisagem, conforme estabelece o zoneamento agroecológico do NEB (SILVA et al., 1994), são: Chapadas Altas; Chapada Diamantina; Planalto da Borborema; Superfícies Retrabalhadas; Depressão Sertaneja; Superfícies Dissecadas dos Vales do Gurguéia, Parnaíba, Itapecuru e Tocantins; Bacias Sedimentares; Superfícies Cársticas; Áreas de Dunas Continentais; Maciços e Serras Baixas. Segue abaixo a caracterização do relevo segundo estudo realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (SILVA et al., 2004).

Chapadas Altas – com altitude superior a 800 m, formadas por platôs altos e extensos. Extensão no extremo oeste do Estado da BA e na região de Pirapora, MG, com solos profundos e pobres cobertos por vegetação de cerrado.

Chapada Diamantina – forma um conjunto contínuo de extensos platôs, com altitudes variando de 600 a 1300 m. Ocupa uma faixa de orientação norte-sul, indo do centro da BA até o norte de MG. O relevo é geralmente acidentado, porém com grandes superfícies planas de altitude. Os solos são profundos e muito pobres nos topos dos platôs, e bastante rasos e pedregosos nas áreas de relevo acidentado.

Planalto da Borborema – formado por maciços e outeiros altos, com altitude variando de 650 a 1000 m. Ocupa uma área que se estende do sul de AL até o RN. O relevo apresenta-se geralmente com vales profundos e estreitos. Os solos são pouco profundos e de fertilidade variada.

Superfícies Retrabalhadas – formado por áreas que tem sofrido retrabalhamento intenso, com relevo bastante dissecado e vales profundos. Tem grande extensão na BA, acompanhando a encosta oriental da chapada diamantina, com altitude variando de 300 metros, próximo ao litoral, até 1000 m, na região de Brumado. Os solos são geralmente férteis nas encostas e pobres nos topos.

Depressão Sertaneja – paisagem típica do semi-árido nordestino, caracterizada por uma superfície com relevo predominantemente suave ondulado, e cortado por vales estreitos com vertentes dissecadas. Em função da baixa pluviosidade, a vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila nas áreas menos secas, e a caatinga hiperxerófila nas áreas de seca mais acentuada.

Essa grande unidade de paisagem ocupa significativa parte do Estado do CE e grandes trechos nos Estados da PB, PE e RN. No Estado da BA, chega até Feira de Santana e, a leste, ocupa toda a calha do rio São Francisco, até a região de Pirapora, MG. Na região de Petrolina, PE, margem esquerda do Rio São Francisco, há predominância de solos mais profundos de fertilidade natural baixa e também com vegetação de caatinga hiperxerófila.

Bacias Sedimentares – ocupa uma faixa de orientação sul-norte, de Salvador até a calha do Rio São Francisco, tomando o rumo nordeste já em PE, além de pequenas áreas nos Estados do CE e SE.

Superfícies Cársticas – formado por uma grande faixa descontínua, relacionada à ocorrência de calcários, que recorta o NEB desde Natal, RN até Pirapora, MG, constituindo-se ora em áreas de chapadas e chapadões, ora em relevo mais acidentado. Os solos nessas áreas são de alta fertilidade natural.

Áreas de dunas continentais – extensas formações de depósitos eólicos, cuja altura pode ultrapassar os 100 m. Os solos, bastante arenosos, têm fertilidade natural muito baixa.

Maçios e Serras Baixas – com altitude entre 300 e 800 m, essa unidade ocupa área expressiva nos Estados do CE, PB, PE, e RN. Caracterizam-se por relevo pouco acidentado, com solos de alta fertilidade. A vegetação, muito degradada, é variada, podendo ser de florestas ou de caatingas.

### **3.2 Base cartográfica**

Para a definição e caracterização dos biomas estudados neste trabalho, a base cartográfica utilizada foi:

- a) Um mapa de biomas do Brasil, na escala de 1:5.000.000 (IBGE, 2004b);
- b) Um mapa de vegetação do Brasil, na escala de 1:5.000.000 (IBGE, 2004c).

### **3.3 Imagens**

Para a avaliação temporal das diferentes fisionomias dos biomas estudados, foram utilizados:

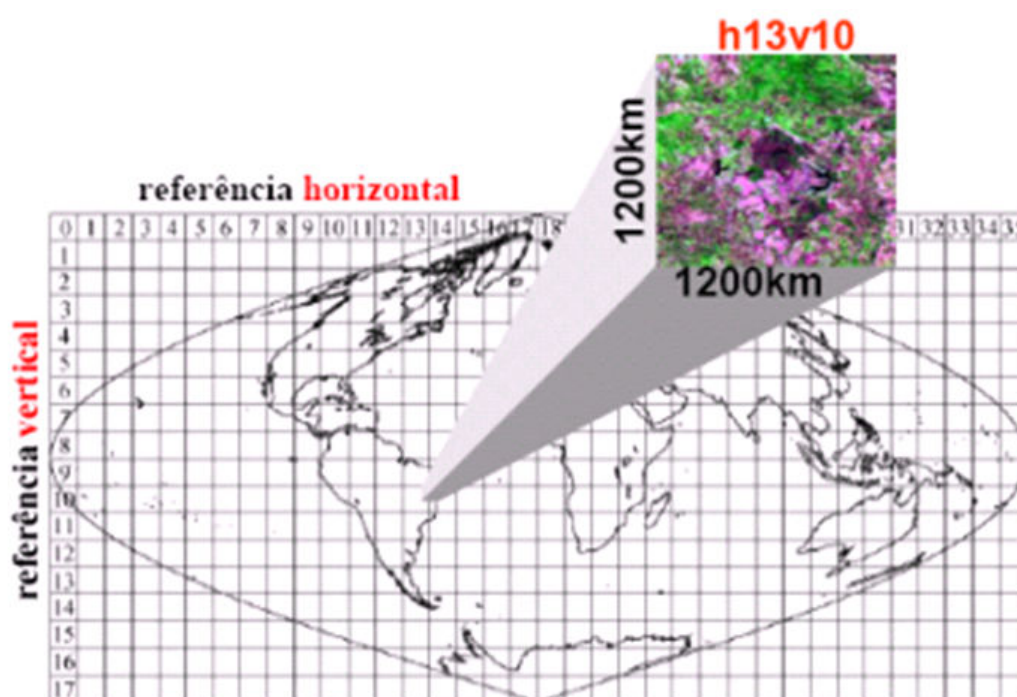
- a) Um conjunto de 144 imagens EVI com resolução espacial de 250 m, resolução temporal de 16 dias e resolução radiométrica de 16 bits, no período de

fevereiro de 2000 a julho de 2006, derivadas do sensor MODIS/Terra, produto MOD13Q1, obtidas gratuitamente via internet, através do endereço eletrônico: <<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>>. As imagens EVI do MODIS são adquiridas na extensão HDF, na projeção sinusoidal.

Para se compor a cena do NEB são necessários quatro blocos (“tiles”) do mesmo período com referenciamento baseado em planos horizontais e verticais conforme apresenta a Figura 4. Cada bloco corresponde a uma área de 1.200 km x 1.200 km. Os blocos necessários para abranger a região do NEB são: H13V09, H13V10, H14V09, H14V10.

Para a realização do mosaico das imagens MODIS foi utilizado o software MRT (desenvolvido pelo “EROS Data Center” e “Land Distributed Active Archive Center” para projetar e mosaicar os dados MODIS), com definição do modelo da terra WGS84. A reamostragem foi realizada utilizando o método do vizinho mais próximo e foi adotado o sistema de coordenadas geodésicas.

O programa Convgeotiff (ARAI, 2003), desenvolvido pelo INPE, foi utilizado para realizar a conversão das imagens de 16 bits para 8 bits. Este programa restaura o valor de reflectância de cada pixel convertendo-o para níveis digitais (DUARTE, et al., 2007).

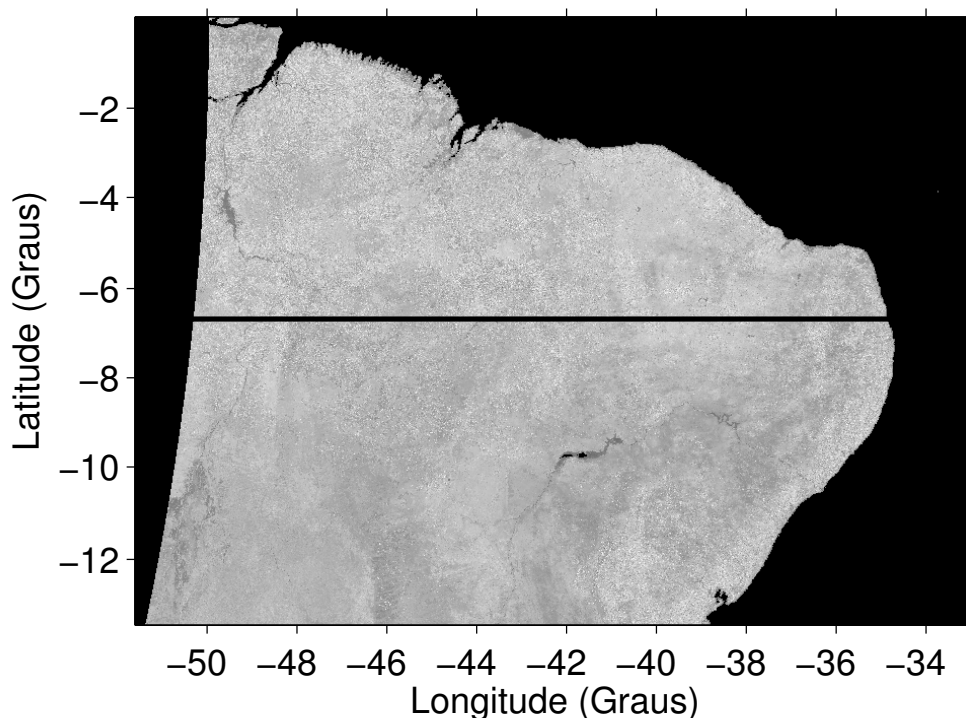


**Figura 4** – Sistema de referência do produto MODIS.  
Fonte: Ferreira et al., 2003.

b) Um conjunto de quatro imagens do satélite CBERS-2/CCD da região do NEB adquiridas gratuitamente na página do INPE, no endereço eletrônico: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>>. Estas imagens foram utilizadas como auxílio na coleta de dados deste estudo e foram escolhidas de acordo com a presença dos principais biomas do NEB (Tabela 5). O georreferenciamento destas imagens foi realizado com a adoção de uma base única de referência, imagem Zulu obtida no endereço eletrônico: <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>>.

### 3.4 Análise de EVI versus biomas e tipos de vegetação

Para a realização da primeira análise, a latitude  $-6^{\circ}41'24''$  ( $-6,69^{\circ}$ ) foi tomada como referência. Esta latitude foi escolhida por conter, ao longo das longitudes os principais biomas do NEB. A Figura 5 mostra o transecto da latitude  $-6,69^{\circ}$ , onde foram identificados os principais biomas e tipos de vegetação do NEB à partir dos respectivos mapas do IBGE (2004 b, c).



**Figura 5** – Representação do transecto da latitude  $-6,69^{\circ}$ .

Com a finalidade de diminuir o ruído nos dados originais de EVI, foram aplicados às imagens dois filtros em seqüência, sendo um filtro espacial e o outro espaço-temporal. O filtro espacial foi aplicado para todas as 144 imagens temporais EVI, sendo do tipo mediana com janela de 7x7, ou seja, o valor retornado para determinado “pixel” central foi a mediana dos 49 (7x7) níveis digitais desta janela. Este filtro tem a capacidade de reduzir os ruídos e preservar as bordas.

Após a filtragem espacial das imagens, gerou-se uma imagem temporal sob o trasecto na latitude -6,69° em cada linha de dados EVI das 144 imagens. As linhas foram agrupadas uma acima da outra, formando uma imagem temporal para esta latitude, logo, cada linha desta imagem representa os dados de EVI de uma determinada data e, as colunas, as diferentes longitudes. Nesta imagem temporal foi aplicado outro filtro, também de mediana, com janela de 5x5.

A escolha desses filtros foi realizada a partir de testes de tamanhos de janelas e tipos de filtros. Foi possível observar que esta seqüência de filtros e tamanhos de janelas foram os que apresentaram melhores resultados, depois de vários testes realizados.

### **3.4.1 Tipos de vegetação na latitude -6,69°**

A partir dos dados EVI referentes à latitude -6,69°, foram analisados os principais tipos de vegetação inseridos nos biomas estudados. Essa análise foi realizada tendo como base o mapa de vegetação do IBGE (2004c), que representa a provável reconstituição dos tipos de vegetação do território brasileiro. A Tabela 5 mostra os principais biomas e tipos de vegetação na latitude -6,69° e respectivas longitudes, que serão analisados nesta etapa do trabalho.

**Tabela 5** – Principais biomas e tipos de vegetação encontrados na latitude de referência e respectivas longitudes

BIOMA	VEGETAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE APROXIMADA	TIPOS DE REMANESCENTES
Mata Atlântica	Floresta ombrófila Densa (D) e floresta ombrófila aberta (A)	-6,69º	-34º56' a -36º00'	Vegetação secundária e atividade agrária
Caatinga	Savana estépica (T)	-6,69º	-36º00' a -40º05'	Atividades agrárias Parque Florestada Arborizada
Contato entre diferentes tipos de vegetação	Áreas de tensão ecológica (ATE)	-6,69º	40º05' a -41º40'	Savana/Savana Estépica Savana Estépica/Floresta Estacional
Cerrado	Savana (S)	-6,69º	-41º40' a -44º42'	Florestada (Cerradão) Atividades agrárias Arborizada (Campo cerrado)
Amazônia	Floresta ombrófila densa (D)	-6,69º	-44º42' a -50º05'	Florestada Arborizada

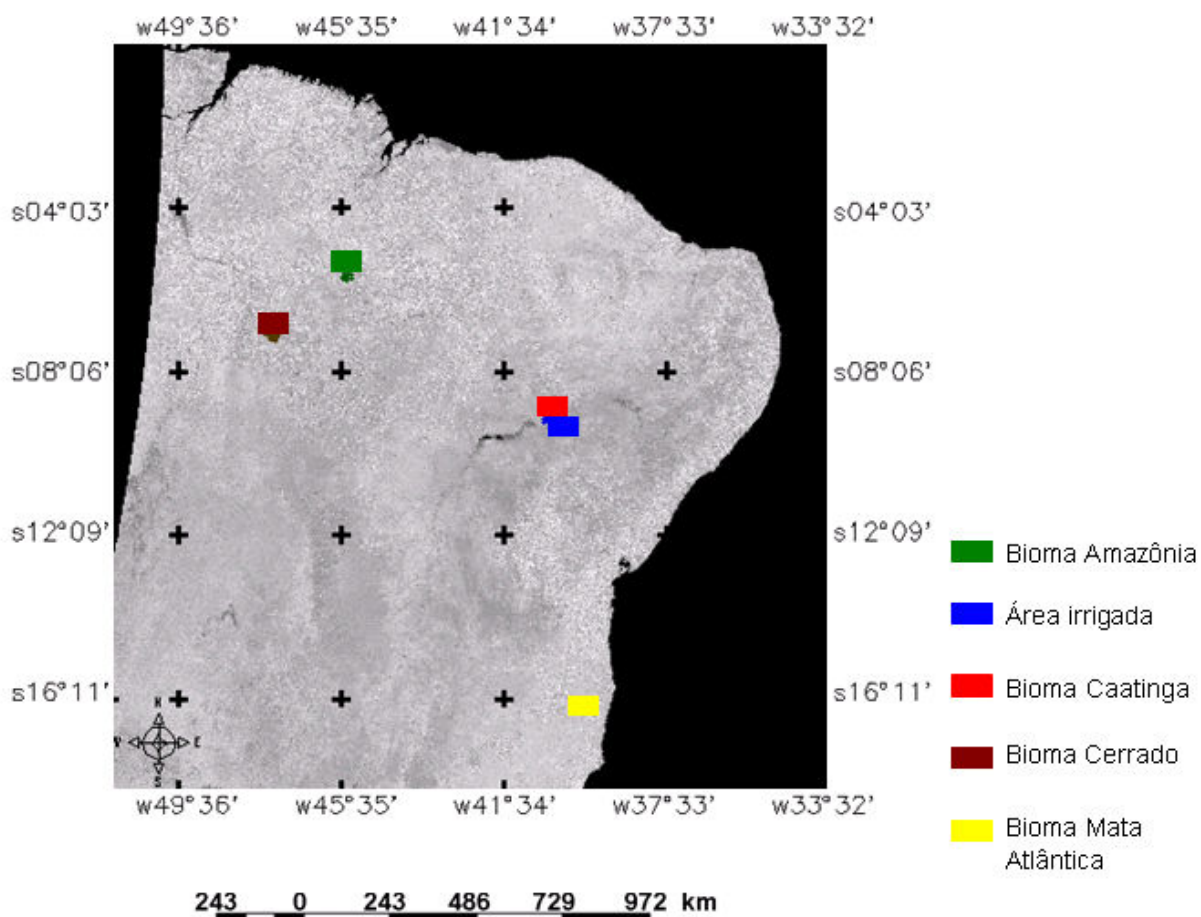
### 3.5 Análise de dados EVI dos biomas relacionados à precipitação

Nesta análise buscou-se avaliar os principais biomas do NEB através de dados EVI relacionados aos valores de precipitação adquiridos por cada estação meteorológica de interesse.

Com relação às imagens EVI do sensor MODIS, para esta análise, foram coletados dados temporais de EVI e para cada amostra originada no banco de dados através do SPRING, foi aplicado um filtro de mediana três, trabalhando-se apenas com a média dos dados para a elaboração dos gráficos apresentando os resultados. Também foi realizada uma avaliação gráfica dos pontos amostrais, para

possíveis substituições de dados discrepantes.

A Figura 6 apresenta uma imagem EVI do sensor MODIS com a localização exata dos pontos amostrais representando os biomas analisados na área de estudo.



**Figura 6** – Imagem do sensor MODIS com localização dos pontos amostrais para os principais biomas do NEB.

Esta análise não foi realizada para todo o NEB devido à falta de dados da precipitação nas localidades onde encontram-se os principais biomas estudados.

Foram marcadas 30 amostras referentes a cada categoria estudada, esta metodologia foi aplicada em uma área do município de Petrolina (PE), representando o bioma caatinga; uma área do município de Guaratinga (BA), representando o bioma mata atlântica; uma área da região de Barra do Corda (MA)

representando o bioma amazônia; e o bioma cerrado foi representado por uma área do município de Carolina (MA). Também foram utilizados dados de área irrigada localizada próxima ao bioma caatinga, devido a grande ocorrência da agricultura na região e ao provável contraste de valores de EVI com relação a este bioma.

A Tabela 6 mostra as informações das imagens do sensor CCD, referentes às amostras nos principais biomas do NEB.

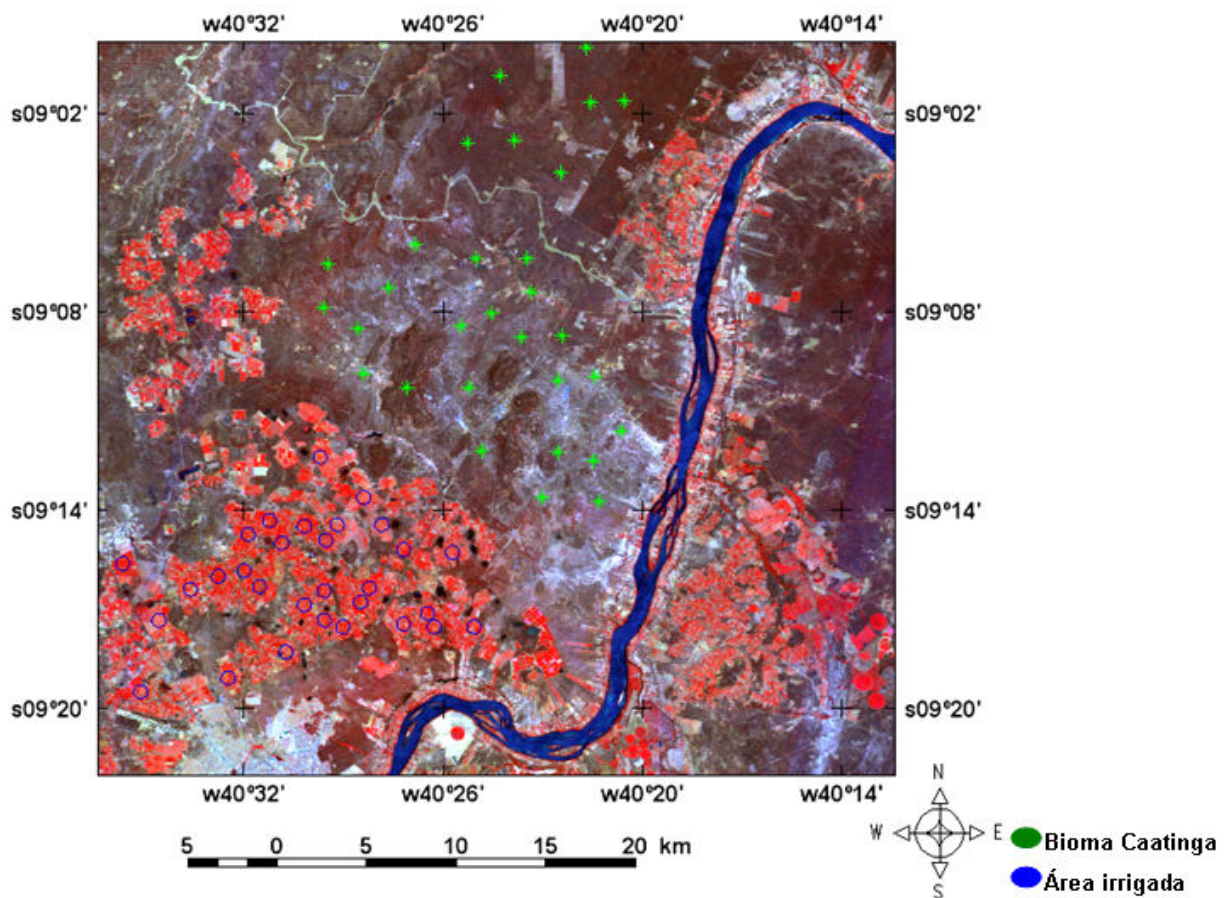
**Tabela 6** – Informações das imagens do sensor CCD, para os principais biomas do NEB

<b>Bioma</b>	<b>Localidade</b>	<b>Lat/Long</b>	<b>Data</b>	<b>Órbita</b>	<b>Ponto</b>
Amazônia	Barra do Corda, MA	lat. -5°03'; long. -46°30'.	17/07/2005	158	105
Caatinga	Petrolina, PE	lat. -9°32'; long. -40°43'.	17/11/2004 e 07/01/2006	151	110
Cerrado	Carolina, MA	lat. -7°27'; long. -47°27'.	05/08/2006	159	108
Mata Atlântica	Guaratinga, BA	lat. -16°41'; long. -39°29'.	18/07/2005	148	118

Como gerenciador do banco de dados, foi utilizado o SPRING na versão 4.3. desenvolvido pelo INPE/DPI (Divisão de Processamento de Imagens), que é um Sistema de Informações Geográficas (SIG), com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica do terreno e consulta a bancos de dados espaciais (CÂMARA, et al. s.d.).

Os valores de EVI obtidos por meio das imagens foram manipulados no Microsoft Excel.

A Figura 7 exemplifica a distribuição das amostras em uma imagem de uma área de Petrolina (PE) representando o bioma caatinga e área irrigada.



**Figura 7** – Imagem CBERS referente a região de Petrolina, PE.

### 3.5.1 Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados foram gerados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que possui um sistema com informações referentes aos dados meteorológicos diários, enviados em um arquivo texto e um cd-rom constando: denominação da estação, localização por meio das coordenadas e os valores diários para o período solicitado.

Neste trabalho foram utilizados dados de dez estações meteorológicas, no período de 2000 a 2006, sendo que quatro delas referem-se aos municípios representantes dos biomas estudados, apresentadas na Tabela 7, e as demais referem-se aos municípios vizinhos que foram utilizadas para preenchimento de falhas e correção de erros das estações principais. As falhas e erros foram visualizados após análise das estações principais, realizando as correções por meio

de média ponderada.

Os valores de precipitação foram coletados nas estações meteorológicas mais próximas dos pontos de EVI de cada bioma. Para a avaliação da existência da relação entre EVI e precipitação utilizou-se análise de regressão.

**Tabela 7** – Estações meteorológicas do INMET utilizadas para obtenção dos valores de precipitação

<b>Bioma</b>	<b>Localidade</b>	<b>Denominação da estação</b>	<b>Localização / Coordenadas</b>
Amazônia	Barra do Corda, MA	82571	lat. -5°30' long. -45°14'
Caatinga	Petrolina, PE	A307	lat. -9°23' long. -40°29'
Cerrado	Carolina, MA	82765	lat. -7°20' long. -47°28'
Mata Atlântica	Guaratinga, BA	83446	lat. -16°44' long. -39°33'

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados da análise do EVI *versus* biomas e tipos de vegetação e EVI destes biomas e tipos de vegetação relacionados com a precipitação.

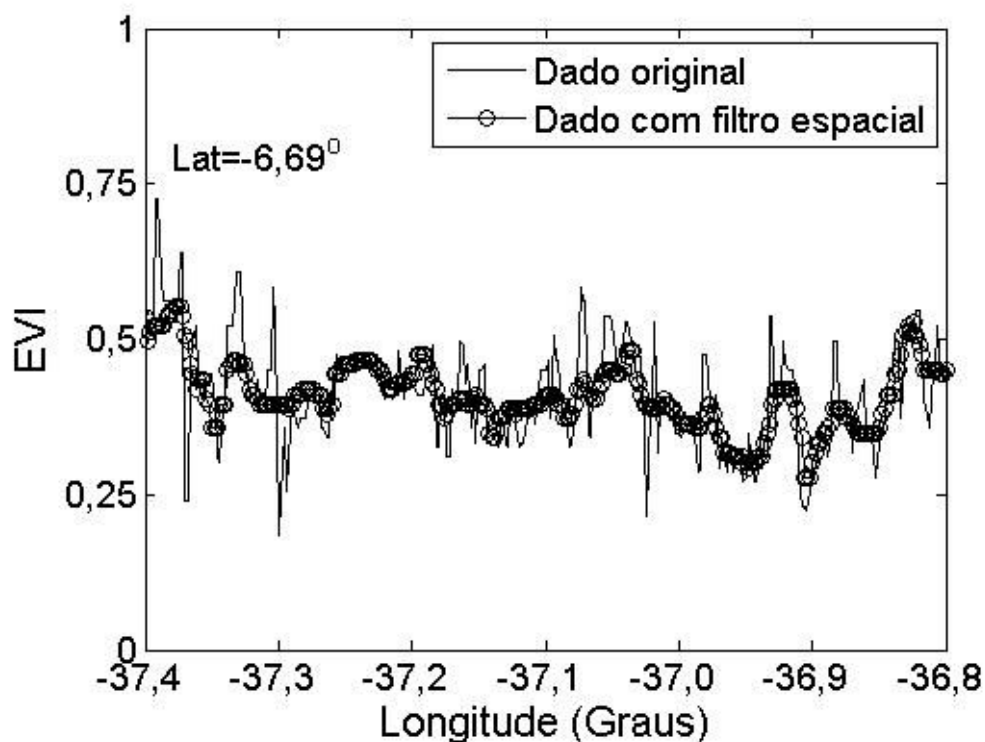
### **4.1 Análise do EVI nos principais biomas do NEB**

Nesta primeira etapa serão apresentados os resultados dos filtros aplicados nas imagens e a análise da variação temporal do EVI e alguns tipos de vegetação inseridos nos biomas encontrados na latitude  $-6,69^{\circ}$  e respectivas longitudes.

#### **4.1.1 Avaliação dos filtros aplicados**

Na Figura 8 é apresentado um exemplo do comportamento espacial do EVI referente ao transecto sob latitude  $-6,69^{\circ}$  e longitudes de  $-36^{\circ}$  a  $-37^{\circ}$  dos dados originais *versus* o resultado após a aplicação do primeiro filtro, mediana de janela  $7 \times 7$ , que foi aplicado em todas as 144 imagens. Neste caso, este transecto está inserido no Estado da PB, tendo como bioma predominante a caatinga.

Pode-se observar (Figura 8) que o padrão geral do comportamento do EVI ao longo deste transecto dos dados originais foi semelhante ao comportamento dos dados filtrados, com uma redução das variações abruptas dos dados originais.

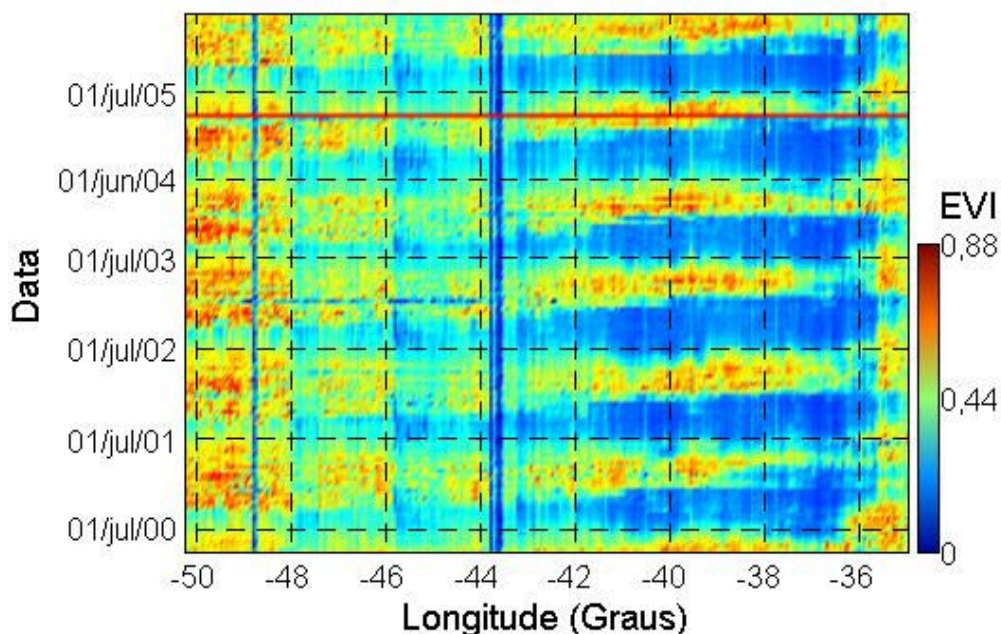


**Figura 8** – Transecto dos dados EVI originais e o resultado após aplicação do filtro espacial de mediana 7x7.

A Figura 9 apresenta a imagem do agrupamento dos transectos sob latitude  $-6,69^\circ$  de todas as 144 imagens após a filtragem espacial. Nesta figura, o eixo “y” corresponde às datas e o eixo “x” às longitudes.

Observa-se a presença de ruídos nas linhas que apresentam maiores valores de EVI localizadas próximas a data 01/jul/2005, este resultado foi um dos que motivou a realização da aplicação do outro filtro, mediana de janela 5x5.

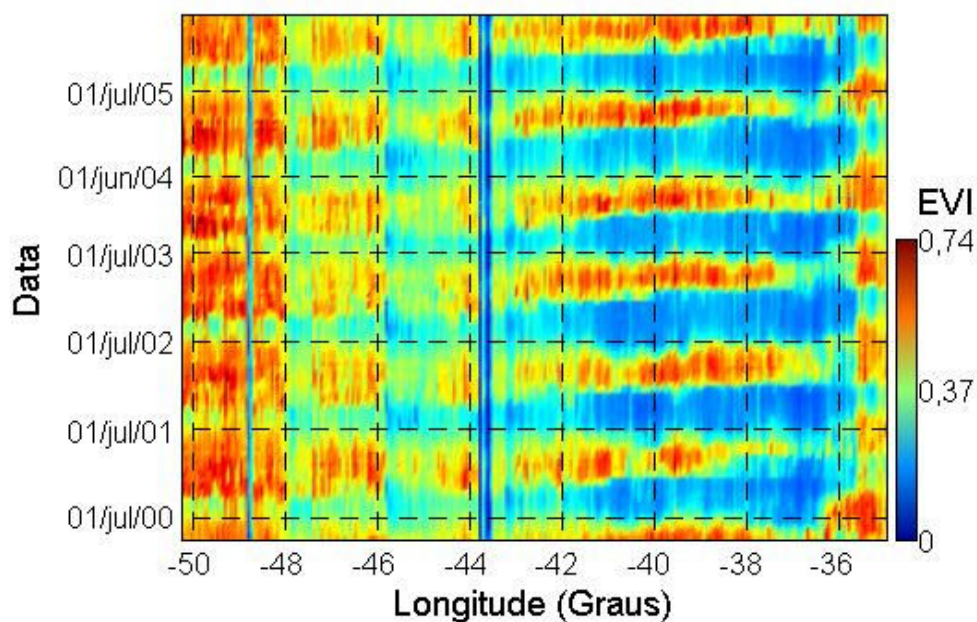
O resultado após a aplicação do segundo filtro é mostrado na Figura 10, onde é possível observar uma imagem mais suavizada. O valor máximo de EVI foi menor que o anterior, 0,74 contra 0,88, respectivamente. As linhas que anteriormente apresentavam ruídos foram eliminadas.



**Figura 9** – Imagem temporal após o agrupamento das imagens EVI nas diferentes datas no transecto da latitude  $-6,69^\circ$ .

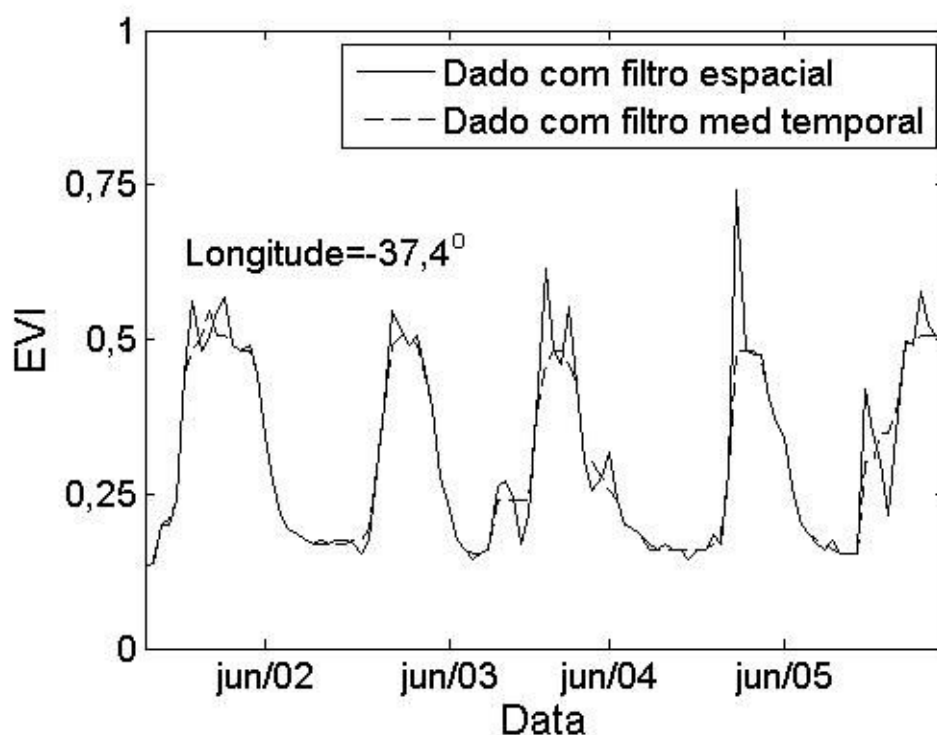
Na Figura 10, observa-se o comportamento espaço-temporal do EVI em regiões de diferentes biomas, como por exemplo, o bioma caatinga (aproximadamente na longitude de  $-36^\circ$  a  $-37^\circ$ ) e o bioma amazônia (aproximadamente na longitude de  $-48^\circ$  a  $-50^\circ$ ) que apresentam maior contraste no comportamento do EVI, sendo que a caatinga apresenta menores valores de EVI associados a longos períodos de seca, já no bioma amazônia observam-se maiores valores de EVI com ausência de seca prolongada. Com relação à comparação dos biomas mata atlântica e amazônia, observa-se que houve pouca diferença nos maiores e menores valores do EVI, pelo fato de ambas não apresentarem longos períodos de seca, fato evidente nos biomas caatinga e cerrado.

Nas longitudes aproximadas de  $-43^\circ 50'$ , Estado do Piauí e  $-48^\circ 50'$ , estado do Tocantins (Figura 10), observa-se que os valores de EVI são nulos, devido, em ambos os casos, à existência de cursos d'água.



**Figura 10** – Imagem temporal após o agrupamento das imagens EVI nas diferentes datas no transecto da latitude  $-6,69^\circ$  após a execução do filtro mediana  $5 \times 5$ .

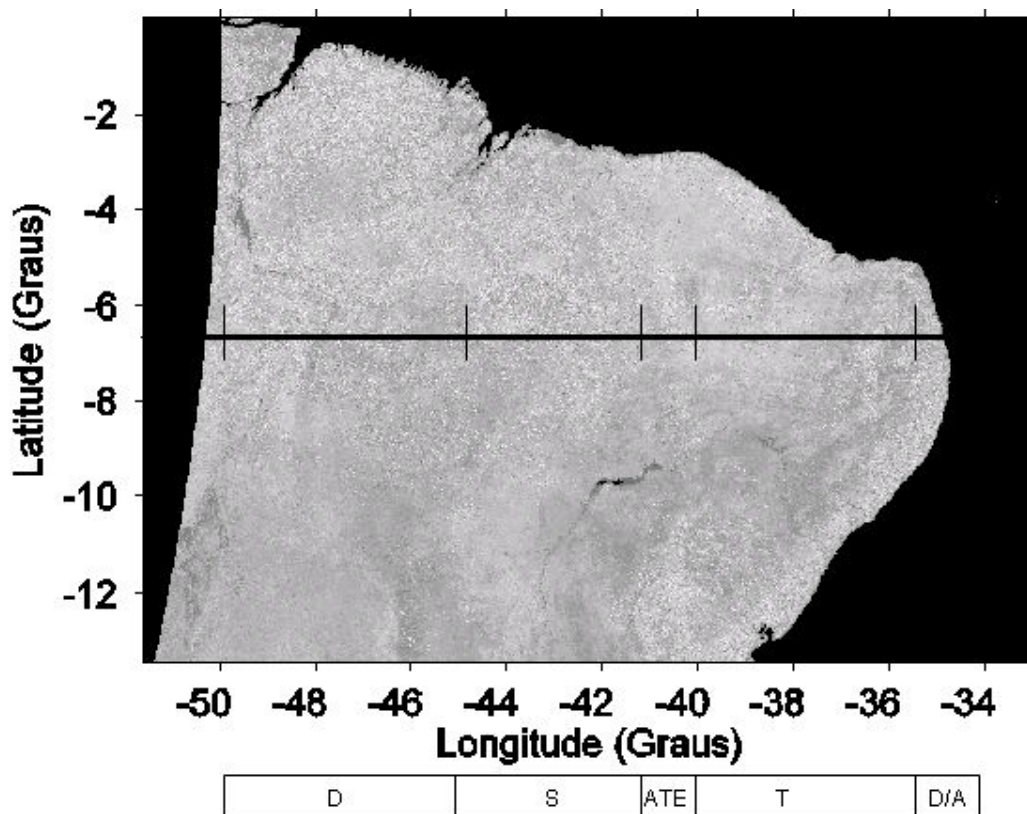
A Figura 11 apresenta um transecto temporal com dados EVI originais e com os dois filtros aplicados nas imagens para a latitude  $-6,69^\circ$  e longitude  $-37,4^\circ$ , referente ao bioma caatinga. Pode-se observar que não houve mudança no comportamento geral da variação temporal do EVI, contudo os dados abruptos foram suavizados.



**Figura 11** – Comportamento temporal do EVI na latitude  $-6,69^{\circ}$  e longitude  $-37,4^{\circ}$  após a segunda filtragem.

#### 4.1.2 Tipos de vegetação nos principais biomas do NEB na latitude $-6,69^{\circ}$

A Figura 12 apresenta a distribuição dos tipos de vegetação sob latitude  $-6,69^{\circ}$  e respectivas longitudes. Nesta latitude encontram-se: o bioma mata atlântica ocorrendo principalmente a floresta ombrófila densa (D) e a floresta ombrófila aberta (A), com vegetação secundária e atividades agrárias; o bioma caatinga onde ocorre a savana estépica (T), apresentando vegetação florestada, arborizada e atividades agrárias; as áreas de tensão ecológica (ATE) com ocorrência de áreas agrícolas e contato entre savana/savana estépica, savana/floresta estacional, savana estépica/floresta estacional; o bioma cerrado onde ocorre a savana (S), com atividades agrárias, vegetação florestada e arborizada; e o bioma amazônia com vegetação do tipo floresta ombrófila densa (D), ocorrendo vegetação florestada e arborizada (IBGE, 2004c).



**Figura 12** – Distribuição dos principais tipos de vegetação encontrados na latitude  $6,69^\circ$  e longitudes de  $-34^\circ$  a  $-50^\circ$ .

#### 4.1.3 EVI temporal *versus* principais biomas do NEB

Para uma análise mais detalhada do comportamento temporal do EVI nos principais biomas do NEB, foram selecionadas dentro do transecto, amostras para representar o comportamento temporal desses biomas, tendo escolhido área sob bioma mata atlântica na longitude  $-35^\circ 29'$ , Paraíba; bioma caatinga na longitude  $-36^\circ 39'$ , Paraíba; bioma cerrado na longitude  $-41^\circ 47'$ , Piauí; e, bioma amazônia na longitude  $-46^\circ 59'$ , Maranhão.

A análise do EVI temporal nos diferentes biomas encontrados na latitude  $-6,69^\circ$  e longitudes correspondentes, permitiu a observação do comportamento das fitofisionomias inseridas nestes biomas.

A Figura 13 apresenta o comportamento do EVI temporal nos principais biomas, sendo que para todos existe um comportamento sazonal típico da fenologia correspondente.

Dentre os biomas estudados, a região representada pelo bioma caatinga foi a

que apresentou maior coeficiente de variação (c.v.) do EVI, ao longo do tempo (c.v. = 53%) e menor coeficiente de variação foi observado para as regiões representadas pelos biomas amazônia e Mata atlântica (c.v. = 16%), sendo que o bioma cerrado apresentou c.v. = 22%.

A comparação do EVI temporal dos biomas amazônia e mata atlântica é apresentada na Figura 13a, onde podem ser observados os maiores valores de EVI em ambos os biomas.

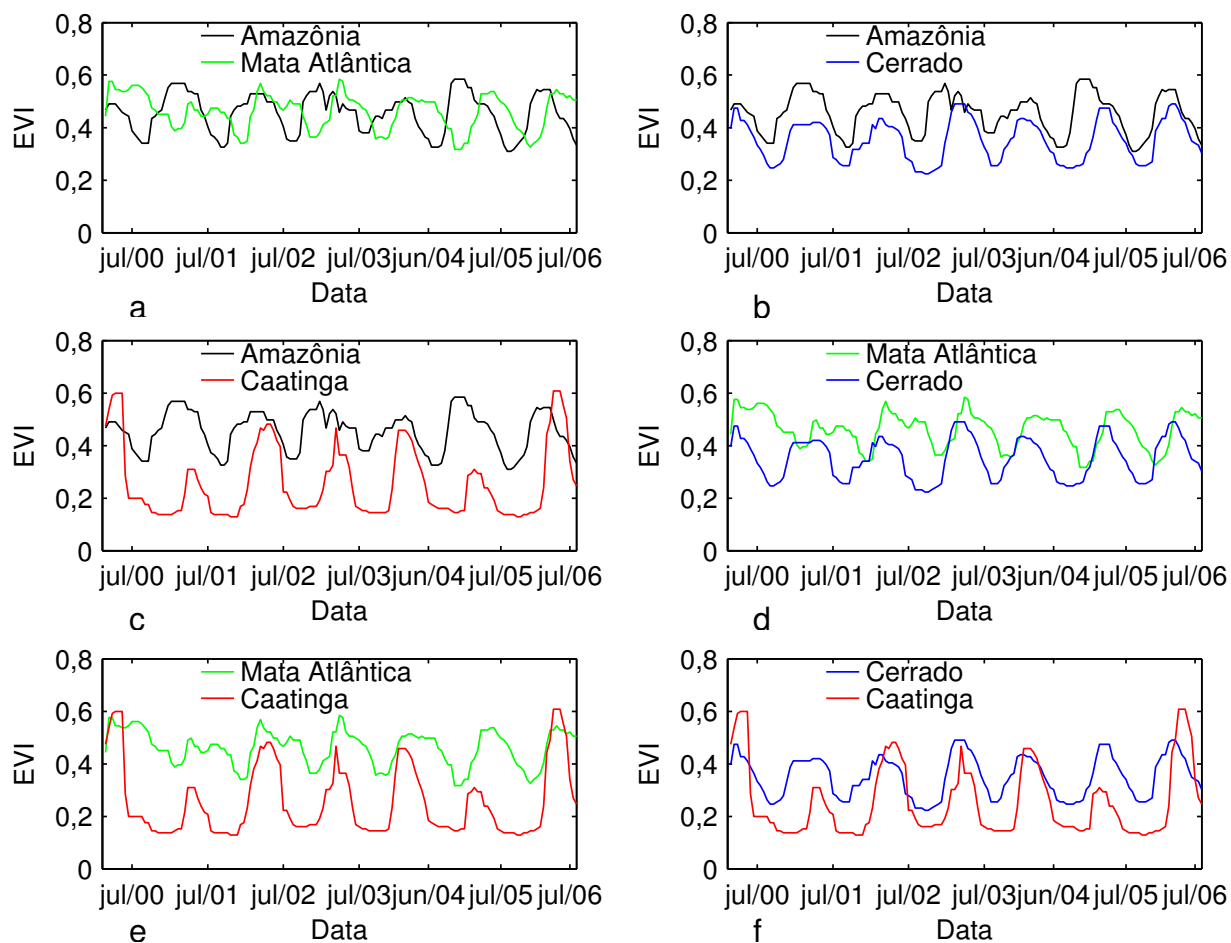
A Figura 13b apresenta o comportamento do EVI temporal dos biomas amazônia e cerrado, neste caso, observa-se uma considerável variação sazonal do bioma cerrado em relação ao bioma amazônia, assim como menores valores de EVI, isto ocorre devido a fenologia de suas espécies apresentarem-se semicaducifólias, ou seja, perdem parte de suas folhas verdes nos períodos de seca no NEB.

A Figura 13c apresenta comportamento do EVI temporal para os biomas amazônia e caatinga. Observa-se, visualmente, que o bioma caatinga foi o que mais se diferenciou no comportamento do EVI, apresentando os menores valores. Observa-se também que a vegetação deste bioma é visivelmente dividida em duas fases anuais, a primeira em que a vegetação se encontra com maior quantidade de biomassa foliar, sendo associada à ausência das secas, e, na segunda fase observa-se um declínio da biomassa foliar, período associado ao déficit hídrico na época das secas.

A Figura 13d apresenta o comportamento do EVI temporal nos biomas mata atlântica e cerrado, onde pode ser observada uma semelhança do padrão sazonal dos biomas, porém, o bioma cerrado apresentou menores valores de EVI.

O comportamento do EVI temporal nos biomas mata atlântica e caatinga é apresentado na Figura 13e, observa-se que os valores de EVI para o bioma mata atlântica são, na maioria das vezes, maiores do que os valores de EVI para o bioma caatinga, fato que deve-se à fenologia de ambos os biomas.

A mesma semelhança de sazonalidade pode ser observada na Figura 13f que apresenta o comportamento do EVI temporal nos biomas cerrado e caatinga.



**Figura 13** – Comportamento do EVI na latitude  $-6,69^{\circ}$  correspondente aos principais biomas do NEB.

#### 4.2 Relação da dinâmica sazonal do EVI com a precipitação

Em pesquisas realizadas para a observação da fisionomia da vegetação, têm-se observado a importância da precipitação quando se utiliza dados de SR, visto a forte influência da variabilidade climática nos diferentes biomas (BARBOSA, 1999).

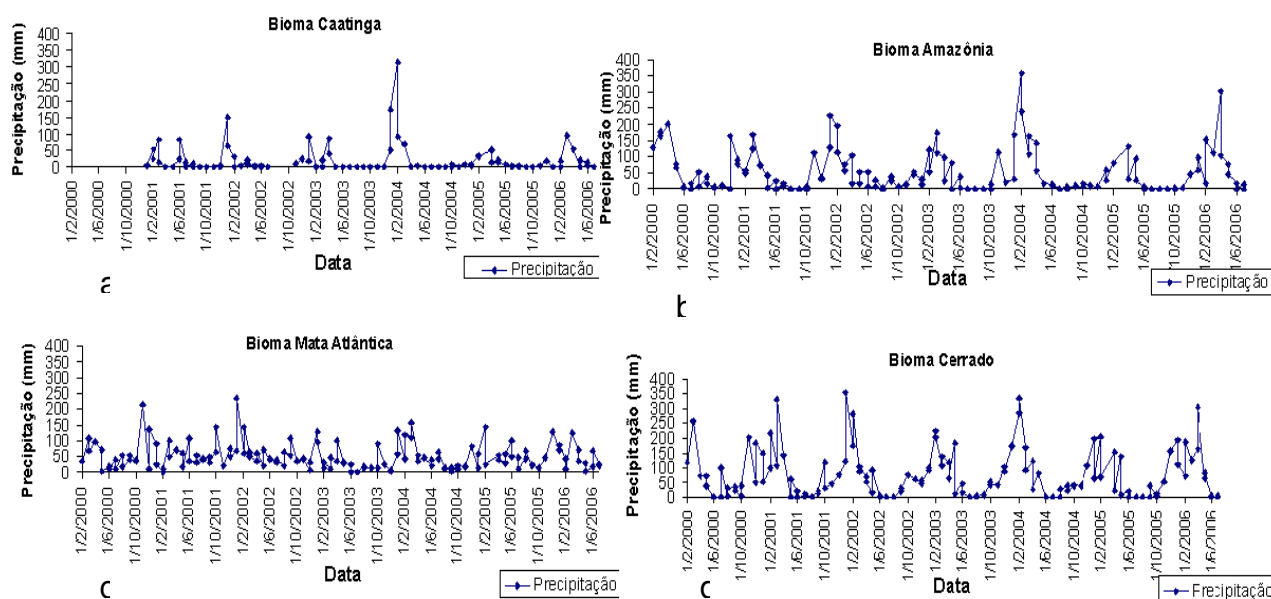
A partir dos dados de precipitação coletados no período de 2000 a 2006, observou-se que os maiores valores, considerando o período de 16 dias, concentram-se nos meses de novembro a abril (Figura 14), para a maior parte do NEB, e para os demais meses do ano, os valores de precipitação foram próximos de 0 mm.

Na região de Petrolina (PE), onde está inserido o bioma caatinga, os dados de precipitação (Figura 14a) foram coletados a partir da estação meteorológica (A307) localizada no município de Petrolina, PE (latitude  $-9^{\circ}30'$  e longitude  $-45^{\circ}14'$ ). Esta região foi a que apresentou maior período de seca prolongada e a estação chuvosa restringiu-se aos meses de novembro a abril. Considerando a ausência de dados para o ano de 2000 e alguns meses do ano de 2002, a máxima precipitação acumulada, observando o período de 16 dias, foi registrada na primeira quinzena do mês de janeiro de 2004 com 384 mm. Este bioma foi o que apresentou a menor média de precipitação, entre os biomas estudados, de 19 mm e maior coeficiente de variação (c.v. = 220%) quando comparado com os demais biomas, fato explicado pela instabilidade da precipitação nesta região.

Para a região onde estudou-se o bioma amazônia (Figura 14b), os dados de precipitação foram obtidos a partir da estação do INMET no município Barra do Corda, MA (estação 82571, latitude  $-5^{\circ}30'$  e longitude  $-45^{\circ}14'$ ). O período que apresentou maior ocorrência de chuva foi de novembro a julho não havendo período de seca tão prolongada conforme observado no bioma caatinga. No período estudado, a máxima precipitação acumulada em 16 dias ocorreu em fevereiro de 2004 com 358 mm, apresentando a maior média entre os biomas estudados, de 52 mm e c.v.=126%. A região onde estudou-se o bioma amazônia, apresenta um período mais estável da precipitação.

Para a análise do bioma mata atlântica (Figura 14c), os dados de precipitação foram coletados a partir da estação do INMET localizada no município de Guaratinga, BA (estação 83446, latitude  $-16^{\circ}44'$  e longitude  $-39^{\circ}33'$ ). A precipitação para este bioma, observando o período de 16 dias, apresentou menores valores, quando comparada, por exemplo, com a precipitação do bioma amazônia, porém, são observadas raras ocorrências prolongadas de valores próximos a 0 mm de precipitação. No período estudado a máxima precipitação acumulada ocorreu na primeira quinzena do mês de janeiro de 2002 com 236 mm, apresentando uma média de 50 mm e o menor c.v.=83% entre os biomas estudados.

A Figura 14d apresenta a distribuição da precipitação para a região de Carolina, MA representando o bioma cerrado, dados obtidos a partir da estação do INMET em Carolina (estação 82765 latitude  $-7^{\circ}44'$  e longitude  $-47^{\circ}28'$ ), onde é observada a ausência de seca prolongada e maiores valores de precipitação quando comparado com o bioma caatinga, por exemplo. Para este bioma, a máxima



**Figura 14** – Distribuição da precipitação para os principais biomas do NEB.

#### 4.2.1 Bioma caatinga e área irrigada *versus* precipitação

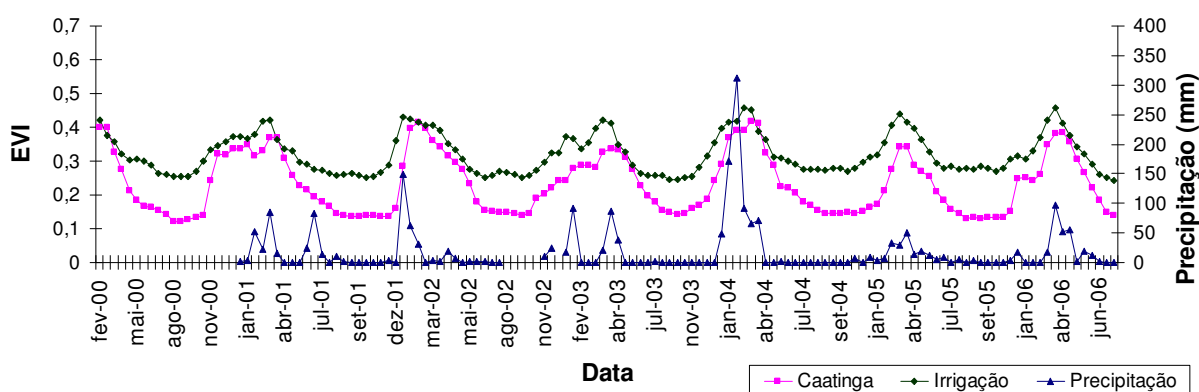
A Figura 15 apresenta a evolução temporal do EVI para a região de Petrolina (PE) representando uma amostra do bioma caatinga e área irrigada juntamente com os valores de precipitação. A distância entre a estação meteorológica e os pontos coletados para esta região é de aproximadamente 32 km. Observa-se uma semelhança na sazonalidade da amostra do bioma caatinga e área irrigada, que acompanham os valores de precipitação com crescimento dos valores de EVI na estação chuvosa e queda no período das secas. No bioma caatinga os valores de EVI são, com raras exceções, inferiores, devido o comportamento fenológico deste bioma, cujas espécies perdem as folhas no período das secas e, na área irrigada, como consequência do manejo de irrigação, os valores de EVI são geralmente maiores.

Na região que representa o bioma caatinga, os maiores valores de EVI foram registrados no período de outubro a maio e, no período de junho a setembro os menores valores, sendo que apresentaram nível superior a 0,4 somente em sete períodos da estação chuvosa, sendo, fev/00, mar/00, jan/02, fev/02, fev/04, mar/04 e

abr/06. O valor máximo do EVI para o bioma caatinga foi de 0,42, ocorrido em março de 2004, enquanto o mínimo foi de 0,12 em agosto de 2000. O valor máximo de EVI para a área irrigada chegou a 0,46 em abril de 2006 e o mínimo de 0,24 em julho de 2006.

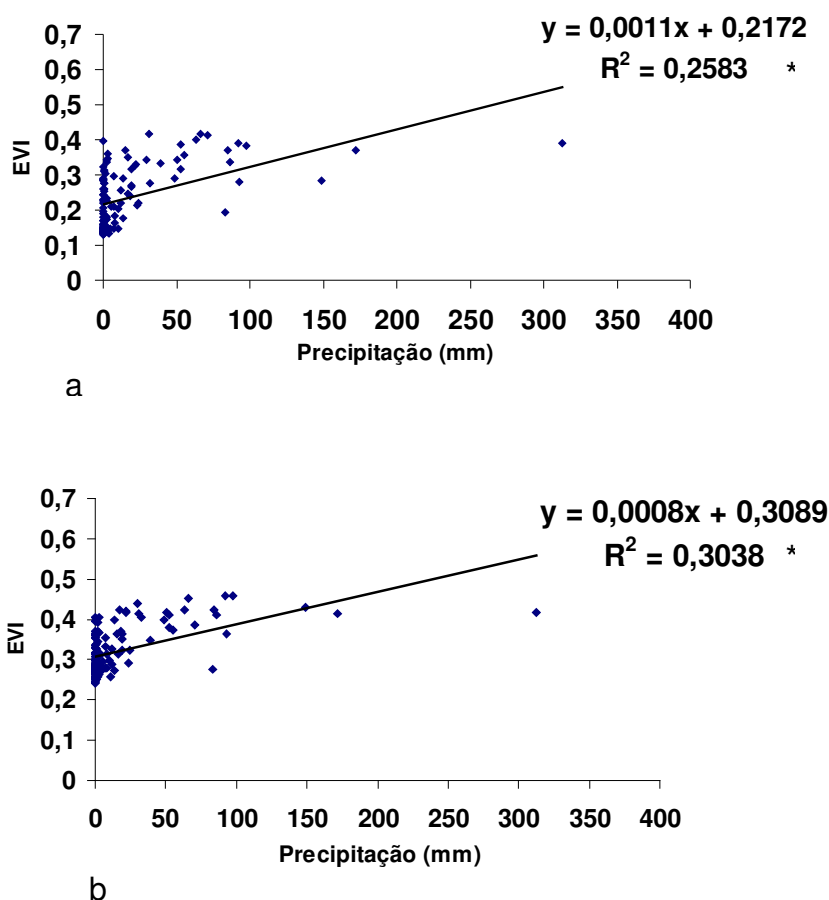
A região representada pelo bioma caatinga apresentou maior coeficiente de variação (38%), com relação ao EVI, quando comparado com a área irrigada (18%).

Resultados similares foram encontrados por Espig et al. (2006), usando imagens EVI e NDVI em seis áreas da região semi-árida do Brasil com existência do bioma caatinga, nos anos de 2003 e 2004. Observando a variação sazonal dessas áreas relataram que os valores mais elevados de EVI e NDVI ocorreram nos meses de maiores valores de precipitação.



**Figura 15** – Dados multitemporais de EVI para a região representada pelo bioma caatinga e área irrigada juntamente com valores de precipitação.

A Figura 16 apresenta a relação entre EVI e precipitação da região que representa o bioma caatinga e área irrigada, estabelecida pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que foi significativo a 5% de probabilidade. Observou-se que a região representada pelo bioma caatinga apresentou menor  $R^2$  (0,26, Figura 16a) e a área irrigada apresentou um  $R^2$  superior (0,30, Figura 16b), este resultado poderia ser explicado por meio de uma análise mais aprofundada do tipo de área irrigada nesta região.

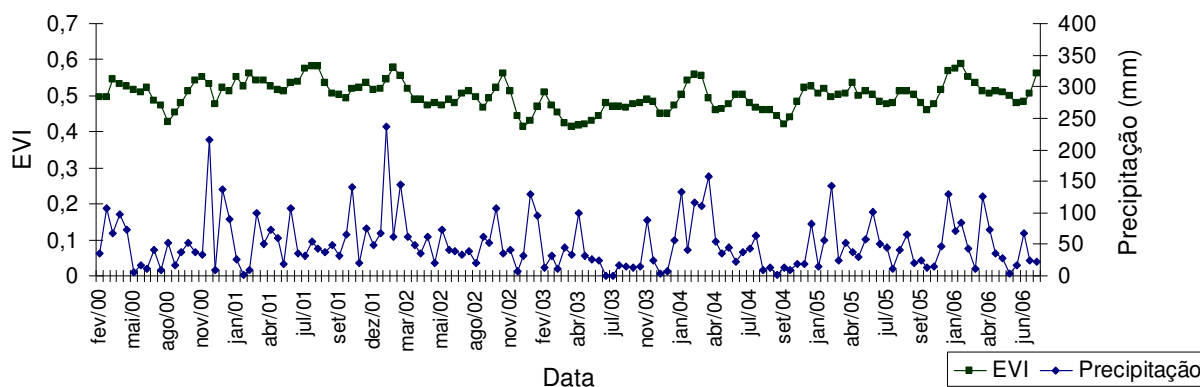


**Figura 16** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido pela correlação entre o EVI da região representada pelo bioma caatinga (a) e área irrigada (b) com a precipitação.

#### 4.2.2 Bioma mata atlântica *versus* precipitação

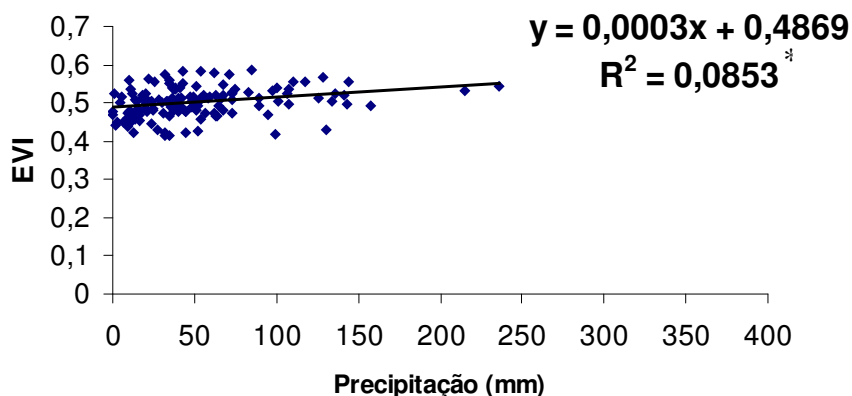
A Figura 17 apresenta a evolução temporal do EVI para a região de Guaratinga (BA), representando o bioma mata atlântica juntamente com os valores de precipitação. A distância aproximada da estação meteorológica e dos pontos coletados para esta região é de aproximadamente 52 km. A partir do período estudado observou-se que os maiores valores de EVI ocorreram no período de novembro a abril, sendo que o valor máximo, 0,59, ocorreu em janeiro de 2006, enquanto o mínimo foi de 0,42 em agosto de 2000. Dentre os biomas estudados, este foi o que apresentou menor coeficiente de variação (8%), devido ao período de seca na região mostrar-se praticamente ausente.

\* Significativo a 5% de probabilidade.



**Figura 17** – Dados multitemporais de EVI para a região representada pelo bioma mata atlântica juntamente com valores de precipitação.

A Figura 18 apresenta a relação entre EVI e precipitação da região que representa o bioma mata atlântica, estabelecida pelo  $R^2$ . Observou-se que esta região foi a que apresentou o menor  $R^2$  que foi significativo a 5% de probabilidade. Observou-se que, dentre as regiões estudadas, esta foi a região que apresentou o menor coeficiente (0,08, Figura 18), que apesar de ter sido muito baixo foi significativo a 5% de probabilidade. Este resultado é explicado pela maior estabilidade nos valores de precipitação nesta região e conseqüentemente, pouca variabilidade nos valores de EVI deste bioma.



**Figura 18** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido pela correlação entre o EVI da região representada pelo bioma mata atlântica e a precipitação.

\* Significativo a 5% de probabilidade.

### 4.2.3 Bioma amazônia *versus* precipitação

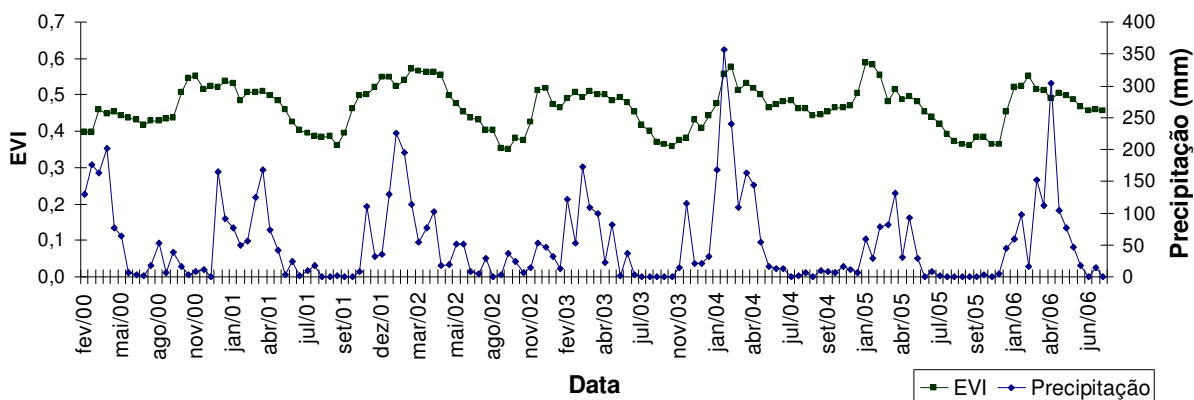
Conforme já observado, o NEB é quase totalmente coberto pelo bioma caatinga, porém, também é representado por outros biomas que possuem vegetação com maior quantidade de folhas verdes durante o ano, como o bioma amazônia que no NEB pode ser representado por algumas regiões do Estado do MA (IBGE, 2004b).

A Figura 19 apresenta a evolução temporal do EVI para uma área da região de Barra do Corda (MA), representando o bioma amazônia, juntamente com os valores de precipitação. A distância aproximada entre a estação meteorológica e os pontos coletados para esta região é de aproximadamente 55 km.

Os maiores valores de EVI foram observados, na maioria das vezes, no período de outubro a maio, com máximo registrado foi de 0,58, em janeiro de 2005, e com mínimo de 0,34 em setembro de 2002. Neste bioma, observa-se menor período da estação seca prolongada, quando comparado com o bioma caatinga (Figura 15), resultado da existência de folhas verdes durante todo o período estudado. As pequenas variações do EVI ocorrem lentamente, acompanhando o acréscimo ou decréscimo dos valores de precipitação. Este bioma apresentou o segundo menor coeficiente de variação entre os biomas estudados (12%).

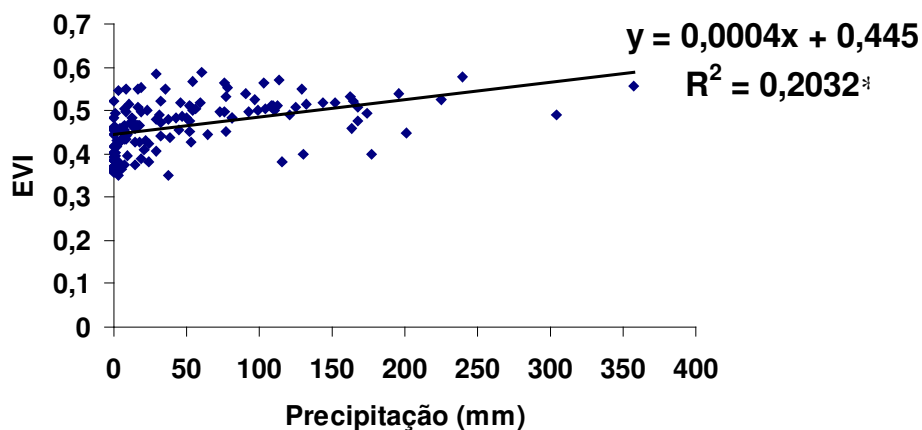
Tal resultado está de acordo com Nunes et al. (2007), que realizaram a comparação da variação sazonal do nível de biomassa para quatro fitofisionomias encontradas no bioma amazônia, Estado do Amazonas entre 2004 e 2005, através dos IVs EVI e NDVI do Sensor MODIS e informações da pluviosidade mensal. A partir das análises verificaram que os menores valores de EVI acompanharam os menores níveis pluviométricos. A variação sazonal da precipitação não foi fator de grande influência na variação do IV NDVI, já o EVI demonstrou possuir correlação com os meses de seca.

De acordo com Huete et al. (2006), a disponibilidade hídrica das áreas de floresta propicia uma estabilidade na atividade fotossintética e conseqüente produção de fitomassa foliar mantida na época de secas.



**Figura 19** – Dados multitemporais de EVI para a região representada pelo bioma amazônia juntamente com valores de precipitação.

A Figura 20 apresenta a relação entre EVI e precipitação da região que representa o bioma amazônia, estabelecida pelo  $R^2$ . Para esta região o  $R^2$  foi de 0,20, sendo significativo a 5% de probabilidade, apresentando-se baixo pelo fato da baixa variabilidade nos valores de precipitação nesta região e consequentemente nos valores de EVI para este bioma.



**Figura 20** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido pela correlação entre o EVI da região representada pelo bioma amazônia e a precipitação.

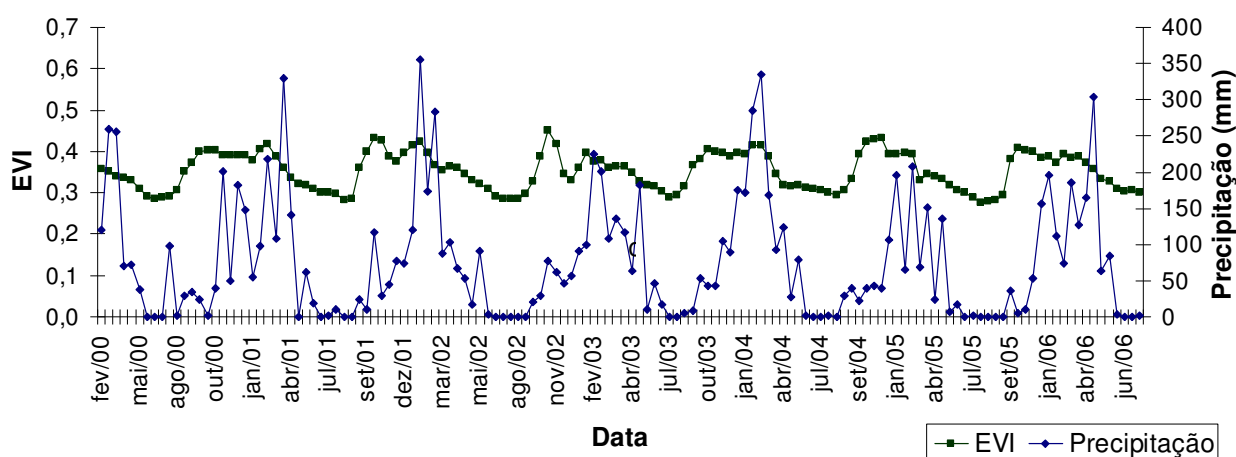
\* Significativo a 5% de probabilidade.

#### 4.2.4 Bioma cerrado *versus* precipitação

A Figura 21 apresenta a evolução temporal do EVI para uma região do município de Carolina (MA), representando o bioma cerrado, juntamente com os valores de precipitação. A distância aproximada da estação meteorológica e dos pontos coletados para esta região é de aproximadamente 13 km.

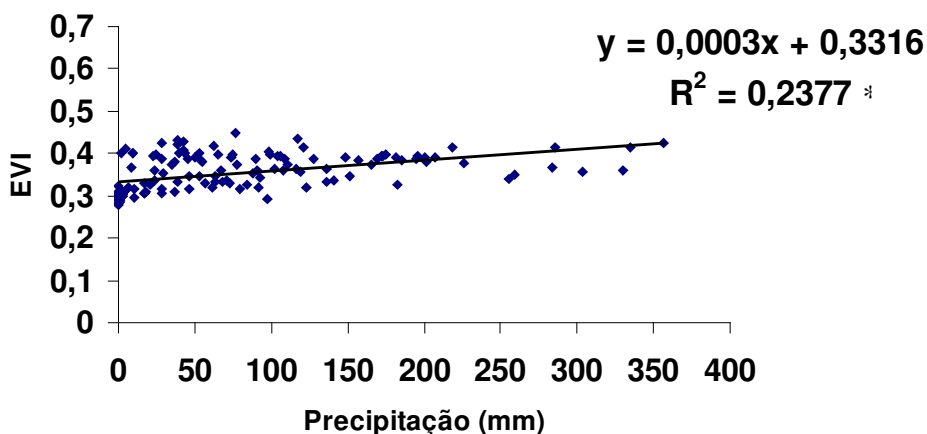
Conforme pode ser observado na Figura 21, os maiores valores de EVI ocorreram, na maioria das vezes, no período de outubro a maio, com o valor máximo de EVI de 0,45, ocorrido em outubro de 2002 e o mínimo foi de 0,25 em julho de 2005. Este bioma apresentou c.v.=15%, considerado baixo quando comparado, por exemplo, com o bioma caatinga, porém, este bioma também apresentou baixos valores de EVI como o bioma caatinga, quando comparado com os demais biomas estudados, devido a fenologia de suas espécies apresentarem-se semicaducifólias, com queda de parte das folhas verdes no período das secas.

Resultados similares foram encontrados por Becerra et al. (2007) que analisando a relação da vegetação com a precipitação do bioma cerrado no Estado do Tocantins para o ano de 2004, utilizando NDVI e EVI, observaram o aumento da fitomassa foliar na estação de chuvas e diminuição na época das secas. Os autores observaram também que o EVI mostra maior relação do que o NDVI com o padrão de precipitação.



**Figura 21** – Dados multitemporais de EVI para a região representada pelo bioma cerrado juntamente com valores de precipitação.

A Figura 22 apresenta a relação entre EVI e precipitação da região que representa o bioma cerrado, estabelecida pelo  $R^2$ . Para esta região o coeficiente de determinação foi de 0,24, sendo significativo a 5% de probabilidade e apresentando uma variabilidade maior do que o bioma mata atlântica e amazônia, por exemplo, devido a variabilidade da precipitação na região e conseqüentemente dos valores de EVI deste bioma.



**Figura 22** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido pela correlação entre o EVI da região representada pelo bioma cerrado e a precipitação.

---

\* Significativo a 5% de probabilidade.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo mostrou a análise do comportamento temporal do EVI do sensor MODIS nos principais biomas do NEB para o período de fevereiro de 2000 a julho de 2006. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que:

- Dentre os biomas estudados, as regiões representadas pelos biomas amazônia e mata atlântica, apresentaram a menor variação sazonal e maiores valores de EVI;

- O bioma caatinga apresentou maior variação sazonal entre os principais biomas do Nordeste do Brasil, devido à grande variabilidade da precipitação na região;

- A região representada pelo bioma mata atlântica foi a que apresentou menor variação sazonal entre os biomas estudados e maiores valores de EVI quando comparada com a região representada pelo bioma caatinga;

- Com relação aos valores de EVI relacionados à precipitação, a região representada pelo bioma caatinga e área irrigada foi a que apresentou menores valores de EVI e melhor coeficiente de determinação entre EVI e os valores de precipitação;

- O estudo dos principais biomas da região Nordeste do Brasil foi possível à partir de dados EVI do sensor MODIS;

- A utilização das imagens do sensor MODIS com auxílio das imagens CBERS, mostrou-se eficiente no estudo dos principais biomas do Nordeste do Brasil;

- Os resultados esperados da relação entre dados de EVI e valores de precipitação dos principais biomas do Nordeste do Brasil foram alcançados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**. 2005. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 2005.

ARAI, E. **Software ConvGeoTiff**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.

BARBOSA, A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região Nordeste do Brasil em 1982-85**. 1999. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 1999.

BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W. T. Monitoramento da cobertura florestal através de índices de vegetação do NOAA-AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. v. 2, p. 30-37.

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região do cerrado usando índices espectrais de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3747-3754.

BOWERS, S. A.; HANKS, R. J. Reflection of radiation energy from soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 100, n. 2, p. 130-8, 1965.

BRUZZONE, L.; SMITS, P.C.; TILTON, J.C. Foreword special issue on analysis of multitemporal remote sensing images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 41, n. 11, p. 2419-2420, 2003.

CÂMARA, G. et al. Spring: integrating remote sensing and gis by objectoriented Data modeling. **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403. 1996.

CASTRO, A. A. J. F. Comparação florística de espécies de cerrado. **Silvicultura**, São Paulo, v. 15, n. 58, p. 16-18, 1994.

CBERS; INPE. **Descrição do CBERS 1, 2 e 2-B**. [online]. São José dos Campos, 2007. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br/?content=descricao1e2e2b>>. Acesso em: 10 de outubro de 2007.

DUARTE, V. et al. Monitoramento do desflorestamento em escala global: uma proposta baseada nos projetos PRODES Digital e DERTER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6687-6694. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.22.18.50/doc/6687-6694.pdf>>. Acesso em: 31 de ago. 2007.

DUCHEMIN, B.; GUYON, D.; LAGOUARDE, J. P. Potential and limits of NOAA-AVHRR temporal composite data for phenology and water stress monitoring of temperate forest ecosystems. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 5, p. 895-917, 1999.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, New York, v. 2, n. 38, p. 201-341, 1972.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

EPIPHANIO, J. C. N. Satélites de sensoriamento remoto. In: RUDORFF, B. F. T. (Ed.). **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente**. São José dos Campos: INPE, Cap. 2, 2002. 37 p.

ESPIG, S. A.; SOARES, J. V.; SANTOS, J. R. Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semi-árido brasileiro. In: SEMINÁRIO EM ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 7., 2006, **Anais...** Curitiba: INPE, 2006. p. 219-226. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/mtc-m12@80/2006/11.07.12.16>>. Acesso em: 19 jun. 2007.

FERNANDES, A. **Conexões florísticas do Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2003. 135 p.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira**. Fortaleza: Multigraf, 1998. 340 p.

FERREIRA, L. G. et al. Monitoramento sistemático da cobertura vegetal no bioma Cerrado através dos índices de vegetação MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2729-2736. Disponível em: <[tid.inpe.br/sbsr/2002/09.28.09.27.24](http://tid.inpe.br/sbsr/2002/09.28.09.27.24)>. Acesso em: 19 jun. 2007.

FERREIRA, M. E. et al. Análise da sazonalidade de paisagens antrópicas e nativas do bioma Cerrado através dos produtos MODIS índices de vegetação, área foliar e atividade fotossintética. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 505-512. Disponível em: <<http://urlib.net/tid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.17.41>>. Acesso em:

22 jun. 2007.

FERRI, M. G. **Vegetação brasileira**. Belo Horizonte: EDUSP, 1980. 157 p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica; período 1995-2000**: relatório final. São José dos Campos: Deposited in the URLib collection, 2002. 47 p.

HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: Swain P. H.; Davis S. M. (Ed.). **Remote sensing: the quantitative approach**, McGraw-Hill, p. 227-290, 1978.

HOFFER, R. M.; JOHANNSEN, C. J. Ecological potentials in spectral signature analysis. In: JOHNSON, P. L. **Remote Sensing in Ecology**, Athens, G. A.: Univ. of Georgia Press, cap. 1, p. 1-16, 1969.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n, 3, p. 295-309, 1988.

HUETE, A. R. et al. A comparison of vegetation indexes over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-45, 1997.

HUETE, A. R. et al. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 6, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m12@80/2006/12.08.14.28>>. Acesso em: 18 de jul. 2007.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

IBGE. **Biomass e vegetação do Brasil**. Comunicação social. 2004a. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>> Acesso em: 10 de mai. 2007.

\_\_\_\_\_. **Mapa de biomas do Brasil**. Rio de Janeiro, 2004b.

\_\_\_\_\_. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro, 2004c.

INPE. **Relatório Projeto PRODES**. 2001. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>. Acesso em: 27 de set. 2007.

INPE/DPI. **SPRING**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>>. Acesso em: 01 de ago. 2007.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive**

**Veterinary Medicine**, v. 11, n. 3-4, p. 185-200, 1991.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment – an Earth resource perspective**. New Jersey, Prentice Hall, 2000. 544 p.

JUSTICE, C. O. et al. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1-2, Nov. p 3 –15, 2002.

JUSTICE, C.O. et al. The moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 36, n. 4, p. 1228-1247, 1998.

LACRUZ, P. M. S.; SANTOS, J. R.; CONFORTE, J. C. Utilização de séries temporais de imagens MODIS/Terra e análise harmônica para o monitoramento de corredores ecológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3223-3228. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.18.35.39>>. Acesso em: 12 out. 2007.

LATORRE, M. L. et al. Sensor MODIS: Características gerais e aplicações. **Espaço & Geografia**, Brasília, vol. 6, n. 1, p. 97-126, 2003.

LEE, R.; YU, F.; PRICE, K.P. Evaluating vegetation phenological patterns in Inner Mongolia using NDVI timeseries analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 12, p. 2505-2512, 2002.

LEITÃO FILHO, H. de F. Considerações sobre a florística de florestas tropicais e sub-tropicais do Brasil. **IPEF**, São Paulo, n. 35, p. 41-46, 1987.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S. Análise da dinâmica sazonal de índices de vegetação do sensor modis em algumas fitofisionomias do bioma cerrado. In: VII SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL. Curitiba. **Anais...** 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m12@80/2006/09.25.13.47>>. Acesso em: 30 ago. 2007.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. M. **Remote sensing and image interpretation**. 3. ed. New York: J. Wiley, 1994. 750 p.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. 1. ed. São Paulo: D&Z computação gráfica e editora, 2004. 413 p.

MENESES, R.; MADEIRA NETTO, J. da S. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Atual. Ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320 p.

MOREIRA, M. A.; SHIMABUKURO, Y.E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR In: **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de Textos, cap. 4, p. 79-101, 2004.

MOREIRA, R. da C. **Influencia do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosfericos na determinacao de indices de vegetacao**. 2000. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 2000.

National Aeronautics and Space Administration. **MODIS**. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/data>>. Acesso em: 03 de ago. 2006.

NIMER, E. Climatologia da região Nordeste do Brasil. Subsídios à geologia regional do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, n. 2, p. 3-51, 1972.

NOBEL, P.S.; FORSETH, I.; LONG, S.P. Canopy structure and light interception. In: HALL, D.O. et al. **Photosynthesis and production in a changing environment**. London: Chapman & Hall, cap. 2, p. 79-90, 1993.

NUNES, G. M.; SOUZA FILHO, C. R.; FERREIRA, L. G. Monitoramento da cobertura vegetal em áreas de Reservas de Desenvolvimento Sustentável na Amazônia Central através de Índices de Vegetação do Sensor MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6893-6899. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.09.34>>. Acesso em: 23 nov. 2007.

OLIVEIRA, M. B. L. de. et al. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 21, n. 3b, p. 166-174, 2006.

OLIVEIRA, P. E. **Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de cerrado**. In **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, p.169-192, 1998.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p. 157-199, 2001.

PONZONI, F. J. et al. Comparação entre o fator de reflectância bidirecional de um dossel de mudas de *eucalyptus grandis* e o fator de reflectância direcional hemisférico de suas folhas isoladas. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 59-68, 2002.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: VIEIRA A. S. (Ed.), 2007. 127 p.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/jeferson/2004/07.02.14.17>>. Acesso em: 15 mar. 2007.

ROSENDO, J. DOS S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio araguari - MG – utilizando dados do sensor**

**modis**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia Instituto de Geografia, Uberlândia, 2005.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., 1973. **Proceedings**, Washington: NASA. Goddard Space Flight Center, v. 1, p. 309- 317. 1973.

ROYER, A. et al. Analysis of boreal forest dynamics using the global vegetation index. **Remote Sensing Reviews**, v. 15, p. 265–282, 1996.

SÁ, I.B. **Aplicações da abordagem multiestágio em sensoriamento remoto para mapeamento da vegetação de Caatinga**: estudo de caso, Petrolina, PE. 1991. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991.

SAMPAIO, E.; RODAL, M. de J. Fitofisionomias da caatinga. (Documento para discussão no GT Botânica). In: **Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma caatinga**. Petrolina, 2000. Disponível em: <http://www.biodiversitas.org.br/caatinga/relatorios/fitofisionomias.pdf>. Acesso em: 12 de set. 2007.

SEEN, D.L. et al. Coupled with Multispectral Satellite Data II: Toward the control of its simulations by remotely sensed indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 52, n. 3, p.194-206, 1995.

SELLERS, P. J. Vegetation-canopy spectral reflectance and biophysical processes. In: Asrar, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: J. Wiley, 1989. cap. 8, p. 297-335.

SILVA, A. F. da. A fitossociologia na Mata Atlântica. IN: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA. 1987. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Academia Brasileira de Ciência do Estado de São Paulo, 1987. p. 62-77.

SILVA, J. M. C. da. et al. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. 382 p.

SILVA, F. B. R. et al. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste**: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA. v. 2, 1994.

SOUSA, C. L. **Avaliação da pressão antrópica sobre a cobertura vegetal nos municípios de Cedro e Solidão (Sertão Pernambucano) com o uso de imagens TM LANDSAT e Sistema de Informação Geográficas..** 2003. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/08.19.09.13>>. Acesso em: 18 de ago. 2006.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. **Physicochemical, site and bidirectional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils**. West Lafayette, Purdue University. LARS Technical Report. 1980. 94 p.

STRAHLER, A. et al. **MODIS land cover product algorithm theoretical basis document**. Versão 5.0, p. 1-72. 1999. Disponível em: <[modis.gsfc.nasa.gov/data/atdb/atdb\\_mod12.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atdb/atdb_mod12.pdf)>. Acesso em: 12 de mai. 2006.

TUCKER, C.J.; GARRATT, M. W. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetations. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p.127-150, 1979.

TUCKER, C.J.; TOWNSHED, J.R.G.; GOFF, T.E. African Land-Cover Classification Using Satellite Data. **Science**, Washington, v. 227, n. 4685, p. 369-375, 1985.

VASCONCELOS, M. R. **Composição e estrutura da mata de buraquinho – João Pessoa, PB**. 1996. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

WWF. **De grão em grão o cerrado perde espaço**. Documento para discussão. Brasília, 1995, 66 p.