

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE NDVI EM ÁREA DE  
APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO - UHE SANTO  
ANTÔNIO, PORTO VELHO (RO)**

**ROBERTO LUIZ DOS SANTOS ANTUNES**

**ORIENTADOR: PROF. DR. LAURINDO ANTONIO GUASSELLI**

**PORTO ALEGRE, JUNHO DE 2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE NDVI EM ÁREA DE  
APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO - UHE SANTO  
ANTÔNIO, PORTO VELHO (RO)**

**ROBERTO LUIZ DOS SANTOS ANTUNES**

**Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli**

**Banca Examinadora:**

**Prof<sup>ª</sup> Dra. Dejanira Luderitz Saldanha (PPGGEA/UFRGS)**

**Prof<sup>ª</sup> Dra. Rita de Cássia Marques Alves (PPGSR/UFRGS)**

**Prof<sup>ª</sup> Dra. Tatiana Mora Kuplich (CRS/INPE)**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Geografia como requisito parcial  
para obtenção do título de Mestre  
em Geografia.

**PORTO ALEGRE, JUNHO DE 2012**

Antunes, Roberto Luiz dos Santos

Varição espaço-temporal de NDVI em área de aproveitamento hidroelétrico – UHE Santo Antônio, Porto Velho (RO). / Roberto Luiz dos Santos Antunes. – Porto Alegre : UFRGS/PPGGea, 2012.

122 f. il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS - BR, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli.

1. NDVI. 2. Análise de séries temporais. 3. Espectros temporais. 4. Componentes principais. Título.

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS  
Miriam Alves CRB 10/1947

*Aos meus pais  
Heraldo e Martelena*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos, e desenvolver minha pesquisa, com ensino de qualidade.

Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), mais especificadamente ao Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental (LAGAM) pela estrutura, espaço e softwares disponibilizados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro através da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, Laurindo Antonio Guasselli, pela excelente orientação, através de muito profissionalismo, dedicação e apoio, desde o início na formulação da proposta de pesquisa até a conclusão final da dissertação.

A minha colega de mestrado Letícia, pelo apoio e por todo o trabalho que juntos realizamos na dissertação: classificações do uso do solo (...) análises metodológicas e etc.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia, em especial ao Professor Roberto Verdum, primeiro contato na UFRGS e com quem fiz a seleção para ingressar no Programa de Pós-Graduação em Geografia.

A todos os colegas de mestrado da Geografia: Eliete, Jonathan, Aílton, Carmem e os demais do qual fui colega nas disciplinas. Ao meu amigo desde os tempos da graduação na UFSM, colega de laboratório, grande parceria, Eduardo Riffel.

A todos os colegas do Lagam e do CEPSRM. Aos colegas da Associação de Pós-Graduandos da UFRGS.

A minha tia Lucimara, pelo companheirismo e amizade ao longo destes dois anos que moramos juntos. Ao meu irmão Silvio, por todo o apoio recebido desde quando cheguei a Porto Alegre.

A toda a minha família: meus irmãos Ricardo e Adriana, sobrinho Guilherme, sobrinhas Bruna e Stefany. Minhas cunhadas Nedma e Franciele.

E especialmente aos meus pais Heraldo e Marta: é por eles que estou aqui hoje escrevendo este agradecimento. Obrigado por toda a educação, amor e amizade. E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigado!

## RESUMO

Esta pesquisa analisa a variação espaço-temporal de NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) em área de aproveitamento hidroelétrico, na UHE Santo Antônio, Porto Velho, Rondônia. Para tanto elabora mapeamento do uso e cobertura do solo a partir de imagem Landsat TM nas seguintes classes: Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Desmatamento, Queimadas e Solo exposto; obtém uma série temporal de imagens de NDVI/MODIS para o período 2000-2011; gera espectros temporais; relaciona os padrões a partir da série temporal de imagens MODIS com as classes de uso e cobertura do solo; analisa a variação espaço-temporal de NDVI com base em Análise de Séries Temporais, a partir de CP's (Componentes Principais). As técnicas para identificação de padrões a partir de Análise de Séries Temporais e de análise dos espectros temporais de índices de vegetação se constituem em uma importante ferramenta na avaliação e monitoramento da variação da vegetação ao longo do tempo. A área da UHE Santo Antonio é caracterizada pela sazonalidade de períodos secos e chuvosos bem definidos, o que permitiu identificar padrões sazonais. Quanto a análise por Componentes Principais esta técnica mostrou-se um bom método para identificar a variação da cobertura vegetal e avaliar as mudanças na cobertura da terra. A análise dos resultados do mapeamento do uso do solo evidenciou o seguinte: uma grande dificuldade em separar no processo de classificação digital as duas classes de floresta; extensas áreas de solo exposto, desmatamento e queimadas no entorno do rio Madeira e nas áreas próximas a UHE Santo Antonio. Com relação aos espectros temporais, as variações nos valores de NDVI apresentam duas variações bem definidas: uma relacionada a sazonalidade dos períodos úmido e seco, e outra relacionada a mudança de uso e ocupação do solo, como a retirada da vegetação existente e as queimadas. Os resultados das Componentes Principais são relativos as variações expressas nas três primeiras CP's da série da seguinte forma: (a) com todas as imagens; (b) somente período seco e somente período chuvoso; (c) por cada ano da série. A CP<sub>1</sub> do conjunto (a) apresentou um percentual de representatividade de 85,83%, com valores de NDVI altos e homogêneos para a cobertura florestal, indicando significativa presença de biomassa, já que os valores altos relacionam-se aos padrões encontrados em classes de vegetação. Na CP<sub>2</sub> e CP<sub>3</sub> de (a) (b) e (c) a variação expressa permitiu identificar as áreas de queimadas e principalmente as etapas de transformação das áreas de florestas até os desmatamentos mais recentes.

**Palavras-Chave:** NDVI, Análise de Séries Temporais, Espectros Temporais, Componentes Principais.

## ABSTRACT

This research examines the spatio-temporal variability of NDVI (Normalized Difference vegetation index) in hydroelectric area, in Santo Antônio hpp, Porto Velho, Rondônia. From Landsat TM image, elaborates mapping of use and soil coverage in the following classes: Open Evergreen forest, dense Ombrophilous Forest Fires, deforestation, and soil exposed; Gets a time series of images of NDVIMODIS for the period 2000-2011; generates time spectrum; lists the patterns from the time series of MODIS images with the classes of land cover and use; examines the spatio-temporal variability of NDVI based on time series Analysis, from CP's (main components). The techniques for identifying patterns from time series analysis and temporal Spectra analysis of vegetation indexes are an important tool in the evaluation and monitoring of vegetation change over time. The area of Santo Antonio hydroelectric power plant is characterized by seasonality of rainy and dry periods well defined, which allowed to identify seasonal patterns. The technique of analysis by principal components proved to be a good method to identify the variation of vegetation cover and assess the changes in coverage of the Earth. The analysis of the results of the mapping of land use showed the following: a great difficulty in separating the digital classification process the two classes of forest; extensive areas of exposed soil, deforestation and burning around the Madeira River and in areas near the Santo Antonio hydroelectric power plant. With respect to temporal changes in spectra, NDVI values have two well-defined variations: one related to seasonality of wet and dry periods, and another related to change of use and occupation of the soil, such as the withdrawal of existing vegetation and fire. The results of the main components are related to changes expressed in the first three CP's series as follows: (a) with all images; (b) when only dry and rainy period only; (c) for each year of the series. The CP1 (a) presented a percentage of representativeness of 85.83 NDVI values high and homogeneous for forest cover, indicating significant presence of biomass, since the high values relate to patterns found in vegetation classes. In CP2 and CP3 (a) (b) and (c) the change expressed identified the areas burned and mainly the processing steps of forest areas up to the latest deforestation.

**Keywords:** Time Series, NDVI, Principal Components.

## SUMÁRIO

<b>Agradecimentos</b> .....	III
<b>Dedicatória</b> .....	IV
<b>Resumo</b> .....	V
<b>Abstract</b> .....	VI
<b>Sumário</b> .....	VII
<b>Lista de Figuras</b> .....	IX
<b>Lista de Tabelas</b> .....	XI
<b>Lista de Quadros</b> .....	XII
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	15
2.1 Geral .....	15
2.2 Específicos .....	15
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	16
3.1 Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação .....	16
3.2 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).....	18
3.3 Séries temporais.....	22
3.4 Sensor MODerate resolution Imaging Spectrometer (MODIS).....	24
3.5 Análise por Principais Componentes (APC) .....	29
<b>4. CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	31
4.1 Caracterização UHE Santo Antônio/rio Madeira.....	31
4.2 Vegetação.....	37
4.2.1 Florestas Ombrófilas Abertas e Densas.....	39
4.2.1.1 Floresta Ombrófila Aberta Aluvial / Floresta de Áreas Inundáveis.....	39
4.2.1.2 Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas.....	40
4.2.1.3 Floresta Aberta Submontana.....	40
4.2.1.5 Floresta Ombrófila Densa Aluvial.....	41
4.2.1.6 Floresta Ombrófila Densa Submontana.....	41
4.3 Clima .....	42
4.4 Precipitação .....	44
4.5 Temperatura .....	44
4.6 Umidade Relativa .....	46
4.7 Aspectos Geomorfológicos .....	46
4.8 Gênese e Evolução Morfodinâmica do Relevo .....	48
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	51
5.1 Imagens do sensor MODIS: download, seleção e processamento.....	52
5.2 Classificação do uso e cobertura do solo.....	54
5.3 Geração das Séries Temporais de NDVI para análise de Componentes Principais.....	56
5.4 Geração dos Espectros Temporais de NDVI e a variabilidade temporal em cada classe de uso e cobertura do solo.....	59
<b>6. RESULTADOS</b> .....	63
6.1 Análise do uso e cobertura do solo.....	63
6.2 Variação temporal de NDVI, análise dos espectros temporais .....	69
6.3 Análise da variação espaço-temporal de NDVI com base em Análise de Séries Temporais, a partir de Componentes Principais.....	87
a) Componentes Principais - Série temporal 2000-2011.....	88
b) Componentes Principais - Período seco e chuvoso.....	94



c) Componentes Principais - Por ano da série temporal 2000-2011.....	108
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>111</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>113</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Obtenção de imagens por Sensoriamento Remoto.....	16
Figura 2 - Curva de reflectância de uma folha verde sadia.....	17
Figura 3 - Variação temporal (a cada 16 dias) dos índices de vegetação NDVI de janeiro de 2000 a dezembro de 2008, das fisionomias: Área de Plantio, Floresta de Galeria, Cerrado, Pastagem, Área Urbana e Floresta Estacional Semidecidual, na Bacia do Rio Paracatu.....	21
Figura 4 - Hidrelétrica de Santo Antônio, Porto Velho, Rondônia.....	31
Figura 5 - Localização da área de estudo (UHE Santo Antônio), Porto Velho (RO).....	33
Figura 6 - Bacia hidrográfica da Amazônia.....	34
Figura 7 - Tronco de árvore levada pela correnteza do Rio madeira.....	36
Figura 8 - Mapa da vegetação primária da Amazônia Legal.....	38
Figura 9 - Variação das temperaturas médias ao longo do ano (Méd), bem como as médias das máximas (Medmax), as médias das mínimas (Medmin) e as máximas e mínimas absolutas (Maxmx e Minmn, respectivamente) para o período 1975/1990, estação de Porto Velho - RO.....	45
Figura 10 - Variabilidade anual da umidade relativa da bacia do rio madeira.....	46
Figura 11 - Fluxograma das etapas desenvolvidas para a pesquisa.....	51
Figura 12 - Espacialização das amostras para a geração dos espectros temporais de NDVI-MODIS.....	62
Figura 13 - Mosaico das imagens Landsat utilizada como base para a classificação do uso do solo.....	63
Figura 14 - Mapa do Uso e Cobertura do Solo da área de estudo.....	64
Figura 15 - Exemplo da classe Floresta Ombrófila Aberta.....	65
Figura 16 - Exemplo da classe Floresta Ombrófila Densa.....	66
Figura 17 - Solo exposto nas obras de construção da hidrelétrica de Santo Antônio-RO.	68
Figura 18 - Espectro temporal do NDVI/MODIS da classe Floresta Ombrófila Aberta amostras I e II, 2000 a 2011.....	70
Figura 19 - Espectro temporal do NDVI/MODIS da Floresta Ombrófila Aberta amostra I - 2000 a 2011.....	71
Figura 20 - Espectro temporal do NDVI/MODIS da Floresta Ombrófila Aberta amostra II - 2000 a 2011.....	71
Figura 21 - Seca na floresta Amazônia no ano de 2005.....	72
Figura 22 - Espectro temporal do NDVI/MODIS da Floresta Ombrófila Densa amostra I - 2000 a 2011.....	75
Figura 23 - Espectro temporal do NDVI/MODIS da Floresta Ombrófila Densa amostra II - 2000 a 2011.....	76
Figura 24 - Precipitação acumulada mensal período 2000 a 2010, em Porto Velho (RO)	77
Figura 25 - Comparação entre as secas de 2005 e 2010.....	79
Figura 26 - Espectro temporal do NDVI/MODIS do Solo Exposto amostra I – 2000 a 2011.....	80
Figura 27 - Exemplo de mudanças de NDVI detectadas nos espectros temporais de duas fisionomias: de Floresta de galeria para Pastagem.....	81
Figura 28 - Espectro temporal do NDVI/MODIS do Solo Exposto amostra II – 2000 a 2011 .....	82
Figura 29 - Espectro temporal do NDVI/MODIS do Solo Exposto amostra III – 2000 a 2011.....	82

Figura 30 - Imagem MODIS em composição colorida R3, GNDVI, B3, de 13 de agosto de 2011, identificando extensas áreas de desmatamento em formato de espinhas de peixe.....	83
Figura 31 - Espectro temporal do NDVI/MODIS do Solo Exposto amostra IV – 2000 a 2011.....	84
Figura 32 - Evolução das queimadas observadas em 2005 no Estado de Rondônia.....	85
Figura 33 - Imagem da 1ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS.....	91
Figura 34 - Imagem da 2ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS.....	92
Figura 35 - Imagem da 3ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS.....	93
Figura 36 - Imagem de NDVI/MODIS com presença de nuvens, cena 049 - 18 de fevereiro de 2000.....	96
Figura 37 - Imagem da 1ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período chuvoso.....	97
Figura 38 - Imagem da 2ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período chuvoso.....	98
Figura 39 - Imagem da 3ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período chuvoso.....	99
Figura 40 - Imagem da 1ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período seco.....	102
Figura 41 - Imagem da 2ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período seco.....	103
Figura 42 - Imagem da 3ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período seco.....	103
Figura 43 - Variação dos valores de NDVI da 1ª Componente Principal em cada ano da série 2000-2011.....	104
Figura 44 - Variação dos valores de NDVI das Componente Principais em cada ano da série 2000-2011.....	106
Figura 45 - Classificação digital utilizando as três Componentes Principais (gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS.....	107
Figura 46. Variação dos valores de NDVI da 1ª Componente Principal por ano da série 2000 a 2011.....	109
Figura 47. Variação dos valores de NDVI das Componentes Principais em cada ano da série 2000-2011.....	110

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Especificações técnicas do satélite Terra/sensor MODIS.....	26
Tabela 2 - Consórcio UHE Santo Antônio - Informações Técnicas.....	32
Tabela 3 - Datas do NDVI MODIS e correspondência com os meses do ano.....	52
Tabela 4 - Características das classes de uso.....	55
Tabela 5 - Imagens MODIS, satélite TERRA, órbita h11v9, na UHE Santo Antônio-RO, utilizadas para a análise das Componentes Principais - período seco e período chuvoso.....	58
Tabela 6 - Componentes Principais de imagens NDVI/MODIS, série temporal 2000-2012.....	88
Tabela 7 - Componentes Principais de imagens NDVI/MODIS, período chuvoso.....	95
Tabela 8 - Componentes Principais de imagens NDVI/MODIS, período seco.....	100

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Produtos do sensor MODIS.....	28
Quadro 2 – Imagens NDVI-MODIS, satélite TERRA, órbita h11v9, na UHE Santo Antônio-RO, utilizadas na pesquisa (cinza) e descartadas (branco) para a geração das CP's.....	57
Quadro 3 - Imagens NDVI-MODIS, satélite TERRA, órbita h11v9, na UHE Santo Antônio-RO, utilizadas na pesquisa (cinza) e descartadas (branco) para a geração dos Espectros Temporais de NDVI.....	60

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo da última década a utilização de dados multi-temporais em sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta eficaz e cada vez mais necessária para o monitoramento dos recursos naturais da Terra. Os conjuntos de séries temporais de sensoriamento remoto têm permitido o monitoramento espaço-temporal das mudanças no uso e cobertura do solo em escalas temporais antes não possíveis (FREITAS et al., 2011).

Com o lançamento dos satélites TERRA e AQUA ambos portando o sensor MODIS “foi aberta uma nova perspectiva, com resolução espacial de 250 m e de 500 m e resolução temporal quase diária” (CORREIA et al., 2005), contribuindo para que os estudos dos processos de mudanças globais e as análises através das séries temporais sejam mais completos.

As séries temporais permitem o mapeamento das diferentes classes de cobertura da superfície terrestre, auxiliando na avaliação dos impactos do uso da terra e na mudança da cobertura do solo. Neste sentido, as tecnologias de Geoprocessamento, incluindo o sensoriamento remoto e dados quantitativos georreferenciados, permitem a determinação dos padrões espaciais e temporais dos diversos usos e cobertura do solo, consistindo uma ferramenta importante para o planejamento regional do meio ambiente.

Através de espectros temporais de índices de vegetação torna-se possível verificar e analisar os padrões que identificam as mudanças da cobertura vegetal e as variações sazonais caracterizadas em determinadas estações do ano.

O NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) tem sido o índice de vegetação mais utilizado em aplicações florestais, de agricultura e ecológicas e como um importante parâmetro para vários modelos em escala regional e global, incluindo modelos de circulação global, modelos hidrológicos e biogeoquímicos (PARDI LACRUZ, 2006). É utilizado como ferramenta para o monitoramento da vegetação, para construir perfis sazonal e temporal das atividades da vegetação, permitindo comparações desses perfis (PONZONI, 2007).

Neste contexto, esta pesquisa verificará a variação temporal de NDVI em áreas de aproveitamento hidroelétrico, mais especificamente na área delimitada, que abrange o entorno da hidrelétrica de Santo Antônio, Porto Velho, Rondônia.

Associado aos espectros temporais que identificarão as variações sazonais das classes de uso e cobertura do solo será realizada uma análise de séries temporais, a partir das Componentes Principais.

Componentes Principais (CP's), ou Transformada de Karhunen-Loeve é segundo Crosta (1992) “uma das funções de processamento de imagens mais poderosas na manipulação de dados multiespectrais”. Esta técnica de estatística multivariada é muito útil na investigação de relações existentes entre um conjunto de variáveis correlacionadas.

Através das CP's, pode-se transformar um conjunto de dados, inicialmente correlacionados em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas (GURGEL, 2000). Desta forma, é possível obter um conjunto de dados onde as informações principais das variáveis se agrupam nas primeiras componentes, o que facilita a análise destes dados. A premissa mais importante do método Análise de Principais Componentes é que se considera que o sinal, ou informação contida no dado, é aquela que tem maior variância, ao contrário do ruído que possui (por hipótese) menor variância (CAVALLARO et al., 2009).

Neste contexto, Sena et al (2009) destaca que as Componentes Principais tem como vantagem reduzir a dimensionalidade do conjunto dos dados, ou seja, gerar um novo conjunto de imagens, cujas bandas individuais contêm informações não presentes em outras bandas, além de isolar os componentes de ruídos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O objetivo geral da pesquisa é a análise da variação espaço-temporal de NDVI em áreas de aproveitamentos hidroelétricos, UHE Santo Antônio, Porto Velho (RO).

### **2.2 Específico**

Os objetivos específicos da pesquisa são:

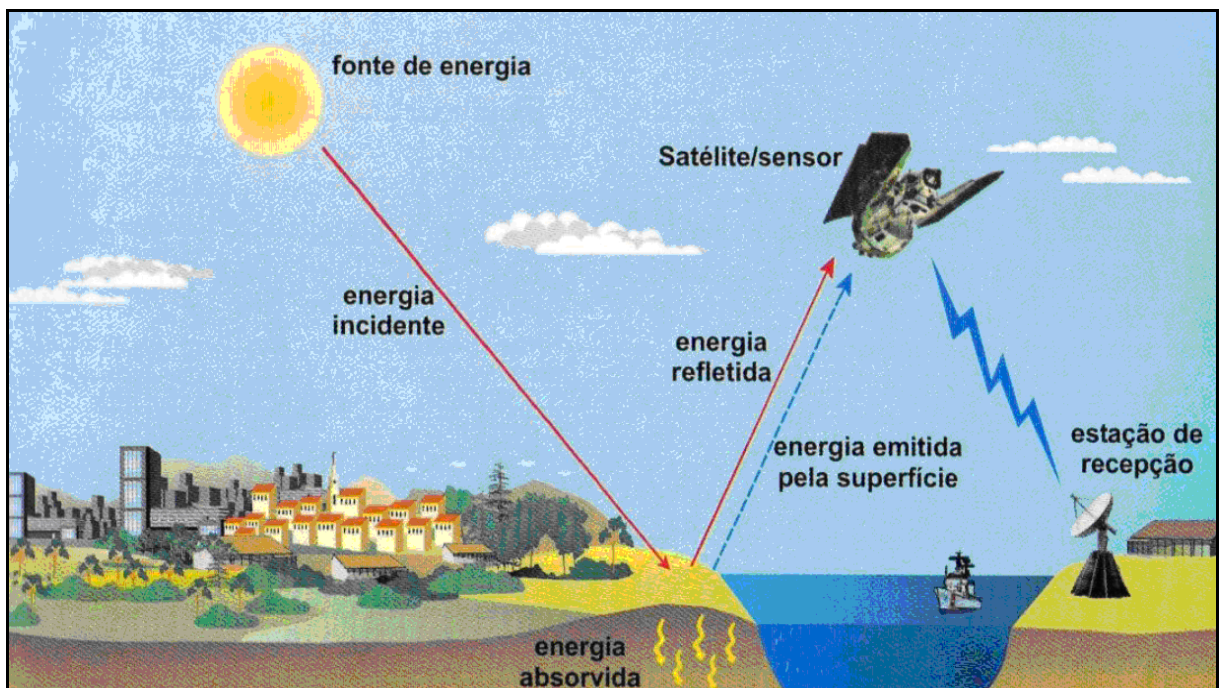
- 1) Mapear o uso e cobertura do solo a partir de imagens orbitais de média resolução espacial;
- 2) Gerar espectros temporais de NDVI;
- 3) Relacionar os espectros temporais com classes de uso e cobertura do solo;
- 4) Relacionar padrões de NDVI obtidos a partir da série temporal de imagens MODIS com as classes de uso e cobertura do solo;
- 5) Analisar a variação espaço-temporal de NDVI com base em Análise de Séries Temporais a partir de Componentes Principais.



### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação

A conceituação clássica para definição do Sensoriamento Remoto refere-se à utilização de informações de objetos ou fenômenos da superfície terrestre através de sensores, sem que haja contato direto entre eles. Estas informações são coletadas através da radiação eletromagnética que se constitui em um dos elementos fundamentais para a compreensão do sensoriamento remoto, junto com a fonte, o sensor e o alvo (Figura 1).



**Figura 1.** Obtenção de imagens por Sensoriamento Remoto.  
**Fonte:** FLORENZANO (2002).

Por se tratar de uma técnica que fornece subsídios para o monitoramento constante da superfície terrestre, o Sensoriamento Remoto proporciona a geração de informações contínuas no tempo e no espaço, que promovem a geração e tratamento de assinaturas temporais de índices de vegetação associados à produção de biomassa e de estoque de carbono.

Ponzoni (2002) destaca a principal motivação dos estudos em vegetação envolvendo a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto:

Fundamenta-se na compreensão da “aparência” que uma dada cobertura vegetal assume em um determinado produto de SR, a qual é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. Há de se considerar que um dossel é constituído por muitos elementos da própria vegetação, como folhas, galhos, frutos, etc. Um fluxo de radiação incidente sobre qualquer um destes elementos estará sujeito a dois processos: espalhamento e absorção. O processo de espalhamento, por sua vez, pode ser dividido em dois sub-processos: reflexão e transmissão através do elemento. (p.8).

No processo de interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação, os principais fatores de influência são: a composição química das folhas, a fisiologia vegetal, a umidade, e os tipos fisionômicos dos dosséis. Cada um desses parâmetros tem comportamento diferenciado no espectro óptico (visível, infravermelho próximo, médio e distante). A folha é o principal elemento constituinte da vegetação e o seu comportamento espectral é função de sua composição, morfologia e estrutura interna (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009). A curva de reflectância característica de uma folha verde sadia é mostrada na Figura 2.

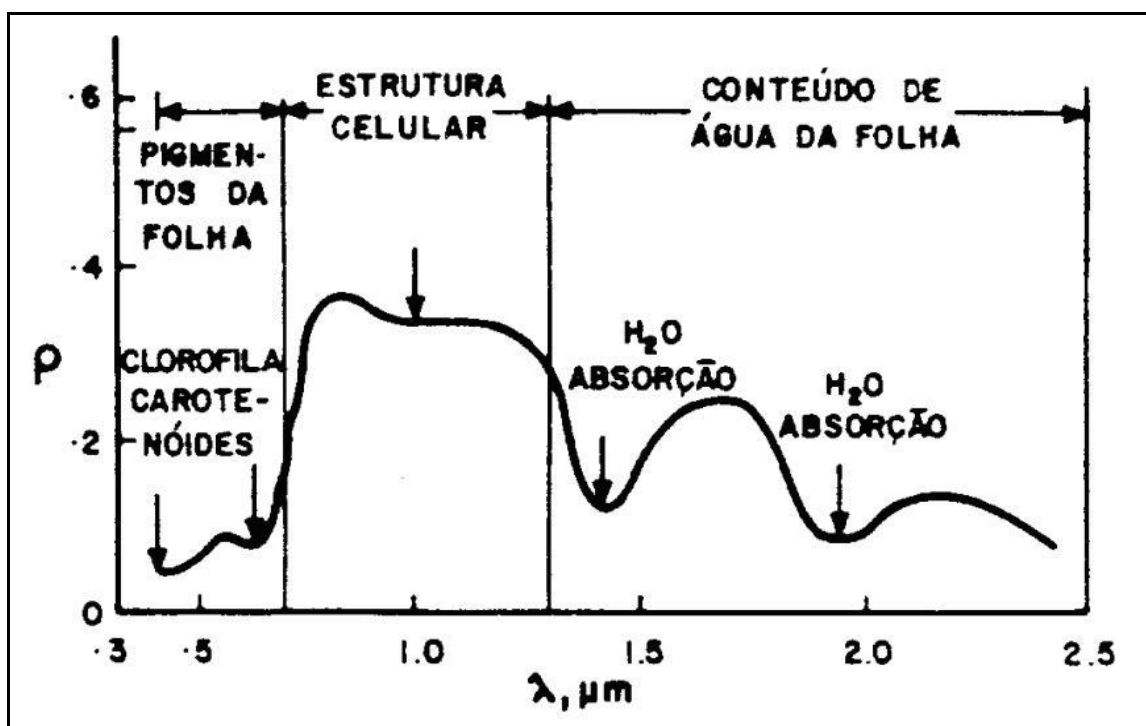


Figura 2. Curva de reflectância de uma folha verde sadia.  
Fonte: NOVO (1989).

Ponzoni (2002) descreve que um dossel vegetal apresenta valores de reflectância relativamente baixos na região do visível, devido à ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a radiação eletromagnética para a realização da fotossíntese:

Isto é evidenciado pela tonalidade escura nas imagens obtidas nesta região. Nas imagens da região do infravermelho próximo verifica-se que estes valores apresentam-se elevados devido ao espalhamento interno sofrido pela Radiação eletromagnética em função da disposição da estrutura morfológica da folha, aliado ainda ao espalhamento múltiplo entre as diferentes camadas de folhas. Finalmente, no infravermelho médio tem-se uma nova queda destes valores, devido a presença de água no interior da folha.

O autor conclui que de fato, estes fatores influentes não atuam isoladamente. Em cada uma das regiões espectrais todos os fatores exercem sua influência concomitantemente.

### **3.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**

Os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais, que de acordo com Jensen (2009) indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde baseados em combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de bandas espectrais, incluindo índice de área foliar e porcentagem de cobertura verde.

Huete et al. (2002) destaca que os índices de vegetação nos permitem monitorar sazonal, interanual e a longo prazo as variações estruturais da vegetação e os parâmetros fenológicos e biofísicos, pois:

São transformações espectrais de duas ou mais bandas projetadas para aumentar (realçar) a contribuição das propriedades da vegetação e permitir inter-comparações espaciais e temporais confiáveis da atividade fotossintética e das variações estruturais do dossel (p.195).

Vários índices de vegetação foram criados na perspectiva de ressaltar o comportamento espectral da vegetação, como o EVI (Enhanced Vegetation Index – Índice de Vegetação Realçado), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index - Índice de

Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo), LAI (Índice de Área Foliar), entre outros. Entre eles, o índice mais utilizado é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada).

O NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1 e para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 a 1, já para a água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero. (HUETE et al., op. cit). O NDVI é calculado a partir da seguinte equação, proposta por Rouse et al. (1973):

$$\text{NDVI} = \text{IVP} - \text{VERMELHO} / \text{IVP} + \text{VERMELHO}$$

Onde:

**IVP** = Reflectância do Infravermelho Próximo,

**VERMELHO** = Reflectância do Vermelho.

De acordo com Baptista e Munhoz (2009) o NDVI é “um método de determinação do vigor da vegetação por meio de diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e a feição de absorção de luz na região do vermelho utilizada na fotossíntese”.

Para Lacruz (2006) o NDVI tem sido o índice de vegetação mais utilizado em aplicações florestais, de agricultura e ecológicas e como um importante parâmetro para vários modelos em escala regional e global, incluindo modelos de circulação global, modelos hidrológicos e biogeoquímicos. Entretanto, destaca que:

Apesar de sua ampla utilização, este índice apresenta limitações no que se refere a sua alta sensibilidade à variação do substrato do dossel, sendo que a degradação do *NDVI* é particularmente forte em substratos de alto brilho (Huete, 1987); sensibilidade à presença de aerossóis (Holben, 1986) e, à saturação do índice em dosséis densos ou de alto índice de área foliar (Lillesaeter, 1982), a qual é mais pronunciada nos dados *MODIS* devido à banda vermelha ser mais estreita (Huete et al., 2000). Outras desvantagens do *NDVI* são a não linearidade inerente dos índices baseados em razão de bandas e os efeitos, ainda persistentes no *NDVI/MODIS*, de ruídos aditivos (Huete, 1988).

Carvalho et. al. (2008) afirmam que em estudos macroecológicos, o NDVI é

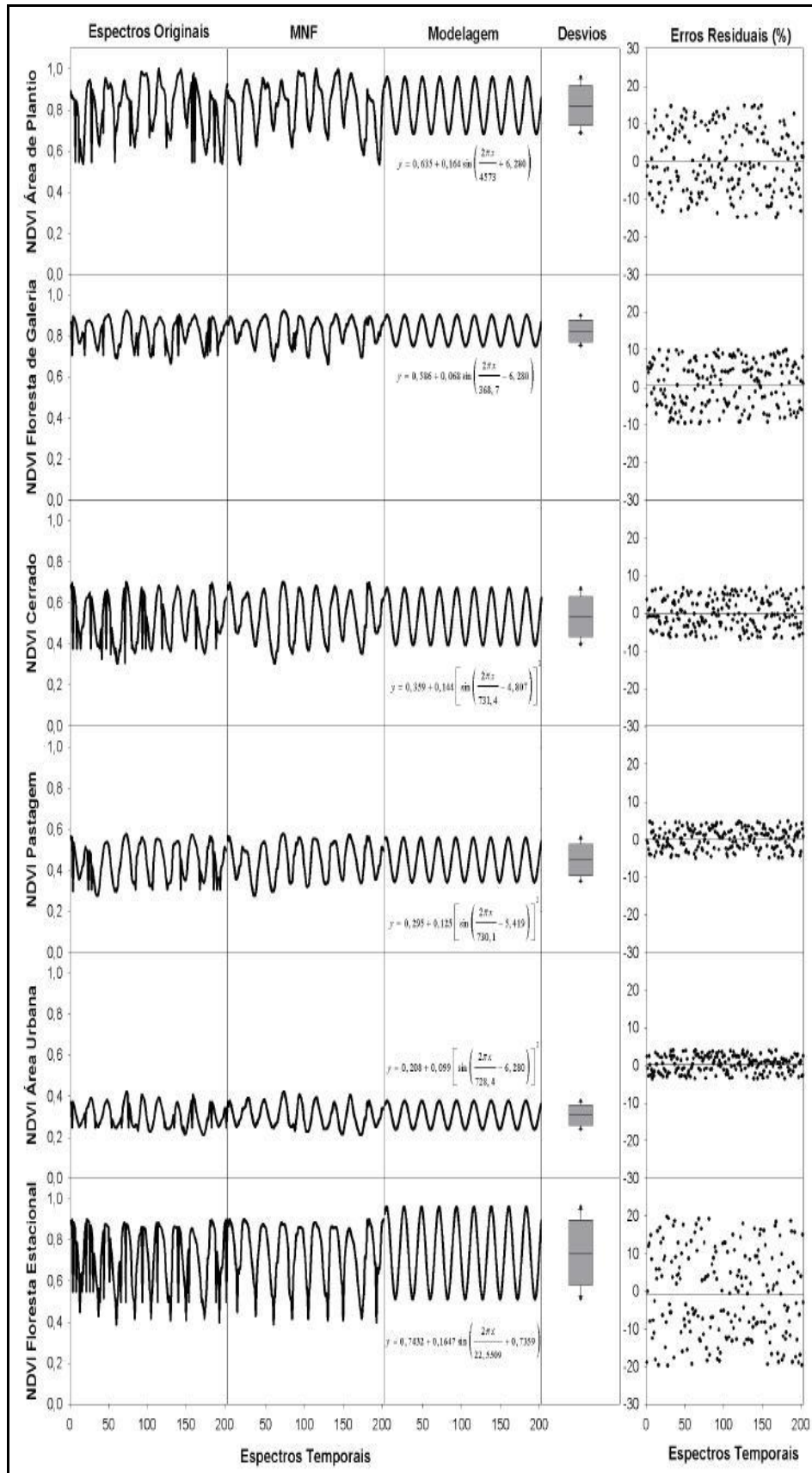
comumente usado como indicador da produção primária líquida ou heterogeneidade espacial da vegetação, sendo empregado como uma variável ambiental que possibilita explicar o gradiente de riqueza de espécies em grandes escalas.

O NDVI é utilizado como ferramenta para o monitoramento da vegetação, para construir perfis sazonais e temporais, permitindo comparações desses perfis. Este perfil temporal do NDVI pode ser utilizado para detectar a atividade sazonal e fenológica, duração do período de crescimento, pico verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência (RODRIGUES, 2010).

Um exemplo de perfil temporal é o espectro apresentado na Figura 3, que representa a variação temporal (a cada 16 dias) dos índices de vegetação NDVI de janeiro de 2000 a dezembro de 2008, das fisionomias: Área de Plantio, Floresta de Galeria, Cerrado, Pastagem, Área Urbana e Floresta Estacional Semidecidual, na bacia do rio Paracatu (noroeste do estado de Minas Gerais).

Neste espectro, Santana et al. (2010) realizaram o tratamento de ruídos pela combinação dos métodos de filtragem e da transformação Minimum Noise Fraction (MNF), que permitiu uma acentuada suavização das curvas temporais, eliminando as feições provenientes de nuvens ou erros da imagem. As assinaturas temporais selecionadas se diferenciaram pelas amplitudes e médias. Estes resultados corroboram com os resultados obtidos em outras áreas de Cerrado.

Desta forma, apresentam-se os espectros modelados e suas respectivas equações de ajuste, desvios estatísticos e erro residual dos modelos, das fisionomias estudadas.



**Figura 3.** Variação temporal (a cada 16 dias) dos índices de vegetação NDVI de janeiro de 2000 a dezembro de 2008, das fisionomias: Área de Plantio, Floresta de Galeria, Cerrado, Pastagem, Área Urbana e Floresta Estacional Semidecidual, na Bacia do Rio Paracatu.  
**Fonte:** SANTANA et al. (2010).

### 3.3 Séries Temporais

Uma série temporal pode ser entendida como um conjunto de observações ordenadas no tempo. Pode-se dizer que uma série temporal é multivariada, pois tem que ser localizada no tempo e no espaço (MORETTIN e TOLOI, 2004).

As séries temporais são construídas extraíndo medidas ou realizando cálculos/ índices sobre os dados de regiões de interesse das imagens que foram coletadas sequencialmente num determinado período de tempo, permitindo que o pesquisador se detenha na análise de regiões específicas.

Os principais objetivos para analisar uma série temporal incluem a investigação do mecanismo gerador da série temporal, a realização de previsões dos valores futuros da série, a descrição do comportamento da série, tais como sazonalidade e tendência e a procura de periodicidades relevantes nos dados. (MORETTIN e TOLOI op. cit.).

A análise de séries temporais em sensoriamento remoto que antes era restrita aos estudos globais em oceanografia e atmosfera hoje são uma realidade no sensoriamento da superfície terrestre, principalmente relacionadas as questões de mudança no uso e cobertura da terra (LAMBIN e LINDERMAN, 2006). Uma variedade de técnicas de análise de séries temporais tem sido empregada na área de observação da Terra (FREITAS et al. 2011).

De acordo com Carvalho Júnior et al. (2009), recentemente, vários estudos utilizam séries temporais contínuas com o sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), como os de Hansen et al. (2000, 2002, 2003); Huete et al. (2002) e Latorre et al. (2007).

Na literatura da área de sensoriamento remoto a nomenclatura de análise de séries temporais aplica-se desde visualização e classificação multi-temporal de imagens até ao emprego de técnicas de dinâmica não linear em séries históricas de dados (FREITAS et al., 2011) tanto para as imagens MODIS quanto AVHRR, principalmente de índices de vegetação como NDVI e EVI (BRUCE e MATHUR, 2005; YU et al., 2004; LACRUZ et al., 2005; JÖNSSON e EKLUNDH, 2002), com diferentes abordagens metodológicas (VICTÓRIA, 2009).

Freitas et al. (2011) destaca a contribuição das séries temporais a nível regional e global:

Em escalas globais programas como o Global Land Cover Facility (GLCF, [glcf.umiacs.umd.edu](http://glcf.umiacs.umd.edu)) são provedores de dados de sensoriamento e produtos para quantificação da mudança de uso e cobertura do solo no globo. Em escalas regionais, programas do INPE como o DETER (<http://www.obt.inpe.br/deter>) e PRODES (<http://www.obt.inpe.br/prodes>) tem auxiliados políticas de governo no combate e quantificação da área desflorestada na Amazônia brasileira. Novas abordagens utilizando ferramentas como transformada wavelets permitiram estudos da variabilidade inter-anual da vegetação e sua relação com anos de El-Niño (LI e KAFATOS, 2002) e determinação de padrões fenológicos em culturas agrícolas (SAKAMOTO et al., 2005, p.6867).

Nos estudos de monitoramento da vegetação através do sensoriamento remoto as séries temporais tornam-se instrumentos importantes para a realização de diagnósticos, pois, permitem análises conjuntas que são imprescindíveis neste tipo de pesquisas.

No campo ecológico, a análise de séries temporais tem permitido novas especulações sobre padrões fenológicos da vegetação, como por exemplo, o crescimento da floresta amazônica no período seco (HUETE et al., 2006).

Como destaca Defries e Townshend (1994); Latorre et al. (2007) apud Carvalho Júnior et al. (2008), “o comportamento temporal da vegetação fornece importantes indícios sobre as fitofisionomias presentes através dos diferentes atributos de fenologia das plantas, como a variação da arquitetura da vegetação, presença de pigmentos na planta, entre outros”.

Estudos como os de Carvalho Júnior et al. (2008), pretendiam comprovar que as imagens Landsat ETM+7 demonstram eficiência numa série temporal de imagens NDVI para a diferenciação dos tipos de vegetação. Assim, a análise de séries temporais de imagens NDVI pode ser utilizada como forma de identificar determinadas coberturas vegetais.

Antunes e Esquerdo (2009) utilizaram uma técnica, que vem sendo aplicada em séries temporais de imagens de sensoriamento remoto, para caracterizar a fenologia da vegetação, denominada de análise harmônica. Esta técnica, aplicada para monitorar culturas agrícolas no oeste do Estado do Paraná, utilizando dados NDVI/AVHRR-NOAA, é baseada nas mudanças que acontecem na superfície terrestre, facilitando o entendimento da dinâmica temporal (JAKUBAUSKAS et al., 2002).



Victoria et al. (2009) aplicaram uma metodologia comumente empregada no estudo de séries temporais, as transformações de Fourier. Algumas das aplicações desta metodologia incluem a identificação de diferentes coberturas vegetais naturais, estudo de suas condições fenológicas e a detecção de desflorestamento (YU et al., 2004; LACRUZ et al., 2005). Os resultados obtidos por este estudo demonstram o elevado potencial de aplicação desse método para a discriminação, mapeamento de atividades agrícolas, possíveis com a análise de séries temporais.

Wagner et al. (2011) analisaram o comportamento temporal da biomassa na ecorregião das Savanas Uruguaias com base na série temporal de imagens de NDVI/MODIS. A proposta da pesquisa consistiu na análise, caracterização e mapeamento das Savanas Uruguaias, no sentido de conhecer a distribuição espacial das formações vegetais que a compõem, bem como as alterações que vem ocorrendo ao longo do tempo.

Tratando especificamente da análise espaço-temporal do comportamento da biomassa, verifica-se a importância da utilização das séries temporais para a obtenção de estimativas da variação da biomassa, através dos dados disponibilizados pelas imagens de satélite.

### **3.4 Sensor MODerate resolution Imaging Spectrometer (MODIS).**

A NASA (National Aeronautics and Space Administration) liderou a criação do programa internacional EOS (Earth Observing System) cuja motivação foi o monitoramento dos mecanismos de retroalimentação que a natureza tem para contrapor as mudanças climático-ambientais provocadas pelo homem na Terra (RUDORFF et al., 2007), e permitir a observação continuada das mudanças globais.

Por ter sido concebido com a participação de um grupo de trabalho interdisciplinar o EOS se caracterizou como sendo um programa inovador. Neste contexto, Rudorff et al. (op. cit.) avalia que o EOS trouxe como grande novidade o fato de que pela primeira vez, em um programa espacial, os sensores foram definidos a partir de requisitos de cientistas de Ciências da Terra que tiveram a missão de avançar no entendimento dos processos de mudanças globais.

Contudo, o autor destaca que o significativo avanço na área de sensoriamento remoto proporcionado pelo MODIS se deve não apenas à forma

inovadora na qual foi concebido o sensor, mas também ao conceito da política de distribuição gratuita das imagens e produtos de alta qualidade.

Em 18 de novembro de 1999 foi lançada a primeira plataforma do programa EOS, denominada como “Terra”. Inicialmente era conhecida como EOS-AM, por fazer observações no período da manhã. Esta, possui a bordo os sensores *Clouds and the Earth’s Radiant Energy System* (CERES), MODerate resolution Imaging Spectrometer (MODIS) e Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) da NASA; ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) do Japão; e MOPITT (Measurement of Pollution in the Troposphere) do Canadá.

Anderson et al. (2003) acredita que, juntos, todos os satélites do projeto EOS atualmente em órbita, e os que estavam para serem lançados vão ajudar os cientistas a desvendar os processos climáticos e de mudanças ambientais bem como seus impactos.

Correia et al. (2005) analisam que até pouco tempo os dados de satélites proporcionavam apenas duas opções para análises em escalas da ordem de milhares de km<sup>2</sup>:

(1) porções de imagens de resolução espacial grosseiras, globalmente adquiridas por satélites/sensores como o NOAA/AVHRR e o SPOT/Vegetation;

(2) mosaicos de imagens de média resolução espacial obtidas com o Landsat/TM ou o SPOT/HRV.

Com o lançamento dos satélites TERRA e AQUA ambos portando o sensor MODIS “foi aberta uma nova perspectiva, com resolução espacial de 250 m e 500 m e resolução temporal quase diária” e realça a importância singular que ele tem dentro dos instrumentos do EOS para estudo dos processos de mudanças globais (CORREIA et al., 2005; RUDORFF et. al., 2007).

O MODIS, principal sensor do programa EOS, foi projetado para atender os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra. Este sensor apresenta bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades de observação e para oferecer uma cobertura global quase diária (JUSTICE et al., 2002). Possui como características, de acordo com Barker et al., (1992):

- Ampla cobertura espacial e espectral;
- Continuidade nas tomadas de medidas nas regiões espectrais, que já estão sendo estimadas por outros satélites, vindo a complementar as informações, já

adquiridas por estes. Como exemplo, o conjunto de dados adquiridos pelo AVHRR, usado para a meteorologia e monitoramento da temperatura da superfície do mar, gelo e vegetação; e pelo *Coastal Zone Color Scanne (CZSC)*, usado para monitorar a biomassa oceânica e os seus padrões de circulação; e

- É a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução das pesquisas de mudanças globais.

A Tabela 1 apresenta as especificações técnicas do satélite Terra/sensor MODIS.

**Tabela 1.** Especificações técnicas do satélite Terra/sensor MODIS

Órbita do satélite Terra	705 Km, síncrona com o sol, polar; 10:30 a.m descendente
Cobertura de repetição do satélite Terra	Diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°
Cobertura do imageamento do sensor MODIS	± 55°; 2.330 km ("scans" contínuos no nadir no equador)
Resolução espacial do sensor MODIS	250m (2 bandas), 500m (5 bandas), 1000m (29 bandas)
Precisão radiométrica do sensor MODIS	5% Absoluto, <3µm; 1% Absoluto, >3 µm; 2% de reflectância
Alcance espectral do sensor MODIS	0,4 – 14,4 µm
Quantização do sensor MODIS	12 bits
Taxa de dados do satélite Terra	6,2 Mbps (média), 10,8 Mbps (dia), 2,5 Mbps (noite)
Potência do satélite Terra	162,5 W (média para uma órbita), 168,5 W (pico)

**Fonte:** Adaptada de Rudorff e Shimabukuro (2007) e Justice et al. (2002).

De acordo com Shimabukuro e Rudorff (2007) as 36 bandas espectrais do MODIS estão localizadas em função de um dado comprimento de onda escolhido para a observação de feições das propriedades das nuvens, da dinâmica e das propriedades da vegetação, e da temperatura da superfície dos oceanos no mundo e configuram-se da seguinte forma:

- as primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm e 2.155 nm, de forma que as bandas 1-7 estão direcionadas para as aplicações terrestres. As bandas 8-16 para as observações oceânicas e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas;

- as bandas 20-36, com exceção da banda 26 (1.360 - 1.390 nm), cobrem a porção termal do espectro eletromagnético (3660 nm a 14.385 nm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais (JUSTICE et al., 2002).

As bandas desenvolvidas para o monitoramento da superfície terrestre têm uma herança do Landsat/TM e NOAA/AVHRR, com capacidades melhoradas tanto nos menores comprimentos de onda quanto no infravermelho.

Outras características importantes do sensor MODIS são destacadas por Anderson et al. (2003):

a) as imagens geradas possuem uma sobreposição que varia de 10 a 50% devido à geometria do sensor, à curvatura da Terra, à velocidade angular e ao deslocamento do satélite;

b) as imagens MODIS apresentam degradação de *pixel*, tanto nas direções de varredura quanto ao longo da trajetória, devido ao campo de visada instantâneo (IFOV). Essa degradação pode variar de 2 a 4,8 vezes em relação ao nadir, em ambas as direções;

c) ao se adotar o sensor MODIS, com resolução espacial nominal de 250 m, verifica-se que a área mínima detectável no nadir é de 6,25 ha. Entretanto, lembra-se que essa área mínima é influenciada pelo problema de degradação do *pixel*, conforme se distancia do nadir. Consequentemente, além das distorções geométricas, o problema de *pixel* mistura também é acentuado;

d) o ganho em repetitividade (resolução temporal) obtido por esse sensor implica em perda de resolução espacial e em aumento da largura de faixa de imageamento;

O sensor MODIS também disponibiliza alguns produtos relacionados ao estudo da vegetação, estes são: (I) MOD13 - Índices de Vegetação, (II) MOD15 - Índice de Área Foliar/ FPAR e (III) MOD17 - Produtividade Primária Líquida/ Fotossíntese Líquida. Os outros produtos apresentados pelo sensor MODIS são apresentados no Quadro 1.

<b>Produto</b>	<b>Principais sub-produtos</b>	<b>Bandas presentes</b>
MOD05	MOD05_L2 – resolução temporal diária	Água precipitável
MOD06	MOD06_L2 – resolução temporal diária	Nuvens
MOD07	MOD07_L2 – resolução temporal diária	Perfil atmosférico
MOD09	MOD09GQK – resolução temporal diária	Refletância aparente no vermelho Refletância aparente no infravermelho-próximo Controle de qualidade
	MOD09Q1 – resolução temporal de 8 dias, pixel de melhor qualidade radiométrica e geométrica	Refletância aparente no vermelho Refletância aparente no infravermelho-próximo Controle de qualidade
MOD13	MOD13Q1 – resolução temporal de 16 dias, pixel de valor máximo do período	<i>NDVI</i> <i>NDVI Quality</i> <i>EVI</i> <i>EVI Quality</i> Refletância aparente no vermelho Refletância aparente no infravermelho-próximo Refletância aparente no infravermelho-médio Refletância aparente no azul Ângulo zenital de visada médio Ângulo solar zenital médio Ângulo de azimute relativo médio
MOD15	MOD15A2 – resolução temporal de 8 dias, pixel de melhor qualidade radiométrica e geométrica	Índice de área foliar / Fração da radiação fotossinteticamente ativa
MOD43	MOD43B1 – resolução temporal de 16 dias	Função de distribuição de refletância bidirecional
MODMGGAD	MODMGGAD – resolução temporal diária	Ângulos de localização geográfica
MODPTQKM	MODPTQKM – resolução temporal diária	Pontos de observação

**Quadro1.** Produtos do sensor MODIS.

**Fonte:** Justice et al. (2002).

O MOD 13 possui dois índices de vegetação: EVI (Enhanced Vegetation Index - Índice de Vegetação Realçado) e NDVI (Normalized Difference Vegetation - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada).

As bandas espectrais do MODIS utilizadas para a geração do índice de NDVI (vermelha, 620 - 670 nm e infravermelha próxima, 841 - 876 nm) são mais estreitas do que as bandas no AVHRR (vermelha, 580 - 680 nm e infravermelha próxima, 725 - 1100 nm) o que ocasiona diferenças na resposta espectral dos dosséis e, por conseguinte, diferenças na resposta do índice de vegetação (TEILLET et al., 1997 apud LACRUZ, 2007). As bandas mais estreitas do MODIS excluem as regiões de absorção de água localizadas em 950 nm e 1100 nm, aproximadamente, e também

faz a banda vermelha mais sensível à absorção da clorofila (VAN LEEUWEN et al., 1999 apud LACRUZ, 2007).

### 3.5 Análise por Principais Componentes (APC)

Análise por Principais Componentes (APC), do inglês *Principal Component Analysis* (PCA), também denominada de Transformação por Principais Componentes ou Transformada de Karhunen-Loeve é, segundo Crosta (1992) “uma das funções de processamento de imagens mais poderosas na manipulação de dados multiespectrais”.

Esta técnica de estatística multivariada é muito útil na investigação de relações existentes entre um conjunto de variáveis correlacionadas. Através da APC, pode-se transformar um conjunto de dados, inicialmente correlacionados em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas (GURGEL, 2000).

O novo conjunto é obtido através de combinações lineares das variáveis originais, de tal forma que a maior parte das informações concentra-se nas primeiras componentes. Neste sentido, Chaves et al., (1991) afirmam que estas PC's podem assimilar a informação pancromática, enquanto que a informação espectral exclusiva de cada banda fica destinada às outras componentes principais.

A premissa mais importante do método Análise de Principais Componentes é que se considera que o sinal, ou informação contida no dado, é aquela que tem maior variância, ao contrário do ruído que possui (por hipótese) menor variância (CAVALLARO et al., 2009).

Neste contexto, Sena (2009) destaca que a APC tem como vantagem reduzir a dimensionalidade do conjunto dos dados, ou seja, gerar um novo conjunto de imagens, cujas bandas individuais contêm informações não presentes em outras bandas, além de isolar os componentes de ruídos.

Gurgel (2000) destaca que uma das características da APC, de diminuir o número de variáveis correlacionadas em um determinado conjunto de dados, preservando a sua variância total, permite:

Identificar os padrões e processos físicos associados às variáveis observadas, possibilitando a interpretação dos dados num contexto que

envolve a sua variabilidade espacial/temporal. Além disso, esta técnica tem sido utilizada para comprimir e codificar dados, realçar imagens e detectar mudanças digitalmente (FUNG e LEDREW, 1987; EKLUNDH e SINGH, 1993) (p. 49).

Crosta (2000) comenta sobre uma transformação linear de dados multiespectrais para transladar e rotacionar os dados para um novo sistema de coordenadas, removendo a correlação entre os eixos que a APC utiliza.

Esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos objetos, além de outros fatores.

Destaca-se também seu uso no tratamento de imagens produzidas por sensores com um alto número de bandas espectrais. Além de ter utilidade na análise de dados comumente utilizados em geologia, tais como radar, geoquímica ou geofísica, em conjunto com imagens multiespectrais (CROSTA, 2000).

## 4. CARATERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As informações contidas nesta caracterização da área de estudo basearam-se em informações contidas no EIA-RIMA elaborado pelo Consórcio da UHE, Santo Antônio Energia. Neste documento consta uma série de dados e características sobre o rio Madeira, a vegetação, clima, precipitação, temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, evapotranspiração e os aspectos geológicos e geomorfológicos que contribuem significativamente para o estudo da região de interesse.

### 4.1 Caracterização UHE Santo Antônio/rio Madeira

A Usina Hidrelétrica Santo Antônio (Figura 4) localiza-se no rio Madeira, a sete quilômetros de Porto Velho, capital do estado de Rondônia. As coordenadas geográficas da área de estudo são: 8°47'31" S e 63°57'7" W.



**Figura 4.** Hidrelétrica de Santo Antônio, Porto Velho, Rondônia.  
**Fonte:** Santo Antônio Energia (2011).

A UHE Santo Antônio prevê um total de potência instalada na ordem de 3.150,4 MW (megawatts), atingindo plena capacidade, no máximo, em 36 meses após sua inauguração. Quando estiver operando a plena potência, a UHE produzirá



mais de 19,5 milhões de MWh (megawatt-hora) por ano de energia elétrica - o que equivale a cerca de 4,3% da produção brasileira em 2007 (Consórcio UHE Santo Antônio, 2011).

As obras de construção da usina iniciaram em 2008. Em 2011, com o fechamento de parte das comportas do vertedouro da Usina, ocorreu o início do enchimento do reservatório. No início de 2012 foram colocadas em operação as primeiras turbinas da hidrelétrica, iniciando o processo de geração de energia. Segundo o consórcio construtor da UHE Santo Antônio, a energia gerada em cada turbina é suficiente para abastecer até 350 mil residências. As demais turbinas devem entrar em funcionamento, gradualmente, até 2015.

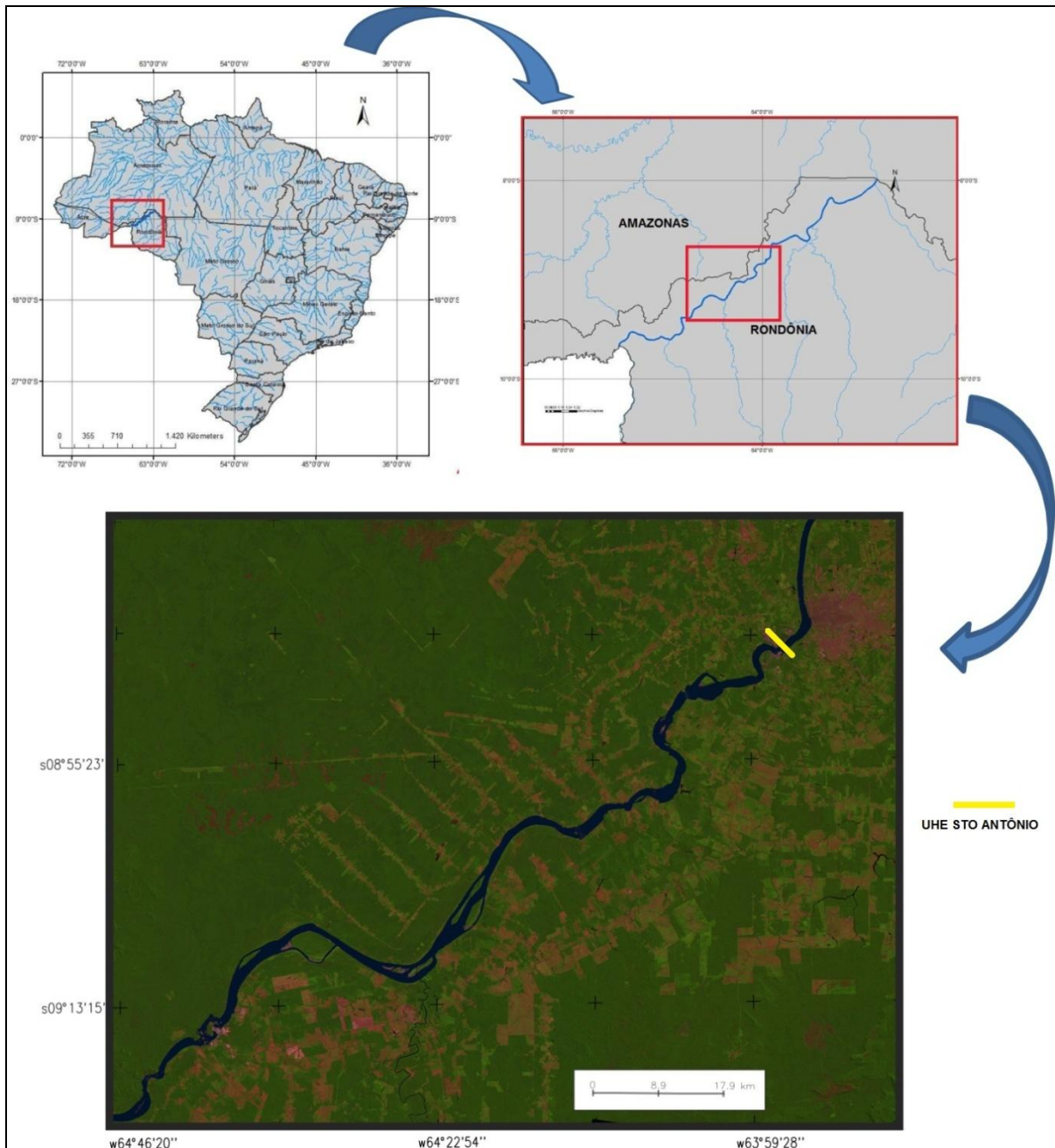
A UHE situa-se a 1.063 quilômetros da foz do rio Madeira e possui uma área de drenagem de 988.873 Km<sup>2</sup>. Outras características são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Consórcio UHE Santo Antônio - Informações Técnicas.

Nível de montante	70 metros
Nível de jusante	52,73 metros
Potência	3.150 MW
Energia firme	2.140 MW médios
Número de turbinas	44
Tipo de turbina	Bulbo
Reservatório	350 Km <sup>2</sup>
Interligação à Rede Básica (SIN):	500 kV, 5 km, (circuito duplo)

**Fonte:** Adaptado de Santo Antônio Energia (2011).

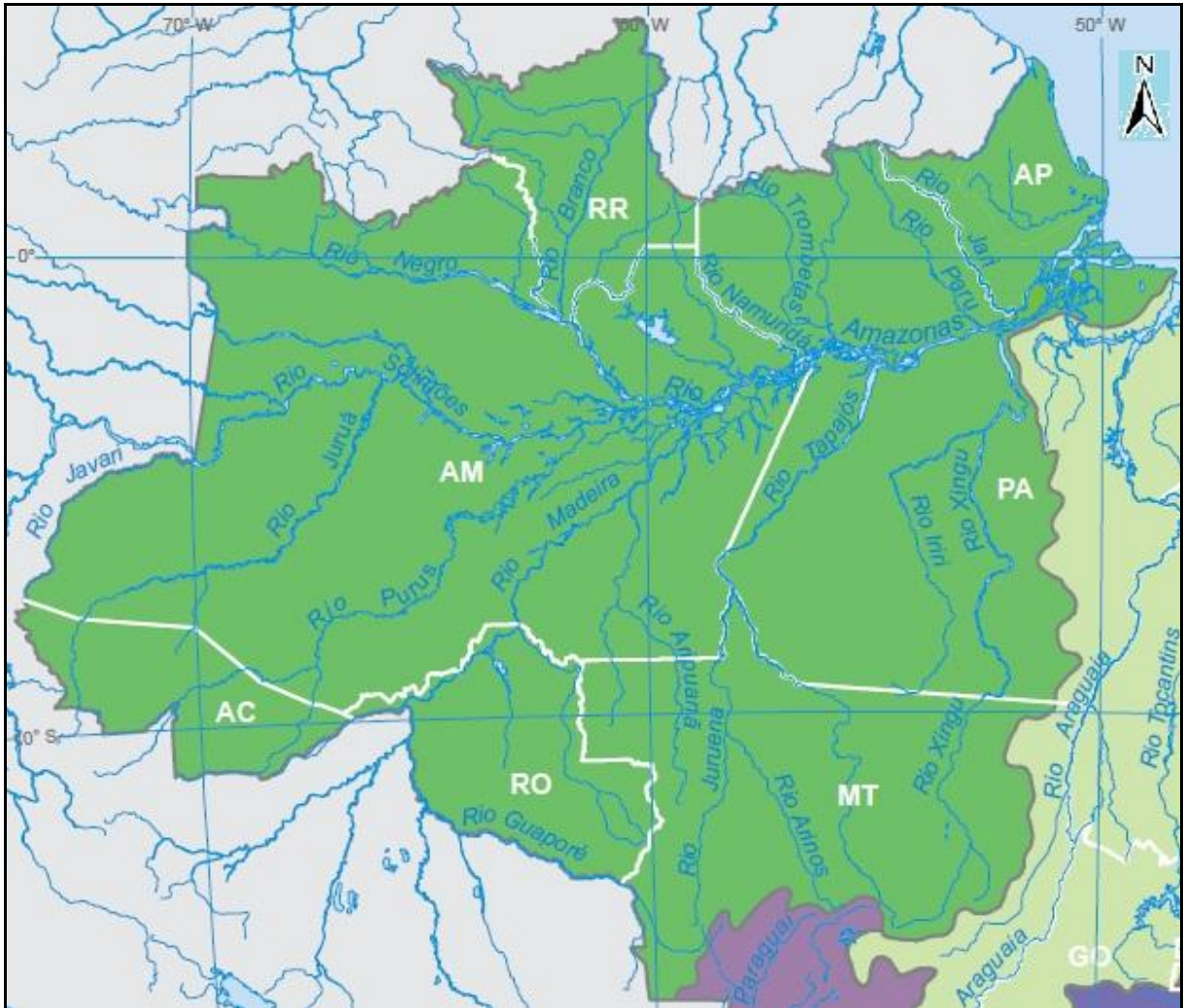
A bacia do rio Madeira, onde se localiza a área de estudo (Figura 5), recorte que engloba a UHE Santo Antônio, está inserida na porção ocidental da bacia Amazônica. Além de Porto Velho, outros municípios do estado de Rondônia estão dentro do limite da área de estudo.



**Figura 5.** Localização da área de estudo (UHE Santo Antônio), Porto Velho - RO.

A Bacia Amazônica (Figura 6) é a maior e mais densa rede fluvial do mundo, drenando aproximadamente 6,4 milhões de km<sup>2</sup> do continente sul-americano e contribuindo com 18-20% da descarga mundial das águas continentais nos oceanos. A bacia é drenada pelo rio Amazonas, coletor final desse sistema de drenagem extremamente complexo, constituindo de inúmeros igarapés e tributários de pequeno, médio e grande porte.

A Amazônia Central acha-se constituída, predominantemente, por sedimentos fluviolacustres do Terciário e de Pleistoceno continental (STERNBERG, 1975; SIOLI, 1984). As zonas periféricas setentrional e meridional estão situadas dentro da área de formações pré-cambrianas.



**Figura 6.** Bacia hidrográfica da Amazônia.

**Fonte:** IBGE (2011).

Na Amazônia<sup>1</sup>, as variações na aparência e conteúdo químico de seus sistemas aquáticos naturais estão associadas aos diferentes padrões de distribuição das condições geológicas e mineralógicas dentro de sua imensa bacia hidrográfica.

<sup>1</sup> Nesta região encontra-se a totalidade do Bioma Amazônia, que é o mais extenso dos biomas brasileiros (MAPA..., 2004), e grande parte, cerca de 20%, do Bioma Cerrado. A Amazônia abriga a maior floresta tropical do mundo, correspondendo a 1/3 das florestas tropicais úmidas do planeta, com um número ainda longe de ser precisado de espécies vegetal e animal, muitas delas endêmicas. Embora seu patrimônio natural seja ainda em grande parte desconhecido, estima-se que a Floresta Amazônica detenha a mais elevada biodiversidade, o maior banco genético e 1/5 da disponibilidade mundial de água potável.

Sioli (1950) estabeleceu uma classificação para as águas amazônicas, agrupando-as em três tipos principais:

Branças, pretas e claras. Na realidade, esses três tipos são determinados pela interação de fatores de paisagem (relevo, solo, cobertura vegetal) nas regiões nascentes, em conjunto com o clima local (regime de temperatura, quantidade e distribuição de chuvas). Não são absolutamente distintos entre si e permanentes e podem ser ligados por várias formas intermediárias, ou até variar de modo periódico e/ou casual para um mesmo corpo de água (SIOLI e KLINGE, 1962; KLINGE e OHLE, 1964; SIOLI, 1968).

Quanto ao regime hidrológico o rio Madeira e seus afluentes brasileiros tem um marcante comportamento sazonal, que é caracterizado por um período de águas baixas, de julho a outubro, e um período de águas altas, de fevereiro a maio. As vazões mínimas do ano ocorrem com maior frequência em setembro, enquanto que as máximas verificam-se nos meses de março e abril.

A partir da cachoeira de Santo Antônio (7 km a montante de Porto Velho) até sua foz, no rio Amazonas, que corresponde ao seu curso médio-baixo, o rio Madeira apresenta-se como um típico rio de planície. Nesse trecho, o rio drena áreas de sedimentos terciários da Formação Solimões, apresenta largura média de 1.000 m e gradiente médio da ordem de 1,7 cm/km. Em seu curso planicário, o Madeira apresenta boas condições de navegabilidade devido à ausência de cachoeiras e corredeiras. Contudo, por ser considerado um rio novo (sob o ponto de vista geológico), ou seja, em fase de busca do seu leito definitivo, é comum a alteração do canal de navegação a cada ciclo hidrológico.

O volume de água do Madeira é elevado. Sua descarga anual média foi estimada em 29.000 m<sup>3</sup>/s na foz, com valores máximos de 40.000 m<sup>3</sup>/s na cheia e mínimos de 4.000 m<sup>3</sup>/s na vazante (FERREIRA et al., 1988). Dentre os afluentes amazônicos, é o maior tributário em termos da descarga de água, contribuindo com aproximadamente 15% da descarga líquida total do rio Amazonas (MARTINELLI et al., 1989). De fato, por sua extensão e caudal, o rio Madeira constitui o segundo maior sistema de água branca da Amazônia, situando-se atrás do rio Solimões-Amazonas.

O Madeira é um rio extremamente barrento durante a maior parte do ano, sendo sua carga de sedimentos transportados estimada entre 500 e 600 milhões de toneladas/ano na foz (MARTINELLI et al., op. cit.), constituindo-se no principal

contribuinte (>50%) da carga de sedimentos transportada pelo rio Amazonas (Figura 7).

No âmbito de seus formadores, o rio Beni e seu principal tributário, o rio Madre de Dios, são os principais controladores da geoquímica do rio Madeira, pois entregam as cargas de sedimentos mais pesadas (40.000-300.000 toneladas/dia), seguido pelo rio Mamoré (20.000-30.000 toneladas/dia). O rio Guaporé, caracterizado como um rio de água clara por drenar a porção sul do Escudo Brasileiro e as terras baixas bolivianas (leste), não apresenta elevada carga de material em suspensão; portanto, perfaz a menor contribuição (53-161 toneladas/dia) (DE PAULA, 1990).



**Figura 7:** Tronco de árvore levada pela correnteza do Rio madeira.

O rio Madeira carrega de 50-68 mg/L de sais dissolvidos e 15-359 mg/L de material sólido em suspensão. Essa carga de material em suspensão é principalmente originária da região Andina da bacia e está entre as mais elevadas dos rios amazônicos (GIBBS, 1967). Quanto à carga dissolvida, representa cerca de 27% da carga total, e sua concentração é sempre maior na época seca, pois, na época chuvosa, há diluição frente ao acentuado volume de água. Quanto à carga em

suspensão, é quase sempre maior na época chuvosa. A carga do leito, considerada pelo autor como a transportada até a distância de 50 cm do fundo, representa parcela muito reduzida do total da carga sólida transportada, com porcentagem sempre inferior a 10% (GIBBS, 1967).

## 4.2 Vegetação

O Estado de Rondônia situa-se na Região Fitogeográfica Neotropical que ocupa os trópicos do continente americano, estendendo-se desde o sul dos Estados Unidos até o estreito de Magalhães. Dentre seus domínios, o Domínio Amazônico “cobre a maior parte da América do Sul e parte da América Central, com uma superfície de aproximadamente 5 milhões de quilômetros quadrados. Trata-se de um território biogeográfico de clima predominantemente quente e úmido, coberto por vegetação densa e com uma abundante flora e fauna. Por sua extensão, constitui-se, sem dúvida, no território com maior volume de biomassa da Terra” (CABRERA & WILLINK, 1973).

Em território rondoniense, das nove províncias biogeográficas constituintes do Domínio Amazônico propostas por CABRERA e WILLINK (op. cit.), estão presentes a Província Amazônica e a Província do Cerrado.

A Província do Cerrado é constituída por uma vegetação xeromórfica, presente na maior parte do Brasil Central, ocupando uma área de mais de 2.000.000 km<sup>2</sup>, correspondendo a aproximadamente 23% do território brasileiro (RIBEIRO & WALTER, 1998). Extensões periféricas são observadas ao sul de Rondônia, sul do Maranhão, sudoeste de Mato Grosso e São Paulo (GIBBS et al. 1983).

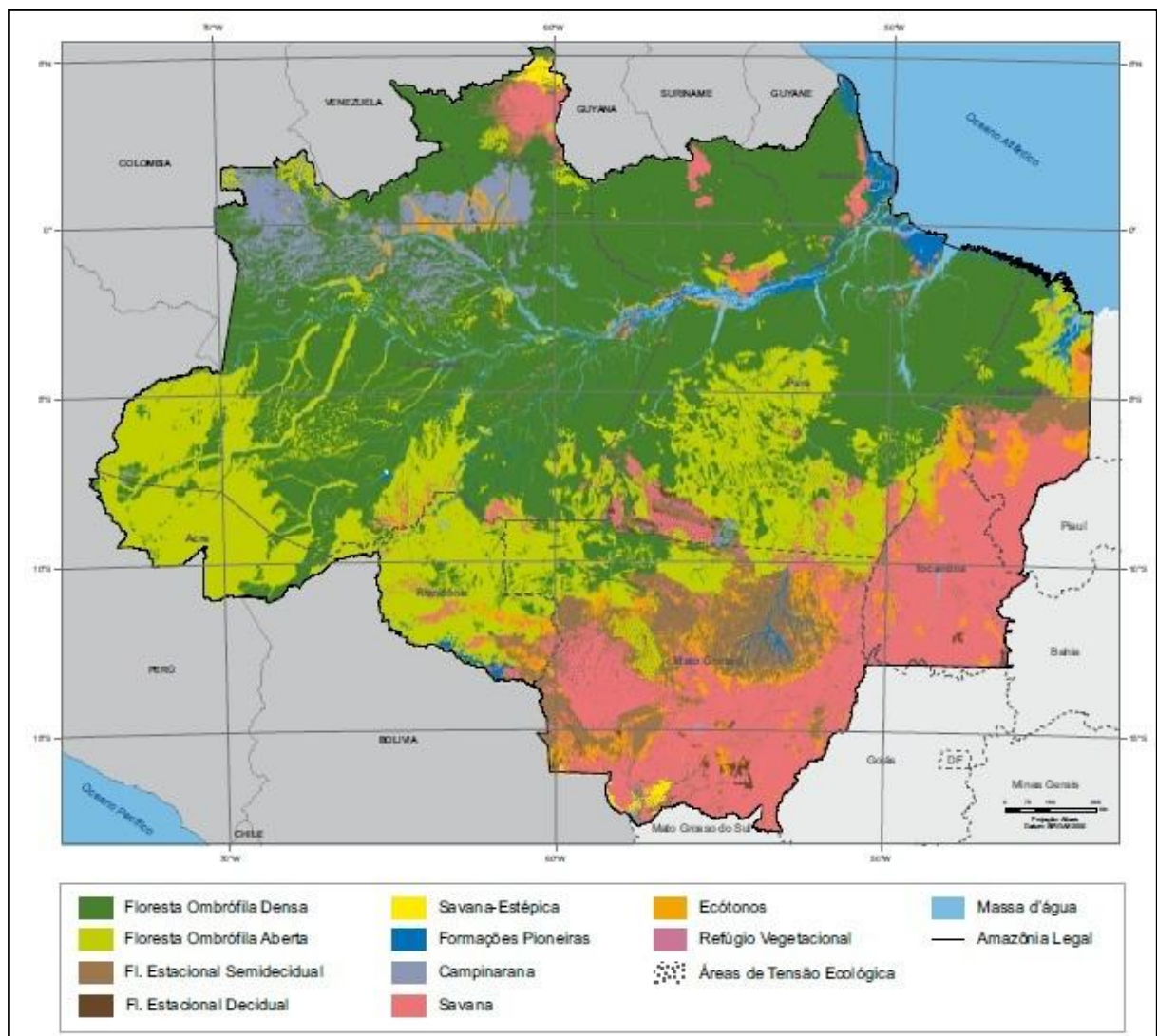
As áreas de vegetação aberta presentes em Rondônia podem ser classificadas como savanas amazônicas e cerrados, entendendo-se por savanas amazônicas aquelas áreas que, apesar da forte afinidade florística e fisionômica com os Cerrados do Brasil Central, apresentam uma baixa riqueza florística quando comparados com o Cerrado (EITEN, 1977).

No estado de Rondônia, o Cerrado e as Savanas amazônicas ocupam uma área de 13.115 km<sup>2</sup>, equivalente a 5,2% de sua área total. A partir dos municípios de Vilhena e Colorado do Oeste, na divisa com Mato Grosso, estas formações estendem-se ao longo das serras dos Parecis e dos Pacaás Novos até os municípios de Nova Mamoré e Guajará-Mirim expandindo-se até aqueles municípios

de maneira disjunta, em meio a uma área florestal contínua, restringindo-se a áreas de solo raso cuja retenção de água é muito baixa (LISBOA, 1989).

Em Rondônia, no sul do estado, há uma área típica de Cerrado, com riqueza florística semelhante àquela do Brasil Central. À medida que se vai afastando em direção ao oeste, a área antes contínua torna-se disjunta, com inúmeras “ilhas” de savanas em meio a floresta ombrófila, ocorrendo juntamente com a disjunção uma diminuição da diversidade florística, enquadrando esta áreas no conceito proposto por EITEN (1977).

Na publicação Geoestatísticas de Recursos Naturais da Amazônia Legal em 2003, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) visualizam-se as classes de vegetação primária da Amazônia Legal (Figura 8).



**Figura 8:** Mapa da vegetação primária da Amazônia Legal.

**Fonte:** Geoestatísticas de Recursos Naturais da Amazônia Legal - IBGE (2011).

#### 4.2.1 Florestas Ombrófilas Abertas e Densas

Florestas tropicais úmidas, pluviais, sempre verdes. Dossel bem distinto, com indivíduos emergentes e sub-bosque estratificado. Ocorre sobre latossolos, podzólicos, lateritas de idades variadas desde o quaternário (aluviais), predominando no terciário até o pré-cambriano.

- **Abertas:** Florestas com dossel descontínuo, permitindo ausência de área foliar entre 30 e 40 %. Podem estar associadas a palmeiras, cipós, bambus e sororocas.
- **Densas:** Florestas com dossel contínuo, fechado. Dominância de árvores na abóbada, sem associações co-dominantes. A principal característica ecológica desse tipo de vegetação reside nos ambientes ombrófilos. Sua característica ombrotérmica está presa aos fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25%) e de alta precipitação, bem distribuídas durante o ano (de 0 a 60 dias secos). Dominam no ambiente dessas florestas os latossolos com características distróficas, originados de vários tipos de rochas.

Segundo IBGE (2011), a floresta ombrófila densa foi dividida em subformações, que apresentam fisionomias diferentes, ordenadas segundo fatores topográficos: floresta ombrófila densa aluvial, ombrófila densa das terras baixas e ombrófila densa submontana.

##### 4.2.1.1 Floresta Ombrófila Aberta Aluvial / Floresta de Áreas Inundáveis

É uma subformação da Floresta Ombrófila Aberta. Este tipo de floresta cresce em áreas de solos hidromórficos, rasos, mal drenados, em terrenos planos de até 100 m de altitude e nas planícies de inundação de rios com forte sazonalidade. As florestas aluviais, geralmente, possuem porte mediano, até 30 m de altura, latifoliadas e sempre verdes, com caducifolia insignificante (menos de 5 %).

O dossel pode ser uniestratificado, com alguma emergência ocasional e abertura de até 30%. O sub-bosque geralmente é denso, com dominância do estrato arbustivo-herbáceo, possibilitando pouca visibilidade. A densidade pode ser superior a 600 árvores por hectare. Nos solos distróficos a densidade é maior, mas o tamanho médio das árvores diminui. São comuns espécies como o açai (*Euterpe*



*precatoria*), paxiúba barriguda (*Iriartea ventricosa*) e paxiúba comum (*Socratea exorrhiza*), sororoca (*Phenakospermum guianense*) dentre outras.

As florestas de áreas inundáveis apresentam dossel com emergentes e abertura menor do que nas florestas abertas não inundadas (até 20 %). Na maioria das vezes o sub-bosque é limpo. Os indivíduos arbóreos freqüentemente apresentam raízes tabulares, sendo que algumas espécies podem apresentar caducifolia, como resposta ao excesso de água, como as *Hevea* spp. São comuns espécies tolerantes a inundações, como *Virola surinamensis*, *V. Crebinervia*, *Iriartea ventricosa*, *Euterpe*, *Mauritia*. Ocorrem ainda o jaraí (*Sarcaulus brasiliensis*), jacareúba (*Calycophyllum brasiliense*), etc.

#### **4.2.1.2 Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas**

Floresta crescendo sobre Latossolos ou solos lateríticos, medianamente profundos e bem drenados. Dominam a paisagem em grande parte de Rondônia, especialmente na zona de transição para a Amazônia.

O dossel é aberto até 40%, podendo ser uni-estratificado ou com emergentes. Nesta categoria as florestas podem ainda ser mistas com palmeiras e/ou cipós. O sub-bosque geralmente é denso, com a presença de pequenas palmeiras (*Geonoma* spp., *Astrocaryum mumbaca*, *Bactris* sp.), *Maranthaceae*, sororocas e guarimãs.

As espécies de palmeiras mais comuns de dossel são *Attalea maripa*, *A. phalerata*, *A. martiana*, mistas com espécies arbóreas como cedrorana (*Cedrelinga catanaeformis*), mogno (*Switenia macrophylla*), cerejeira (*Torresia acreana*) dentre outras. Em geral a estrutura da comunidade comporta até 180 espécies e uma densidade entre 400 e 500 árvores/ha.

#### **4.2.1.3 Floresta Aberta Submontana**

Estas florestas crescem sobre solos antigos, rasos, fortemente intemperizados, com afloramento de rochas e seixo superficial, rolado do cristalino. A topografia é declivosa (até 40°). A paisagem é dominada por vales e ravinas.

Este tipo de floresta possui indivíduos emergentes ao dossel, podendo estar associadas a palmeiras e cipós. Entre as palmeiras, destacam-se o babaçu (*Attalea phalerata*), o cococabeçudo (*A. martiana*) e inajá (*A. maripa*).

Nos vales profundos, de difícil acesso, nas fontes d'água de rios que nascem nas serras é possível encontrar enclaves de vegetação higrófila com o aparecimento de indivíduos de açai, sororoca e paxiúba. No dossel ocorrem espécies arbóreas como o cumaru (*Dipteryx odorata*), margonçalo (*Hieronima laxiflora*) e gema-de-ovo (*Poecilanthe effusa*).

#### **4.2.1.4 Floresta Ombrófila Densa Aluvial**

Estas florestas crescem sobre solos de origem hidromórfica, mal drenados e rasos. Podem ficar saturados durante as chuvas de inverno, inundando o terreno. Algumas vezes é possível distinguir os canais de drenagem, produzindo um relevo irregular. Ocorrem com frequência nas bacias dos rios de água branca como o Mamoré e Madeira, bem como naqueles de água mais escura como o Guaporé, Cautário e Ouro Preto.

Nesse tipo de floresta são comuns as espécies que crescem sobre solos não consolidados como a paxiúba e o açai. A densidade varia bastante, mas geralmente é maior o número de árvores do que de florestas densas que crescem em terrenos do período terciário, onde as árvores são maiores.

#### **4.2.1.5 Floresta Ombrófila Densa Submontana**

Tipo florestal de porte elevado que cresce principalmente sobre os planaltos e nos interflúvios tabulares do período paleozóicos e do período mesozóicos das serras dos Parecis e Pacaás Novos. Cresce sobre solos rasos, antigos e arenosos como podzólicos vermelhos e areias quartzosas.

Associadas a essa categoria, podem aparecer encraves de matas de cipós e de bambu, provavelmente produzidas por modificações abruptas no solo. São comuns espécies arbóreas frondosas como o breu sucuruba (*Tetragastris altissima*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), jutaí pororoca (*Dialium guianensis*), quaruba cedro (*Vochysia innundata*) e cedrorana (*Cedrelinga catanaeformis*), dentre outras.

### 4.3 Clima

Como toda a Amazônia, a bacia do rio Madeira possui clima úmido. Porém, enquanto, na maior parte de seu território, o clima é super-úmido sem sequer um mês seco, ou úmido com 1 a 2 meses secos, na bacia o clima úmido possui três meses secos em média. Decorre daí mais um caráter de transição, agora em direção ao clima semi-úmido do Brasil Central. Sob o ponto de vista do regime térmico, a bacia do rio Madeira participa do clima regional da Amazônia: é quente, uma vez que, em qualquer mês, a temperatura média se mantém acima de 18°C, permanecendo até mesmo acima de 20°C.

Em resumo, o clima na bacia do rio Madeira é:

Equatorial, com transição tropical; úmido, com forte decréscimo de precipitação no inverno; três meses ecologicamente secos (junho, julho e agosto) em média; sujeito a fortes desvios pluviométricos estacionais ao longo dos anos; quente, durante todo o ano; insignificante amplitude térmica anual e notável amplitude térmica diária, especialmente no inverno, quando as mínimas noturnas descem, com frequência, abaixo de 18°C nas planícies e abaixo de 9°C nos altiplanos das chapadas. Atendendo aos traços predominantes, o clima corresponde ao tipo Aw da classificação de Köppen, temperaturas médias mensais superiores a 18 °C e estação seca bem acentuada, e ao tipo Termoxeroquimênico do método de Gausson e Bagnouls.

Quanto aos Principais Sistemas de Circulação Atmosférica destaca-se o anticiclone tropical dos Açores e o anticiclone tropical do Atlântico Sul, produzindo ventos do NE e do E, são os fatores externos de maior influência na circulação atmosférica da Amazônia. Contudo, a intensa radiação solar própria das baixas latitudes origina uma forte atividade convectiva que, mediante interações complexas, condiciona fundamentalmente o comportamento climático da macrorregião e dos diferentes setores amazônicos. Em particular, associado à atividade convectiva, desenvolve-se, com frequência, o anticiclone denominado Alta da Bolívia, localizado no altiplano boliviano, de grande influência no regime pluviométrico do setor SW da Amazônia.

No marco de uma exposição muito simplificada dos sistemas gerais de circulação atmosférica da Amazônia, cabe identificar, em primeiro lugar, o

representado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), zona de convergência dos ventos do NE e do E, do anticiclone dos Açores e do anticiclone do Atlântico Sul.

As correntes ZCIT, de posição média no Hemisfério Norte, descem com certa frequência para o Hemisfério Sul, principalmente no outono, com Linhas de Instabilidade, denominadas LIP (Linhas de Instabilidade Profundas) ou LIC (Linhas de Instabilidade Costeiras), conforme penetrem no continente ou não, causando aguaceiros que atingem com pouca frequência a região, no setor meridional da Amazônia. Entretanto, a situação no verão é diferenciada:

Durante o verão, a intensa atividade convectiva no interior da massa de ar sobre a Amazônia interage com sistemas frontais procedentes da frente polar semi-estacionada no sul, tornando possível o aprofundamento e conseqüente formação de depressões barométricas, denominadas Linhas de Instabilidade Tropicais (LIT), induzidas entre os domínios de alta pressão. No seio de uma LIT, o ar em convergência (ventos ciclônicos) acarreta, geralmente, céu muito encoberto por cumulus nimbus, com chuvas e trovoadas, por vezes granizo, e ventos de moderados a fortes, com rajadas que atingem 60 a 90 km/hora. Depois de formadas, deslocam-se para E. As chuvas são de pouca duração e caem, geralmente, durante as horas da tarde ou no início da noite, quando, pelo forte aquecimento diurno, intensifica-se a radiação terrestre e as correntes convectivas. No inverno, as correntes procedentes do anticiclone polar, com suas descontinuidades frontais, podem penetrar na região amazônica. Em sua origem, na região gelada da Antártica, a massa de ar é fria, seca e estável, caracterizada por uma forte inversão térmica. Na trajetória SW-NE da frente (FP), absorve calor e umidade da superfície do mar, crescentes no caminho para o Equador. Nas latitudes tropicais, a inversão desaparece, e o ar polar torna-se instável, atingindo a região, com sua frente orientada no sentido NW-SE, provocando chuvas frontais acompanhadas de sensível decréscimo de temperatura, localmente denominada de friagem.

Esse sistema de circulação, originário nas altas latitudes, é muito importante para evitar possíveis secas durante o inverno, quando são bastante reduzidas as chuvas de LIT e ZCIT.

#### 4.4 Precipitação

As precipitações anuais na bacia do rio Madeira, a montante de Porto Velho têm grande variabilidade espacial, variando desde 500 a 5.000 mm. A bacia apresenta dois núcleos de máximos, superiores a 5.000 mm, registradas a sudoeste, em El Chapare, na Bolívia, e nas cabeceiras do rio Madre de Dios / Beni.

A região de maior escassez (relativa) de chuvas ao longo do ano localiza-se na cabeceira do rio Grande, afluente do rio Mamoré, em território boliviano. Em território brasileiro, as precipitações anuais variam entre 1.500, ao sul, e 2.200 mm, ao norte.

Através da caracterização da distribuição pluviométrica<sup>2</sup> na bacia do rio Madeira no trecho que compreende a área de estudo, concluiu-se que:

- a chuva média anual observada em Abunã é de 1.595 mm, em Palmeiral é de 1.700 mm e em Porto Velho é de 2.200 mm;

- o período chuvoso localiza-se entre os meses de novembro e abril, com um quadrimestre mais chuvoso abrangendo os meses de dezembro a março;

- a estiagem inicia-se em maio e estende-se até outubro, com os meses mais secos no trimestre junho-agosto;

- a marcha anual da distribuição dos dias de chuva é bem regular em Abunã, perdendo essa regularidade para jusante do trecho. Mesmo assim, em média, os meses com maior incidência de dias chuvosos localizam-se no quadrimestre outubro-dezembro, quando ocorrem cerca de 45% dos dias com chuva no ano médio. Os restantes 55% ocorrem nos demais meses, com uma menor incidência no trimestre junho–agosto, com apenas 16%;

- no ano, ocorrem, em média, 138 dias com chuva em Abunã, 197 em Palmeiral e 200 dias em Porto Velho.

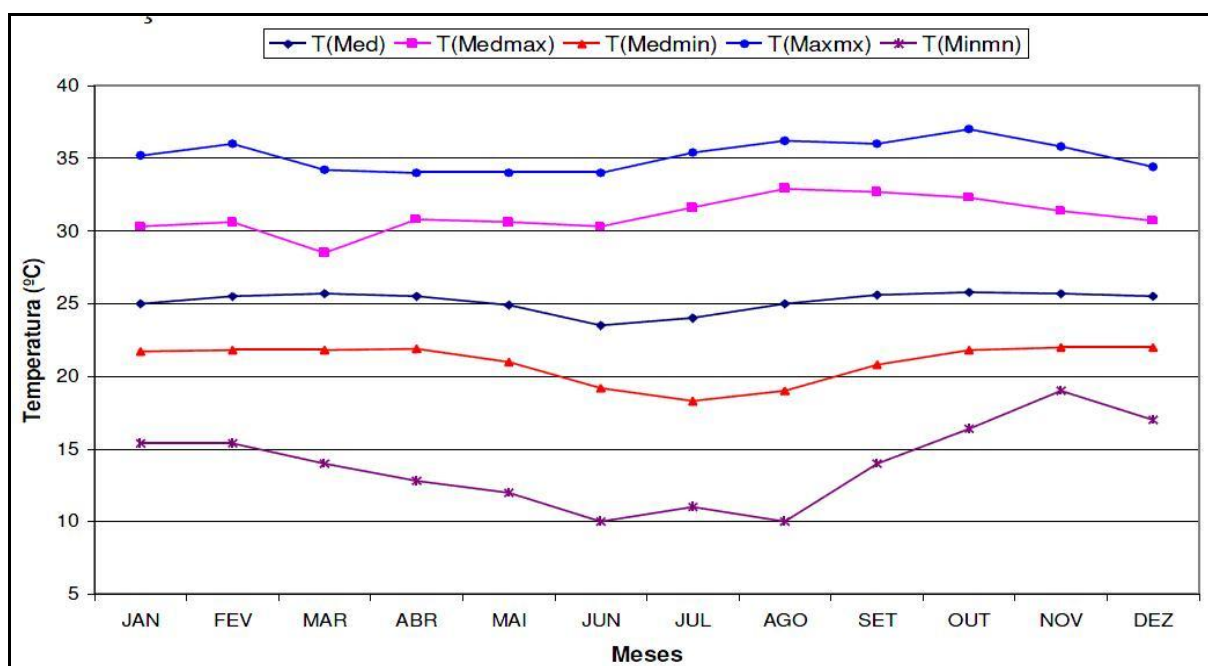
---

<sup>2</sup> De acordo com o EIA-RIMA do Consórcio Santo Antônio Energia, compreendeu a distribuição média anual ao longo do ano e a distribuição anual dos dias com chuva, para as estações de Porto Velho, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (1961 a 1990), Palmeiral, operada pela Agência Nacional de Águas - ANA (1978 a 1988), e Abunã, operada pela ANA (1976 a 1988).

## 4.5 Temperatura

Para caracterização das temperaturas na bacia do rio Madeira na região de implantação do aproveitamento, utilizaram-se as normais climatológicas da estação de Porto Velho, publicadas pelo INMET (1992).

A temperatura média anual na região é estimada em 25,2° C, com médias extremas de 31,1° C e 20,9° C. Verifica-se, de acordo com o apresentado na Figura 9, a existência de um trimestre mais frio entre junho e agosto, quando a temperatura mínima absoluta atingiu valores da ordem de 10°C. O período mais quente ocorre no trimestre setembro-novembro, tendo a temperatura máxima observada atingindo cerca de 35°C.



**Figura 9.** Variação das temperaturas médias ao longo do ano (Méd), bem como as médias das máximas (Medmax), as médias das mínimas (Medmin) e as máximas e mínimas absolutas (Maxmx e Minmn, respectivamente) para o período 1975/1990, estação de Porto Velho - RO.

**Fonte:** Estudos Hidrológicos do rio Madeira - Distribuição Anual das Temperaturas em Porto Velho, período: 1975/1990.

A ocorrência de temperaturas baixas durante alguns dias no período maio-agosto de anos indeterminados acha-se associada à influência de anticiclones que se formam nas altas latitudes e atravessam a Cordilheira dos Andes em direção ao sul do Chile.

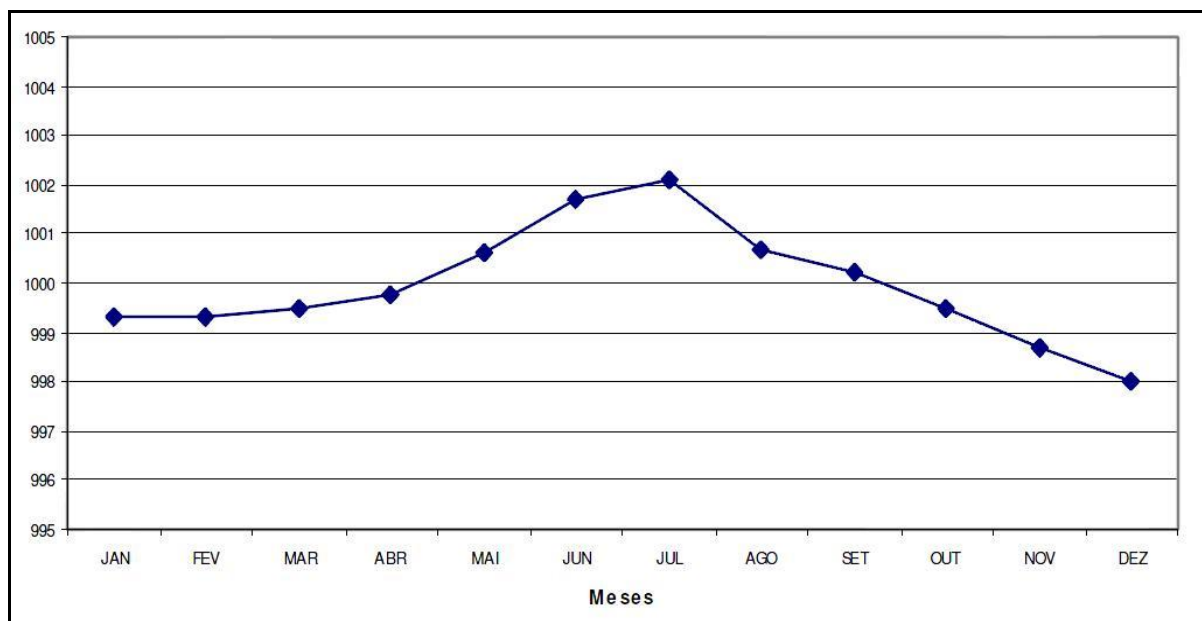
Quando esses anticiclones se apresentam com intensidades excepcionais, há formação de aglomerados convectivos que intensificam a formação de sistemas

frontais na Região Sul do país. Esses aglomerados deslocam-se em direção à região amazônica, causando o fenômeno denominado “friagem”, acarretando temperaturas mínimas absolutas que atingem a valores inferiores a 12°C.

#### 4.6 Umidade Relativa

De acordo com o apresentado pelo estudo de impacto ambiental, elaborado pelo Consórcio construtor da UHE Santo Antônio, da área de estudo a umidade relativa média nesse local é de 85%, os valores extremos médios anuais da umidade relativa oscilam entre máximos da ordem de 89% e mínimos superiores a 81%. Já o período em que ocorrem os valores mínimos situa-se no bimestre julho–setembro, e os máximos, no de janeiro-março.

A Figura 10 apresenta a variabilidade anual da umidade relativa da bacia do rio Madeira na estação de Porto Velho.



**Figura 10.** Variabilidade anual da umidade relativa da bacia do rio madeira.

**Fonte:** Estudos Hidrológicos do rio Madeira - Distribuição Anual das Temperaturas em Porto Velho, período: 1975/1990.

#### 4.7 Aspectos Geomorfológicos

A área de estudo do rio Madeira, compreendida no trecho entre a cachoeira de Santo Antônio e a foz do rio Abunã, está inserida no Megalineamento Itacoatiara -

Madre de Dios (IGREJA e CATIQUE, 1997; BEMERGUY *et al.*, 2002) e enquadra-se na Unidade Morfoestrutural *Alto Estrutural Guajará Mirim - Porto Velho* (QUADROS *et al.*, 1996; SOUZA FILHO *et al.*, 1999). O alto estrutural representa uma porção do embasamento soerguido por tectônica durante o Cenozóico, sendo que o rio Madeira, nesse trecho, encontra-se num vale encaixado, marcado por níveis de base locais (corredeiras, travessões e saltos) e exguas planícies de inundação, numa nítida condição de ajuste ao nível de base regional.

A margem esquerda do rio Madeira, na região compreendida entre a cachoeira de Santo Antônio e Jirau, é caracterizada por um extraordinário domínio de superfícies de agradação, especialmente, de antigos terraços fluviais do rio Madeira de idade Pleistocênica podendo, até mesmo, registrar idades mais antigas (pliocênica, correlatas possivelmente  Formação Rio Madeira). O fato marcante decorre da notável expressão espacial desses terraços fluviais altos e não dissecados, que abrangem dezenas de quilmetros além da margem esquerda do rio Madeira e constituindo, por vezes, no divisor rebaixado Madeira-Purus. Terraços fluviais com dissecação baixa e/ou dissecação média ocorrem mais próximos ao leito do rio Madeira. Junto à sua calha, desenvolvem planícies de inundação geralmente pouco extensas.

De forma inversa ao observado na margem direita do rio Madeira, as superfícies aplainadas e os baixos platôs lateríticos ocupam apenas uma pequena área desse trecho da margem esquerda do rio Madeira. Conforme mencionado anteriormente, tal configuração morfológica sugere uma migração gradual do rio Madeira ao longo do Quaternário, condicionado por basculamentos neotectônicos de blocos.

A partir da cachoeira do Jirau, essa margem esquerda é caracterizada pelo domínio das superfícies aplanadas, similares aos da margem direita, sobressaindo, todavia, platôs alçados por curtas escarpas; pequenas serras alinhadas em cristas e pontes (*inselbergs*) com cotas entre 100 e 250 metros acima da superfície aplainada regional e vertentes declivosas com gradientes entre 20 e 45. Predominam nesta área os arenitos ortoquartzíticos da Formação Mutum-Paraná e os granitos Rondonianos (ADAMY e ROMANINI, 1990; e RIZZOTTO *et al.*, no prelo).

Destaca-se, nesse contexto, a serra dos Três Irmãos (365 m), a serra do Candomblé e a serra dos Caripuninhas. Freqüentemente, esses pequenos alinhamentos serranos encontram-se fragmentados em agrupamentos de morros



dissecados, decorrente de um longo período de ação de processos denudacionais que desmantelaram esses terrenos mais elevados na Amazônia.

Na região leste, ressalta-se um extenso alinhamento serra no degradado e parcialmente desfeito em morrotes alinhados, conhecido geograficamente como serra dos Robertinhos, que marca um importante lineamento estrutural E-W, atravessando o rio Madeira justamente no salto Jirau controlando, portanto, este nível de base local. Do ponto de vista geológico, é constituído por conglomerados da Formação Palmeiral, alçados por processos tectônicos.

Nos terrenos planos, predominam Podzólicos Vermelho-Amarelos álicos e plínticos sobre os terraços fluviais. Esses solos caracterizam-se por serem imperfeitamente drenados. Subordinadamente ocorrem Latossolos Vermelho-Amarelos, com textura cascalhenta e bem drenados, diretamente associados com baixos platôs lateríticos e Solos Aluviais distróficos situados sobre as atuais planícies de inundação e ilhas fluviais (AMARAL FILHO *et al.*, 1978).

Apesar de apresentarem um lençol freático profundo, os níveis freáticos suspensos decorrentes da baixa permeabilidade dos solos e o relevo excepcionalmente plano derivado da superfície deposicional, mantêm os terraços numa condição alagadiça durante boa parte da estação chuvosa.

Antigas frentes de lavra de minério estanífero, atualmente abandonadas, foram responsáveis pela formação de lagos, localizados especificamente sobre as frentes de São Lourenço e Macisa.

Nesses terrenos acidentados predominam Podzólicos Vermelho-Amarelos álicos (Argissolos Vermelho-Amarelos) e Solos Litólicos distróficos (Neossolos Litólicos). Provavelmente, a ocorrência dos Neossolos Litólicos está correlacionada com os relevos serranos com vertentes mais íngremes e afloramentos de rocha. Esses solos se caracterizam por serem rasos e apresentarem alta vulnerabilidade à erosão.

#### **4.8 Gênese e Evolução Morfodinâmica do Relevo**

De uma forma genérica, pode-se estabelecer que a morfologia do relevo de toda a seção do vale do rio Madeira, compreendido entre as localidades de Porto Velho e Abunã, caracterizam-se por uma superfície marcada por uma longa fase de

denudação, erosão e aplanamento. Esse fato é documentado pelo amplo domínio espacial das superfícies de aplanamento.

Assim sendo, pode-se considerar que a região em apreço experimentou, pelo menos ao longo do Terciário Superior e Quaternário, uma longa fase de baixa atividade tectônica e intensa atividade erosiva que permitiu a elaboração de uma superfície de aplanamento bem desenvolvida e espraiada.

Partindo de uma abordagem genética, a partir da qual, as superfícies de aplanamento seriam originadas pelo recuo lateral progressivo das vertentes e geração de pedimentos e pediplanos (KING, 1953; BIGARELLA *et al.*, 1965), os baixos platôs podem ser associados à Superfície Velhas, ao se estabelecer uma possível analogia para a Amazônia das análises elaboradas por King (1956) e Braun (1971) no Sudeste e Centro-Oeste brasileiros. Considerando esta premissa, o vasto pediplano observado na região norte de Rondônia poderia ser correlacionado ao pediplano (BIGARELLA *et al.*, 1965) ou à Superfície Interplanáltica (AB´SABER, 1972).

O topo dos morros testemunhos sustentados pelos arenitos da Formação Palmeiral e dos baixos platôs não dissecados e protegidos por crostas detrítico lateríticas representam um marco fisiográfico de grande relevância para a compreensão da evolução geomorfológica dessas áreas aplanadas e florestadas em Rondônia.

Essas superfícies tabulares dos baixos platôs são, em geral, truncadas por rebordos erosivos com desníveis que variam entre 20 e 50 metros, abaixo das quais se desenvolve uma extensa superfície mais recente, o pediplano, com uma ampla distribuição espacial. Esses rebordos erosivos são, via de regra, demarcados por cornijas resistentes à erosão, oriundas do afloramento da couraça ferruginosa.

Portanto, os baixos platôs destacam-se na paisagem por erosão diferencial. O pediplano, por sua vez, caracteriza-se por extensas superfícies planas a suavemente onduladas marcadas por incipiente entalhamento fluvial moderno, por vezes, mais ou menos expressivo. Mello *et al.* (1978) conferem uma idade neopleistocênica para o referido pediplano. Por sua vez, os dados contemplados pelo Zseero (1999) preferem não arriscar considerações genéticas, preferindo, simplesmente, denominá-las de “superfícies de aplanamento”.

Todavia, devido a sua extensão e grau de desenvolvimento, essa ampla superfície aplanada deve ter sido gerada durante todo o Cenozóico Superior

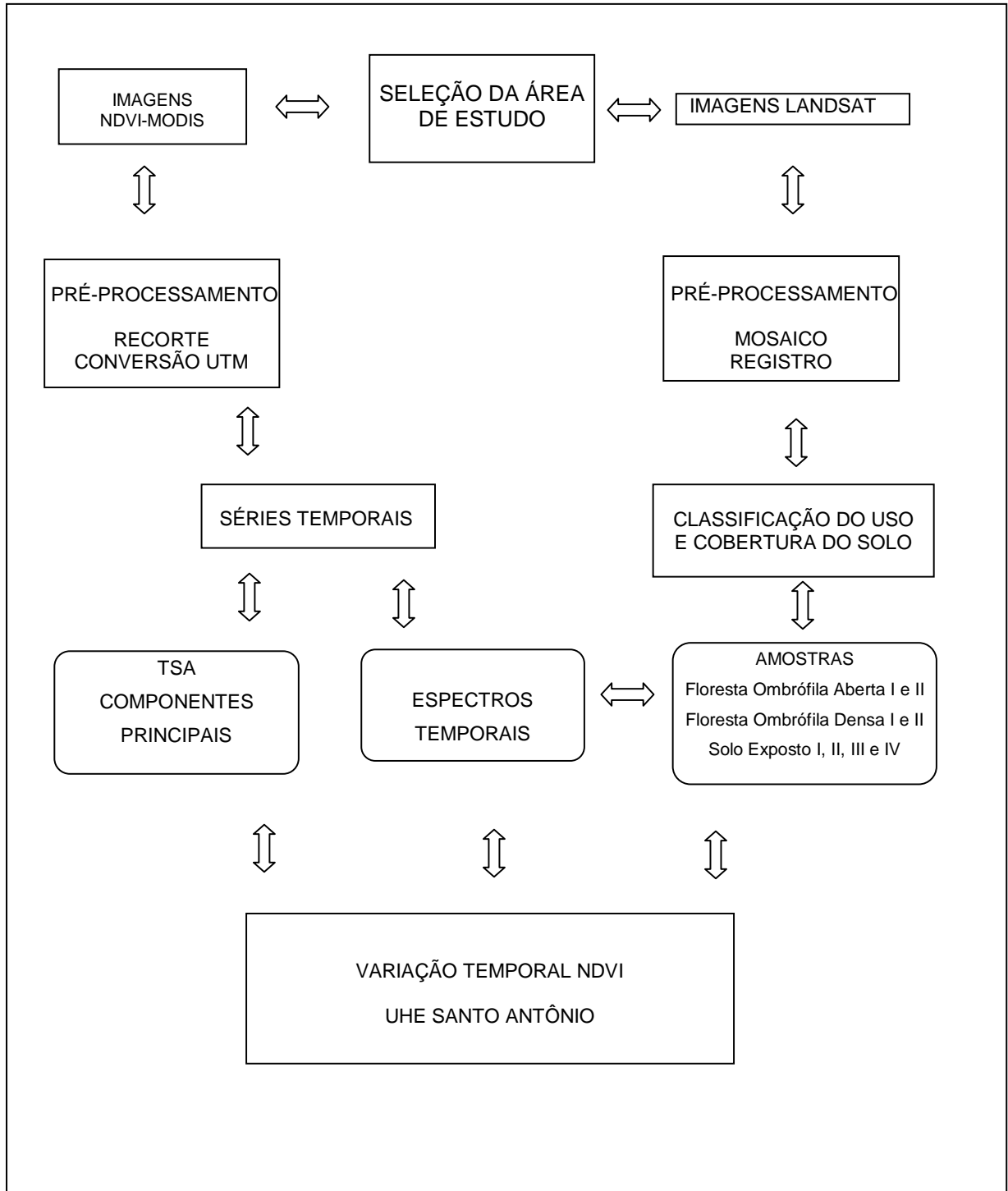
(Neógeno), pois o Neopleistoceno é um período geológico muito breve para o aplanamento avançado de uma vasta superfície de erosão, conforme já sugerido pela literatura (YOUNG, 1983; TWIDALE, 1998; dentre outros).

Assim sendo, considera-se que a superfície de aplanamento que abrange grande parte de área de estudo seja correlacionada às Superfícies Velhas postuladas por King (1956), de idade Plio-Pleistocênica.

Entretanto, o modelo clássico de evolução geomorfológica através de processos de pediplanação e pedimentação pressupõe um padrão erosivo comandado por processos de desagregação mecânica e recuo a remontante das encostas sob um regime climático dominante que oscilaria entre o semi-úmido e semi-árido.

## 5. METODOLOGIA

Para a realização desta pesquisa várias etapas foram necessárias no sentido de viabilizar os objetivos propostos. Desta forma, os procedimentos metodológicos estruturam-se na sequência apresentada no fluxograma da Figura 11.



**Figura 11.** Fluxograma das etapas desenvolvidas para a pesquisa.

### 5.1 Imagens do sensor MODIS: download, seleção e processamento.

No estudo da variabilidade temporal do NDVI para estimativa de biomassa foi utilizada a coleção de imagens disponíveis do produto NDVI do sensor MODIS de 01 de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2011, obtidas gratuitamente, através de *download*, na versão mais atualizada (V005) no banco de dados da NASA Reverb ECHO.

Para o download das imagens foi necessário incluir, no site da NASA, as informações de coordenadas da área de interesse e as características relacionadas ao sensor. Neste caso, foi selecionada a opção NDVI /MODIS 16 dias, com resolução espacial de 250m. Depois de selecionar outras opções como o formato FTP, as imagens foram enviadas para download, através de um link, no e-mail informado.

As imagens do sensor MODIS possuem uma numeração que identifica as datas de acordo com os dias julianos. A Tabela 3 identifica o dia Juliano, a data e o mês das imagens NDVI-MODIS para o período de um ano.

**Tabela 3:** Dia juliano, data e mês correspondente as imagens NDVI-MODIS.

Dia juliano	Dia inicial	Mês
001	1	Janeiro
017	17	Janeiro
033	2	Fevereiro
049	18	Fevereiro
065	6	Março
081	22	Março
097	7	Abril
113	23	Abril
129	9	Maio
145	25	Maio
161	10	Junho
177	26	Junho
193	12	Julho
209	28	Julho
225	13	Agosto
241	29	Agosto

257	14	Setembro
273	30	Setembro
289	16	Outubro
305	1	Novembro
321	17	Novembro
337	3	Dezembro
353	19	Dezembro

O produto selecionado foi o MOD13, imagens de 16 dias, do sensor MODIS, satélite TERRA, com órbita h11v9. Para cobrir a área de estudo foi necessária a utilização de apenas uma cena. Os arquivos disponibilizados continham 23 imagens para cada ano. Entretanto, após o processamento e o tratamento das imagens este número reduziu significativamente em quase todos os anos da série temporal.

Vários foram os fatores que prejudicaram a utilização das imagens, como a presença de nuvens sobre a área de estudo, erro na disponibilização dos arquivos, que impedia a visualização da imagem e a inexistência de algumas datas, como por exemplo, as imagens dos primeiros meses do ano 2000, que não foram disponibilizadas para download no site da NASA.

Na análise das Componentes Principais foram utilizadas 85 imagens. Para a geração dos espectros temporais de NDVI foi utilizado um número maior de imagens: 110. Esta quantidade a mais se deve a escolha das amostras em locais específicos, que não estavam cobertos por nuvens.

Para a seleção das imagens foi utilizado o software *Environment For Visualizing Images*, - ENVI 4.5 - um sistema de processamento de imagens de sensoriamento remoto desenvolvido pela RSI (Research Systems Inc).

Após a seleção das imagens foram realizados os procedimentos de conversão do sistema de coordenadas, recorte da área de estudo, e divisão para transformação da imagem para NDVI. Todas estas etapas foram realizadas no software IDRISI Taiga (Clark Labs ©).

As imagens do formato *hdf* do sensor MODIS estão no sistema de coordenadas sinusoidal. Para a pesquisa foi realizada a conversão para o sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), através do software IDRISI. Ao realizar este procedimento foi necessário definir as coordenadas exatas

da área de estudo, desta forma, o recorte é realizado automaticamente, devido a informação exata do local de interesse.

Utilizando a ferramenta calculadora do software IDRISI Taiga foi realizada a divisão por 10.000. Essa operação é utilizada para transformar os valores das imagens de NDVI para a variação -1 a +1. Posteriormente, foram geradas as imagens de NDVI no software IDRISI Taiga, utilizando a banda da região do vermelho do espectro eletromagnético e a banda do infravermelho próximo, conforme a equação proposta por Rouse et al. (1973).

Cabe destacar que o trabalho de campo não foi realizado nesta pesquisa por falta de recursos financeiros para a realização de medidas de biomassa para validar os padrões observados nas imagens de NDVI. Assim as análises relativas a validação e confirmação de padrões via aferição *in loco* foram realizadas através de documentos, mapas, cartas e outros meios que deram suporte para que os objetivos do trabalho fossem atingidos.

## **5.2 Classificação do uso e cobertura do solo**

O processo de classificação multiespectral consiste em atribuir cada pixel de uma imagem a uma classe de um grupo de classes. Essa atribuição é feita com base em observações no pixel em si e na sua vizinhança e com base numa série de regras. Alguns pontos básicos surgem dessa definição (CROSTA, 1992).

Primeiro, assume-se que um conjunto de classes foi previamente determinado antes de se iniciar a classificação, classes essas cujas propriedades são bem conhecidas. Segundo, assume-se que qualquer pixel na imagem pertence necessariamente à uma dessas classes. Terceiro, que as classes podem ser definidas usando algumas propriedades observáveis da cena e não apenas valores de reflectância.

Neste contexto, para a classificação do uso e cobertura do solo, foi elaborado inicialmente um mosaico de duas cenas de imagens Landsat 5TM, necessário para cobrir toda a área de estudo. As imagens foram adquiridas no site do INPE ([www.inpe.br](http://www.inpe.br)), recortadas, no software ERDAS Imagine 9.0, de acordo com as coordenadas UTM da área de estudo: 304085, 411038, 8964187, 9046885, definindo o retângulo que abrange a totalidade da área pesquisada.

Para uma melhor caracterização da área de estudo buscou-se no banco de dados do INPE as imagens mais recentes disponíveis, que correspondem as seguintes datas: 21 de julho de 2011 e 13 de agosto de 2011.

Foi realizado o registro das imagens, com base na projeção UTM, datum horizontal córrego alegre, com meridiano central 20S, na escala numérica de 1:50.000 através do software ArcMap 9.3. Foi utilizada como base uma imagem em formato GEOCOVER disponibilizada no site <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>.

No software ERDAS foram selecionadas amostras de cada uso e cobertura do solo para a classificação utilizando o método de classificação supervisionada. Após, foram executadas as etapas do programa para a geração das classes. Para maior detalhamento e para a confirmação dos usos e cobertura do solo foi utilizado o mapa de vegetação do estado de Rondônia (IBGE, 2006), na escala 1:1.000000.

As classes definidas para mapeamento do uso e cobertura do solo foram: Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, solo exposto, desmatamento, queimadas e corpo d'água. As principais características das classes de uso do solo estão descritas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Características das classes de uso.

<b>Classe de Uso</b>	<b>Características</b>
Floresta Ombrófila Aberta	Compreende um conjunto de estrutura florestal que apresenta um dossel descontínuo, permitindo ausência de área foliar entre 30 e 40 %. Podem estar associadas a palmeiras, cipós, bambus e sororocas.
Floresta Ombrófila Densa	Florestas com dossel contínuo, fechado. Dominância de árvores na abóbada, sem associações co-dominantes. A principal característica ecológica desse tipo de vegetação reside nos ambientes ombrófilos. Sua característica ombrotérmica está presa aos fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25%) e de alta precipitação, bem distribuídas durante o ano (de 0 a 60 dias secos).
Solo Exposto	Áreas onde a cobertura vegetal foi totalmente removida (desnudas).
Desmatamento	Áreas onde a vegetação está sendo removida.
Queimada	Áreas onde a cobertura vegetal foi recentemente removida por queimadas.
Corpo d'água	Rio Madeira e seus afluentes, lagos e represas.



É importante salientar que para a classificação da Floresta Ombrófila Densa, considerou-se as formações de Floresta Densa Aluvial e Floresta Densa de Terras Baixas, agrupando-as dentro da mesma classe, assim como as subformações da Floresta Aberta: Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Floresta de Áreas Inundáveis), Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas e a Floresta Aberta Submontana que foram consideradas como única classe com a denominação de Floresta Ombrófila Aberta.

### **5.3 Geração das Séries Temporais de NDVI para análise de Componentes Principais.**

A série temporal de NDVI definida para a pesquisa compreende o período de 2000 até 2011. O procedimento para gerar as séries temporais foi realizado através do software IDRISI 32, que permite a utilização da ferramenta de Análise de Séries Temporais (TSA).

A TSA gera produtos de saída que incluem padrões espaciais e temporais, que podem ser analisados de forma conjunta. Assim, os dados espaciais são representados por um conjunto de imagens de Componentes Principais (CP's), indicando o padrão espacial dos principais elementos de variabilidade da série de imagens em estudo.

Os dados temporais são representados através de um conjunto de dados numéricos produzidos para cada Componente Principal, mostrando a correlação (eixo y) entre a imagem componente e cada uma das imagens (eixo x).

A ferramenta de TSA utiliza uma técnica de estatística multivariada que permite obter o menor número de fatores possível (CP's), que representem a maior variabilidade do conjunto dos dados originais.

O total de imagens utilizadas para a análise das séries temporais, considerando todo o conjunto das imagens disponíveis foi de 85. O Quadro 2 identifica as datas das imagens que foram utilizadas.

**Quadro 2.** Imagens NDVI-MODIS, satélite TERRA, órbita h11v9, na UHE Santo Antônio-RO, utilizadas na pesquisa (cinza) e descartadas (branco) para a geração das CP's.

Calendário Juliano	Ano das imagens MODIS											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
001												
017												
033												
049												
065												
081												
097												
113												
129												
145												
161												
177												
193												
209												
225												
241												
257												
273												
289												
305												
321												
337												
353												

Para a análise das séries temporais as imagens foram agrupadas da seguinte forma:

- a) O conjunto total das imagens do ano 2000 até o ano de 2011 (85 imagens);
- b) O conjunto de imagens do período chuvoso, que compreende os meses de novembro a abril, com um quadrimestre mais chuvoso abrangendo os meses de dezembro a março. Adotou-se como chuvoso o período que vai de novembro a abril, num total de 23 imagens;
- c) um conjunto de imagens do período seco, que inicia em maio e estende-se até outubro, com os meses mais secos no trimestre junho-agosto. Adotou-se como seco o período que vai de maio até outubro, num total de 66 imagens;
- d) Por ano, neste caso, cada ano individual da série temporal: 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011.

A Tabela 5 mostra as imagens utilizadas para a análise das Componentes Principais do período seco e do período chuvoso.

**Tabela 5.** Imagens NDVI-MODIS, satélite TERRA, órbita h11v9, na UHE Santo Antônio-RO, utilizadas para a análise das Componentes Principais - período seco e período chuvoso.

<b>ANO</b>	<b>Período Seco</b>	<b>Período Chuvoso</b>
2000	161, 177, 193, 209, 241, 257, 273, 289	_____
2001	145, 161, 177, 193, 209, 225, 241, 257	033, 113
2002	129, 145, 193, 241	_____
2003	129, 145, 177, 193, 225	113
2004	145, 193, 209 241	081, 113
2005	129, 145, 161 177, 193, 209, 257	097
2006	129, 145, 161, 177, 193, 209	113
2007	129, 145, 161, 177, 193, 209	081
2008	145, 161, 177, 193, 209	113
2009	145, 161, 177, 193, 209, 225, 257	_____
2010	129, 145, 161, 193, 209	097
2011	129, 145, 161, 177, 193, 209, 225	113

Devido às características da área de estudo, com elevado índice pluviométrico e de umidade, as imagens do período chuvoso apresentaram-se com maior quantidade de nuvens, o que impossibilitou a utilização da maior parte das imagens deste período. Desta forma, o número de imagens do período chuvoso é muito inferior ao do período seco.

Cabe destacar que estes agrupamentos foram realizados no sentido de facilitar a análise e entendimento da variação sazonal do NDVI, e assim verificar as amplitudes que ocorrem em cada época do ano. O comportamento espectral dependendo das condições de umidade e precipitação pode sofrer alterações significativas, desta forma, através dos agrupamentos a possibilidade de identificar e analisar esse comportamento são maiores.

As imagens de NDVI, processadas no software IDRISI Taiga, apresentam-se na variação de NDVI (-1 a +1). Para serem utilizadas e reconhecidas no IDRISI 32 foi necessária a conversão para a variação de níveis de cinza de 0 a 255. Esta conversão foi realizada na rotina *Convert* do IDRISI 32, utilizando-se a opção Byte-Binário a partir do Método Fuzzy.

Para geração das séries temporais, inicialmente, foi necessário criar um arquivo contendo o conjunto de todas as imagens que compunham cada grupo de

análise. O arquivo resultante gerou tabelas no software Microsoft Excel, apresentando os valores de NDVI e porcentagem representativa de cada imagem dentro das PC's.

A primeira Componente Principal ( $PC_1$ ) representa a característica mais comum, ou típica, dos fenômenos da área em estudo. As PC's seguintes representam as mudanças. A segunda Principal Componente ( $PC_2$ ) representa a máxima proporção da variabilidade que não foi explicada na  $PC_1$ , e é resultante da combinação linear ponderada das variáveis originais não correlacionadas com a  $PC_1$ . Desta forma, cada CP subsequente contém gradativamente menos da proporção da variabilidade restante.

#### **5.4 Geração dos Espectros Temporais de NDVI e a variabilidade temporal em cada classe de uso e cobertura do solo.**

Esta etapa compreende a geração dos espectros temporais de NDVI, gerados a partir da série temporal de imagens para o período de 2000 até 2011, para cada classe de uso e cobertura do solo identificada na área de estudo.

Cabe destacar que as imagens selecionadas para a geração dos espectros temporais ultrapassam o número de imagens selecionadas para a geração das Componentes Principais, isso se deve, pelo fato de que para a geração dos espectros foram selecionadas amostras em locais específicos das imagens onde não havia nuvens ou qualquer outro tipo de erro. Já para a geração das Componentes Principais não é possível realizar este procedimento, porque é necessária a utilização de todo o conjunto da imagem de satélite. Neste caso, foram selecionadas somente as imagens que não apresentavam nuvens sobre a área de estudo.

O total de imagens utilizadas para gerar os espectros temporais de NDVI foi de 110. O Quadro 3 identifica as datas das imagens que foram utilizadas.

As curvas espectro temporais de NDVI podem ser definidas como a representação gráfica do número de pixels (eixo y) versus o valor de NDVI (eixo x), ou seja, é a curva que une os pontos resultantes da relação entre o número de pixels e o valor digital dos mesmos na imagem de NDVI.

**Quadro 3.** Imagens NDVI-MODIS, satélite TERRA, órbita h11v9, na UHE Santo Antônio-RO, utilizadas na pesquisa (cinza) e descartadas (branco) para a geração dos Espectros Temporais de NDVI.

Calendário Juliano	Ano das imagens MODIS											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
001												
017												
033												
049												
065												
081												
097												
113												
129												
145												
161												
177												
193												
209												
225												
241												
257												
273												
289												
305												
321												
337												
353												

De acordo com Carvalho Júnior et al., (2008) para obter os espectros de NDVI, as imagens relativas as diferentes datas devem ser unidas, formando um cubo de imagens 3D. Desta forma, o cubo apresenta nos eixos “x” e “y” as coordenadas geográficas e no eixo “z” o espectro temporal de NDVI. Os espectros temporais são ordenados no cubo 3D utilizando a sequencia dos dias do ano em ordem crescente.

Para a geração dos espectros foram testados diferentes softwares, entretanto optou-se por desenvolver algumas rotinas no MATLAB. A sequência das rotinas utilizadas no MATLAB, para gerar os espectros temporais, é descrita a seguir:

Procedimento 1: importação dos dados para o MATLAB - As imagens MODIS, no formato *hdf* foram transformadas para *Tiff*. Após a importação foi utilizado o comando *whos* para abrir a imagem e verificar a sua dimensão. Algumas imagens estavam com a dimensão inversa, nesse caso, o procedimento adotado foi o de

realizar comando denominado de *transposto*, que consiste na digitação do comando com a ordem correta da imagem. Exemplo: *reproj\_14502=reproj\_14502'*.

Procedimento 2: ordenamento das imagens - Para este procedimento foi necessário copiar todas as imagens e ordená-las no Microsoft Excel, realizando a numeração das imagens e a inserção do comando (*;i=1*) na primeira imagem e (*i=2*) na segunda imagem. Na sequência as imagens foram transferidas novamente para o MATLAB, para a sobreposição dos layers.

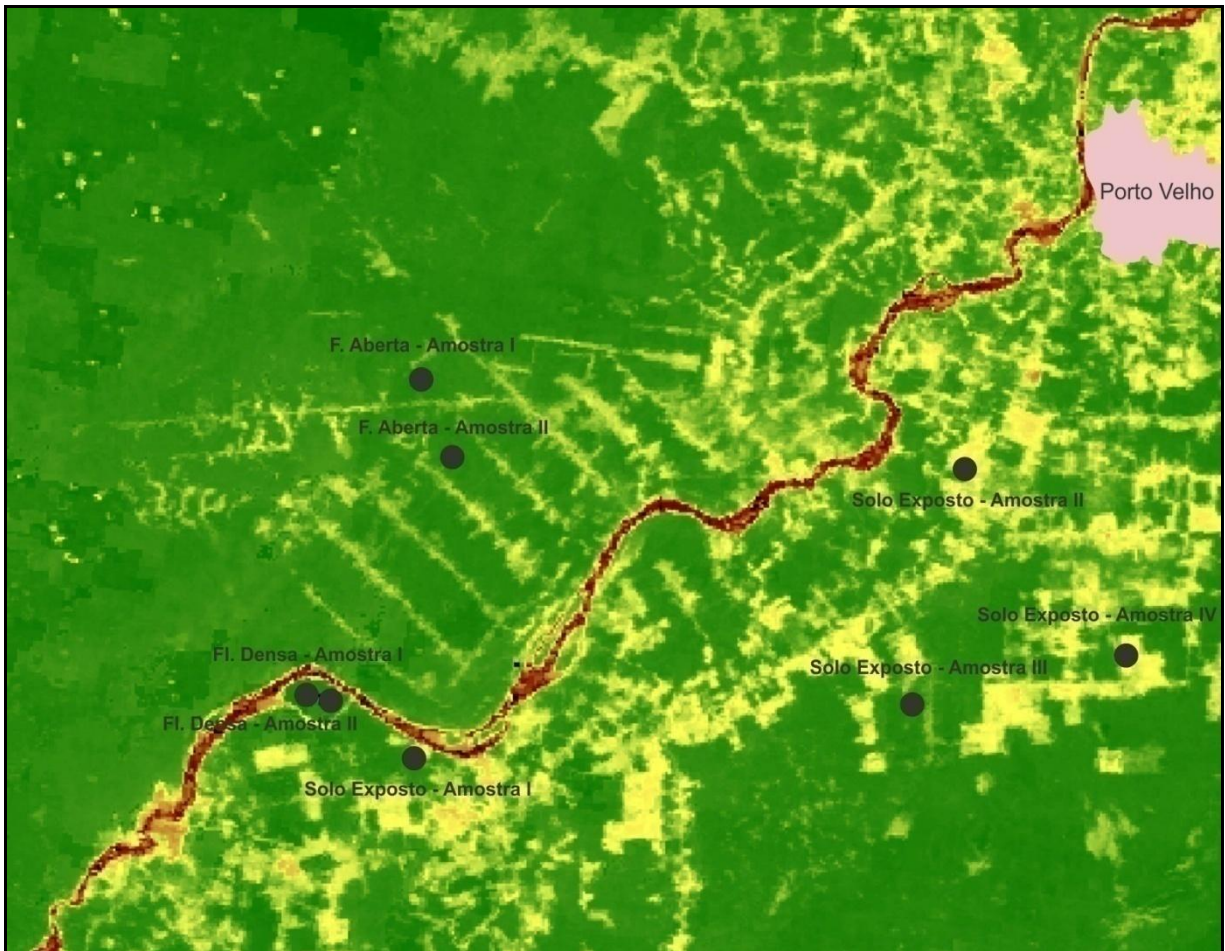
Procedimento 3: conversão das imagens para os valores de NDVI - Para este procedimento foi aplicado o comando *NDVI=doublé (dados)./10000 (;)*. Após a conversão foi necessário substituir as datas por números correspondentes nas imagens, através do programa criado para este fim no MATLAB.

Procedimento 4: plotagem dos gráficos - Para este procedimento foi utilizado outro programa criado no MATLAB: *programa\_grafico\_serie\_temporal.m*, substituindo os valores A, B, C, e D pelas coordenadas das amostras referente a cada classe de uso e cobertura do solo.

Para a geração dos espectros temporais foram selecionadas amostras para cada classe de uso e cobertura do solo da área de estudo (Figura 12), assim, foram definidos os seguintes gráficos: Floresta Ombrófila Aberta (amostra I e II), Floresta Ombrófila Densa (amostra I e II) e Solo Exposto (amostra I, II, III e IV).

Os gráficos permitem, através dos valores de NDVI, relacionar os padrões de variabilidade temporal e espacial de NDVI da área de estudo com as classes de uso e cobertura do solo. As assinaturas espectrais de cada uso serão comparadas para confirmação de correspondências entre os valores de cada pixel que compõe a imagem.

Por exemplo, na classe de solo exposto o valor do pixel deverá estar mais próximo do -1 (cor mais escura), já quando o valor do pixel no NDVI se aproximar do +1 pode-se associá-lo a outro uso. Neste caso, é proposta uma relação para a confirmação da assinatura espectral com cada uso e cobertura do solo na área de estudo.



**Figura 12.** Espacialização das amostras para a geração dos espectros temporais de NDVI-MODIS.

Assim, em todas as classes identificadas serão realizadas análises de correspondência entre o padrão espaço-temporal de NDVI obtido e o respectivo valor do pixel associado a cada classe. Além disto, as análises irão verificar os picos de aumento e os decréscimos nos valores de NDVI, que podem estar associados a diminuição da resposta espectral dos usos e coberturas do solo em questão.

As curvas espectrais dos usos e cobertura do solo permitirão um acompanhamento da evolução temporal, procurando entender o que influenciou para que os gráficos mostrem a característica de cada período analisado.

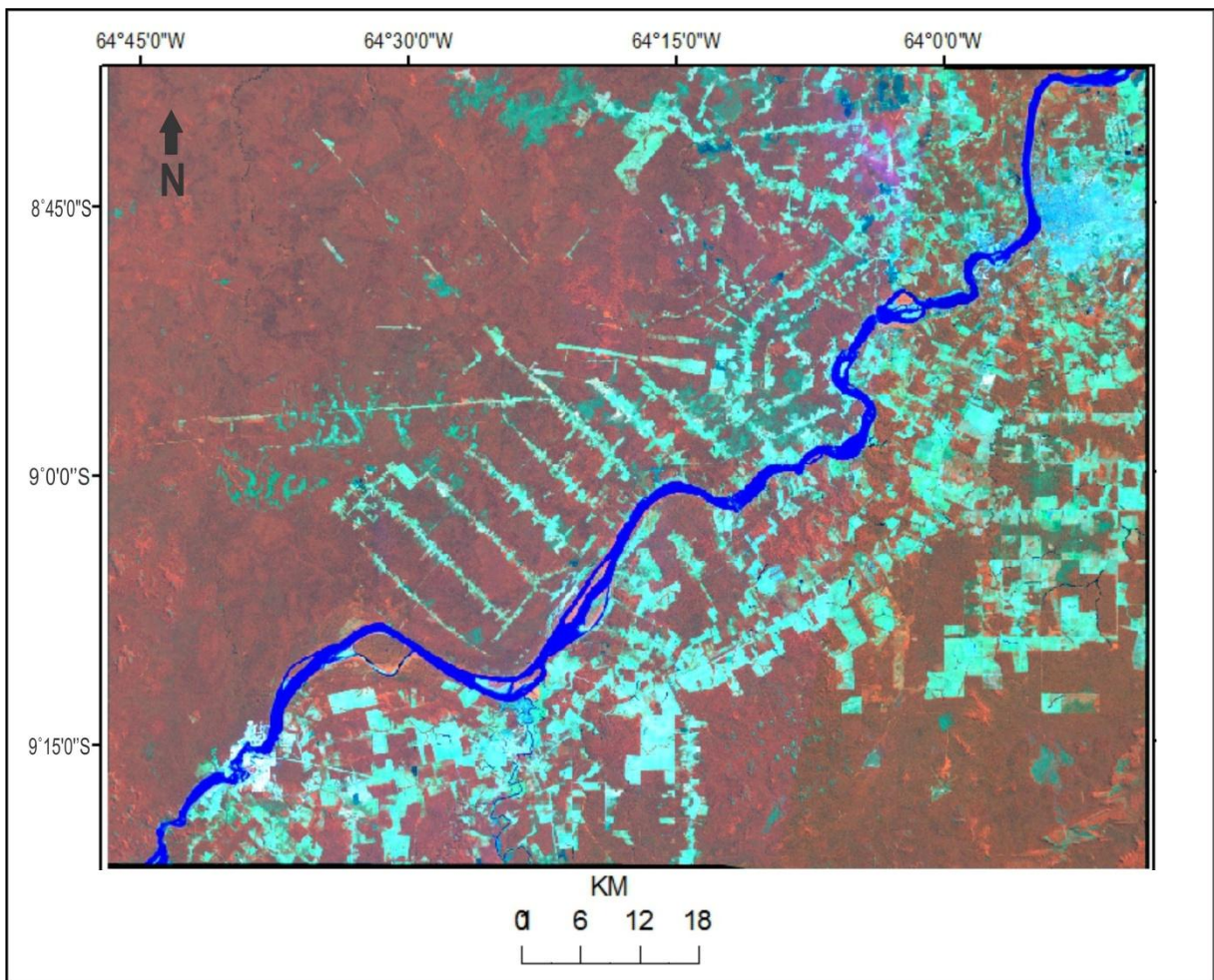
## 6. RESULTADOS

Para uma melhor compreensão das análises realizadas nesta pesquisa, os resultados estão estruturados da seguinte forma:

- Análise do uso e cobertura do solo;
- Análise da variação temporal de NDVI através dos espectros temporais;
- Análise da variação espaço-temporal de NDVI com base em Análise de Séries Temporais, a partir de Componentes Principais.

### 6.1 Análise do uso e cobertura do solo

A Figura 13 mostra o mosaico em composição colorida falsa cor, realizado a partir de duas cenas de imagens Landsat TM, utilizado para a classificação do uso e cobertura do solo da área de estudo.

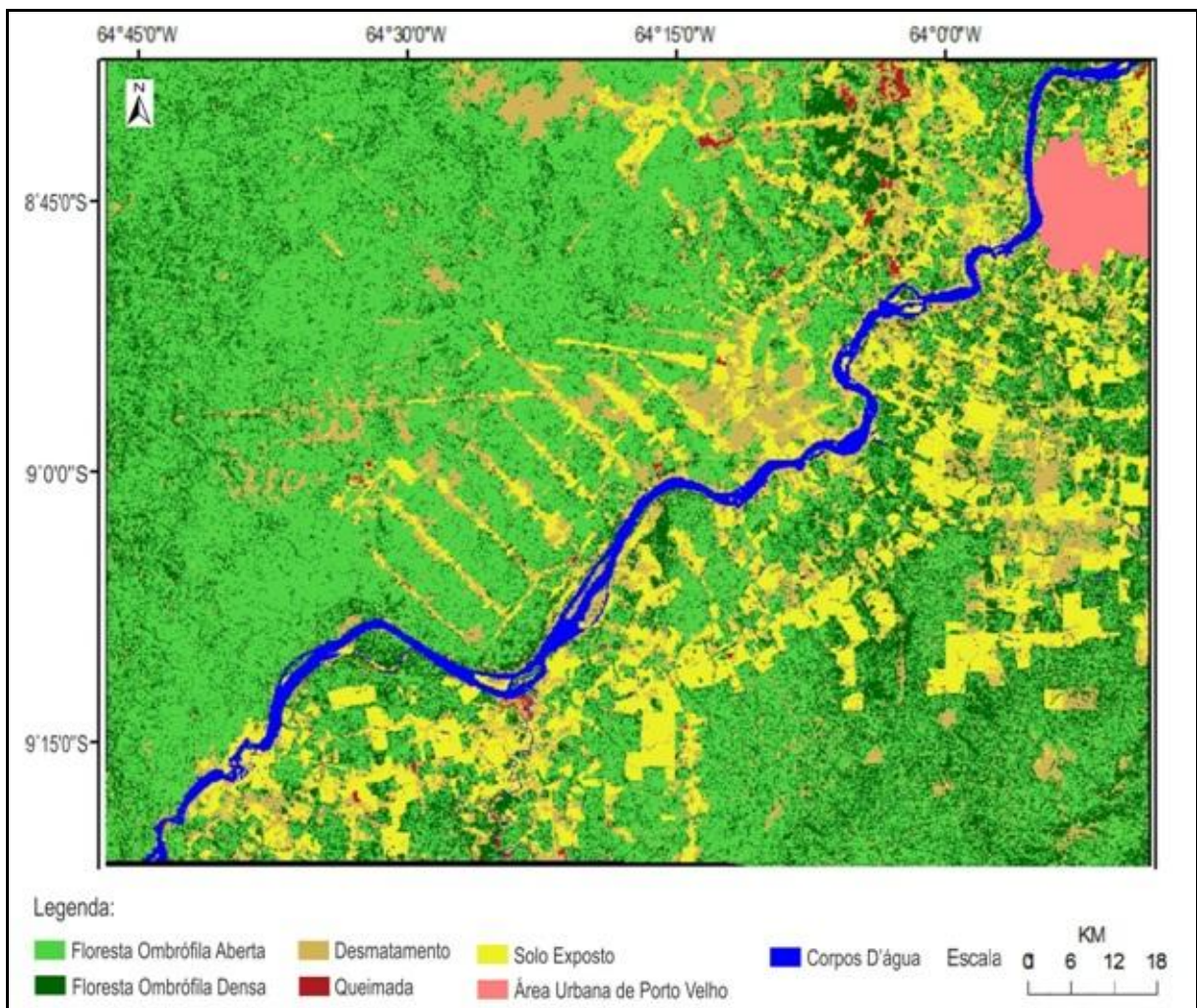


**Figura 13.** Mosaico das imagens Landsat TM, composição colorida falsa cor (R4B3G5), 21 de julho de 2011 e 13 de agosto de 2011, área de influência da UHE Santo Antonio - RO.



As classes adotadas foram as seguintes: Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, solo exposto, corpos d'água, queimada e desmatamento, além da área urbana de Porto Velho.

Com relação as florestas identificadas na área de estudo a classe Floresta Ombrófila Aberta é a que apresenta maior área no mapeamento. No mapa da classificação do uso e cobertura do solo (Figura 14) é possível perceber a abrangência das áreas com a presença de Floresta Ombrófila Aberta, representada no mapa pela cor verde claro. Cabe destacar que esta classe se refere as subdivisões: Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Floresta de Áreas Inundáveis), Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas e a Floresta Aberta Submontana.



**Figura 14.** Mapa do Uso e Cobertura do Solo, área de influência da UHE Santo Antonio - RO.

No Estado de Rondônia, a Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras é dominante, ocupando 55% da área total. Essa floresta apresenta como

características menor densidade de grandes árvores, muitas espécies semidecíduas, grande quantidade de lianas e a ocorrência de muitas palmeiras. VELOZO et al. (1992)

De acordo com Silva (2008) na Floresta Aberta (Figura 15) a flora é composta em parte por elementos florísticos tipicamente ombrófilos, outra parte é oriunda das interfaces sazonais constituída de elementos florísticos semidecíduos e/ou decíduos, destacando que: *“As copas das árvores geralmente não ficam tão próximas uma das outras, o que permite a passagem dos raios solares. O ambiente é caracterizado por árvores de grande porte e um grande número de lianas e epífitas”*.



**Figura 15.** Exemplo de vegetação da classe Floresta Ombrófila Aberta.  
**Fonte:** Santo Antônio Energia.

Ainda sobre as características da Floresta Ombrófila Aberta, Silva (op. cit.) destaca que o dossel apresenta-se descontínuo com espaços que ressaltam fisionomias típicas e/ou fasciões florísticas que ocorrem em gradientes climáticos com mais de 60 dias secos por ano. Por vezes, as fisionomias específicas (fácies) destacam-se as Palmeiras, os Cipós, os Bambus e as Sororocas.

A Floresta Ombrófila Densa (Figura 16) apresenta-se espacializada no mapa de uso e cobertura do solo com a coloração verde mais escura, são vários pontos mais espaçados entre si que representam este tipo de vegetação no mapa.

Na classe de Floresta Densa foram agrupadas as subdivisões Floresta Ombrófila Densa Aluvial e Floresta Ombrófila Densa Submontana. De acordo com Bispo et al. (2009) a Formação Floresta Ombrófila Densa Aluvial é uma formação característica das áreas inundáveis pelas cheias sazonais, ecologicamente adaptadas às intensas variações do nível da água e beneficiadas pela renovação regular do solo decorrente das enchentes periódicas. A espécie Suma úma (*Ceiba pentandra*), provida de enormes raízes tabulares, é a representante mais expressiva neste grupo de formação. Apresenta também muitas palmeiras no estrato intermediário.

Já a Floresta Ombrófila Densa Submontana está mais ligada a caracterização do relevo. São comuns espécies arbóreas frondosas como o Breu sucububa (*Tetragastris altissima*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Jutaí pororoca (*Dialium guianensis*), Quaruba cedro (*Vochysia innundata*) e Cedrorana (*Cedrelinga catanaeformis*), dentre outras.



**Figura 16.** Exemplo da vegetação da classe Floresta Ombrófila Densa.  
**Fonte:** Santo Antônio Energia.

Destaca-se que nas áreas próximas ao rio Madeira e nos locais com grandes áreas de solo exposto, que a presença desta classe de floresta está bem reduzida, quando comparado com outros locais da área de estudo. A reduzida quantidade de Floresta Ombrófila nestas áreas, ligadas a fatores bióticos e abióticos, é intensificada pelo avanço das queimadas, pelo desmatamento ao longo do rio Madeira e nas áreas urbanizadas, com a construção de moradias, estradas de acesso, além das áreas onde a agricultura está inserida.

A extensão das áreas de desmatamento é o que mais chama atenção no mapa de uso e cobertura do solo. As áreas de desmatamento com características de “espinhas de peixe” destacam-se muito além das duas margens do rio Madeira. A partir da visualização do mapa de uso do solo é possível identificar a ocorrência do desmatamento em grande escala. De acordo com o IBGE em 2003 aproximadamente quatro milhões de quilômetros quadrados da Amazônia brasileira eram originalmente recobertos por florestas e a área desmatada era da ordem de 15% da área total.

A antropização nesta região tem ocorrido, predominantemente, pela substituição da cobertura natural por pastos para pecuária extensiva, com a extração prévia das madeiras de lei. Os impactos ambientais da derrubada da vegetação e posterior queima da área para a implantação de pastos permeiam os meios biótico, abiótico e antrópico (IBGE, 2011).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) concluiu a estimativa do desmatamento na Amazônia Legal para o período de 2010-2011, realizada pelo Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal - PRODES. Essa análise foi obtida a partir da análise de 96 imagens de satélite, correspondentes a 90% do desmatamento observado no ano anterior, a estimativa foi de 6.238 km<sup>2</sup>. O PRODES computa como desmatamento as áreas maiores que 6,25 ha onde ocorreu remoção completa da cobertura florestal (corte raso).

O IBGE identificou que em 2003 o desmatamento em Rondônia ocorreu principalmente nas áreas de Floresta Ombrófila Aberta (64,6%) e a vegetação foi substituída, principalmente, pela pecuária (62,1%), pela vegetação secundária (31,7%) e pela agricultura (5,8%).

Dados atuais do INPE indicam que o desmatamento no estado de Rondônia chega a 869 km<sup>2</sup>. Na área de abrangência da Amazônia, o INPE considera que a taxa de desmatamento indica uma redução de 11% em relação ao mesmo período

em 2009-2010. Trata-se da menor taxa estimada pelo INPE desde 1988, quando o instituto iniciou a série de levantamentos anuais do desmatamento.

As queimadas também são identificadas no mapa de uso e ocupação do solo e estão diretamente ligadas ao início do processo de desmatamento, onde a floresta é queimada para abrir caminho mata adentro para a retirada de madeira. Além disto, as queimadas são uma forma tradicional de substituição da vegetação “mais rasa” para a plantação de cultivos agrícolas.

Outra classe identificada na área de estudo é o Solo Exposto (Figura 17), cuja representação também foi influenciada pelo desmatamento. Esta classe como podemos perceber no mapa de uso e cobertura do solo apresentou uma área bastante significativa.



**Figura 17.** Solo exposto nas obras de construção da hidrelétrica de Santo Antônio-RO.  
**Fonte:** Santo Antônio Energia.

As áreas de solo exposto aumentaram significativamente com as obras de construção da hidrelétrica de Santo Antônio, entretanto, em outros pontos da área de estudo, como já foi destacado, associa-se às áreas de desmatamentos, assim como, nas margens do rio Madeira.

O projeto TerraClass<sup>3</sup> aponta que as áreas desflorestadas na Amazônia até o ano de 2008 correspondiam a 719 mil Km<sup>2</sup>, sendo que estavam associadas em grande parte às áreas de pastagem (594 Km<sup>2</sup>) de Pasto com Solo Exposto (áreas que apresentam uma cobertura de pelo menos 50% do solo exposto).

Os corpos d'água identificados no mapeamento de uso e cobertura do solo referem-se principalmente ao rio Madeira e seus afluentes. Apresentam-se nesta classe vários rios e fluxos d'água que estão distribuídos e espacializados por diversos locais da área de estudo.

Sintetizando as características apresentadas neste item podemos destacar que nas áreas próximas ao rio Madeira e nos locais com grandes áreas de solo exposto as classes de Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta apresentam-se em quantidade reduzida, ligadas a fatores bióticos e abióticos e intensificada pelo avanço das queimadas e do desmatamento. Destaca-se as áreas caracterizadas como “espinhas de peixe”, as áreas agrícolas e as áreas de queimadas, também diretamente ligadas ao início do processo de desmatamento.

Com relação a classe Solo Exposto aumentaram significativamente com as obras de construção da UHE Santo Antônio, contudo, associam-se às áreas de desmatamentos, assim como, estão presentes nas margens do rio Madeira.

## **6.2 Variação temporal de NDVI, análise dos espectros temporais**

Através dos espectros temporais foi possível verificar e analisar os padrões da variação espaço-temporal de NDVI a partir das imagens do sensor MODIS. As variações expressas nos valores do NDVI permitiram caracterizar as mudanças do uso e cobertura do solo ao longo da série temporal pesquisada.

Santana et al. (2010) na pesquisa “Modelagem dos espectros temporais NDVI-MODIS” para o período de 2000 a 2008, na bacia do rio Paracatu (noroeste do Estado de Minas Gerais), destaca que dados de NDVI são corroborados pela significativa relação com dados de campo de abertura de dossel (a porcentagem de luz que atravessa o dossel da vegetação), podendo ser um preciso indicador da mudança do uso da terra nas análises de séries temporais.

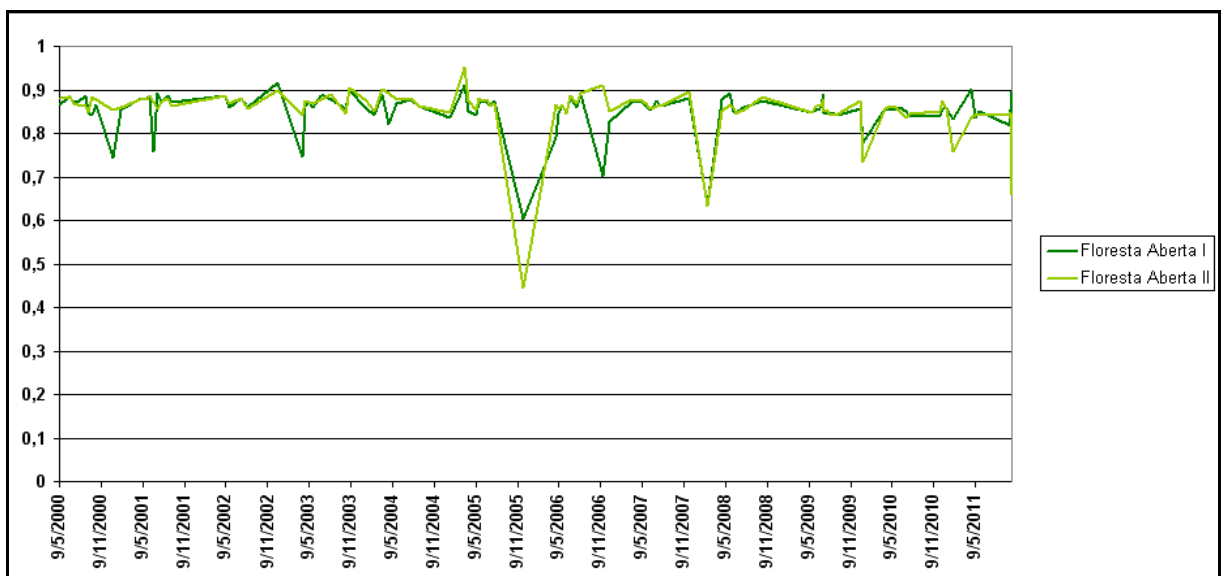
---

<sup>3</sup> Realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amazônia Oriental (Belém, PA) e Embrapa Informática Agropecuária (Campinas, SP) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional da Amazônia.

Para Gleriani et al. (2005) a análise temporal permite analisar a fenologia, que é típica a cada cultura, e cuja descrição temporal pode ser feita por índices de vegetação, como o NDVI, ou com a combinação de bandas e de índices de vegetação.

Epiphanyo e Huete (1994) destacam que na prática, a importância dos índices de vegetação está em sua estreita correlação com vários parâmetros biofísicos da vegetação e que o comportamento da biomassa florestal tende a sofrer oscilações que podem ser identificadas através da série de dados correlacionada em gráfico pelos espectros temporais.

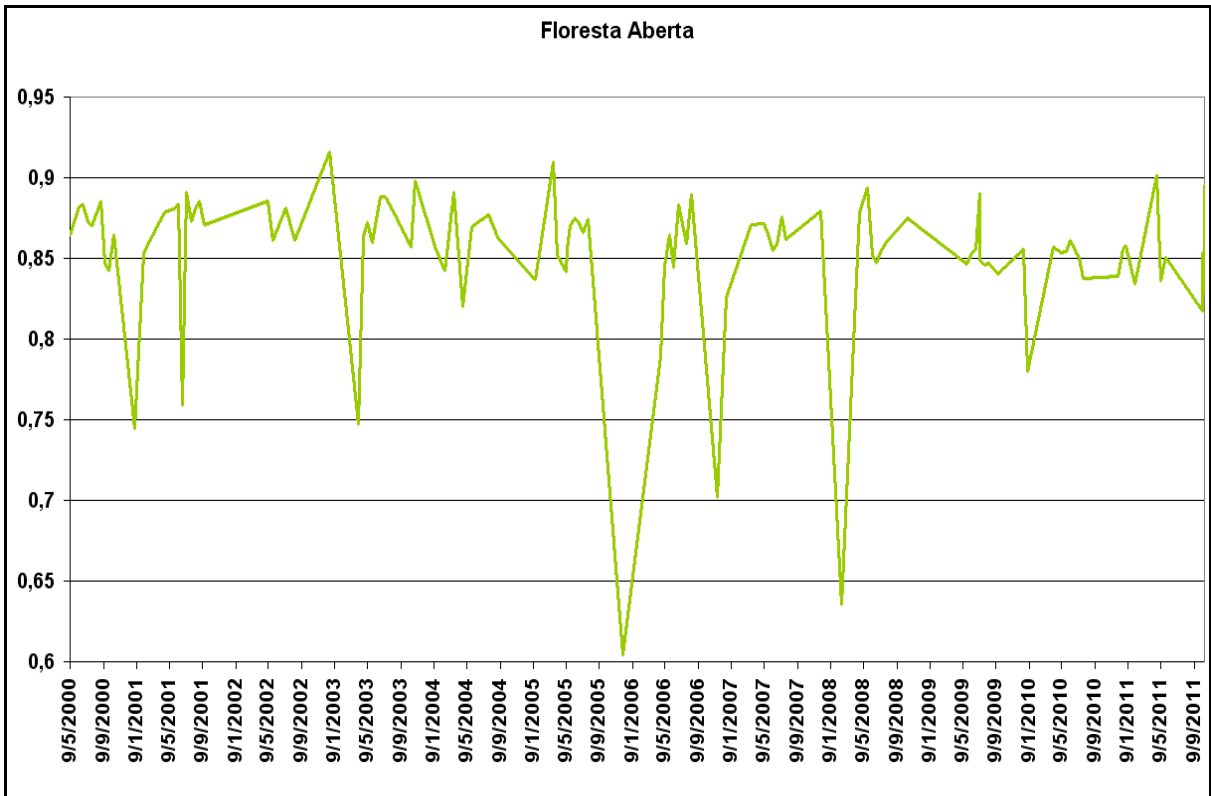
Os espectros temporais analisados na pesquisa identificaram essas oscilações no padrão de variação do NDVI ao longo da série temporal do intervalo 2000-2011. A Figura 18 apresenta as curvas do espectro temporal da classe Floresta Ombrófila Aberta (amostras I e II) da área de estudo.



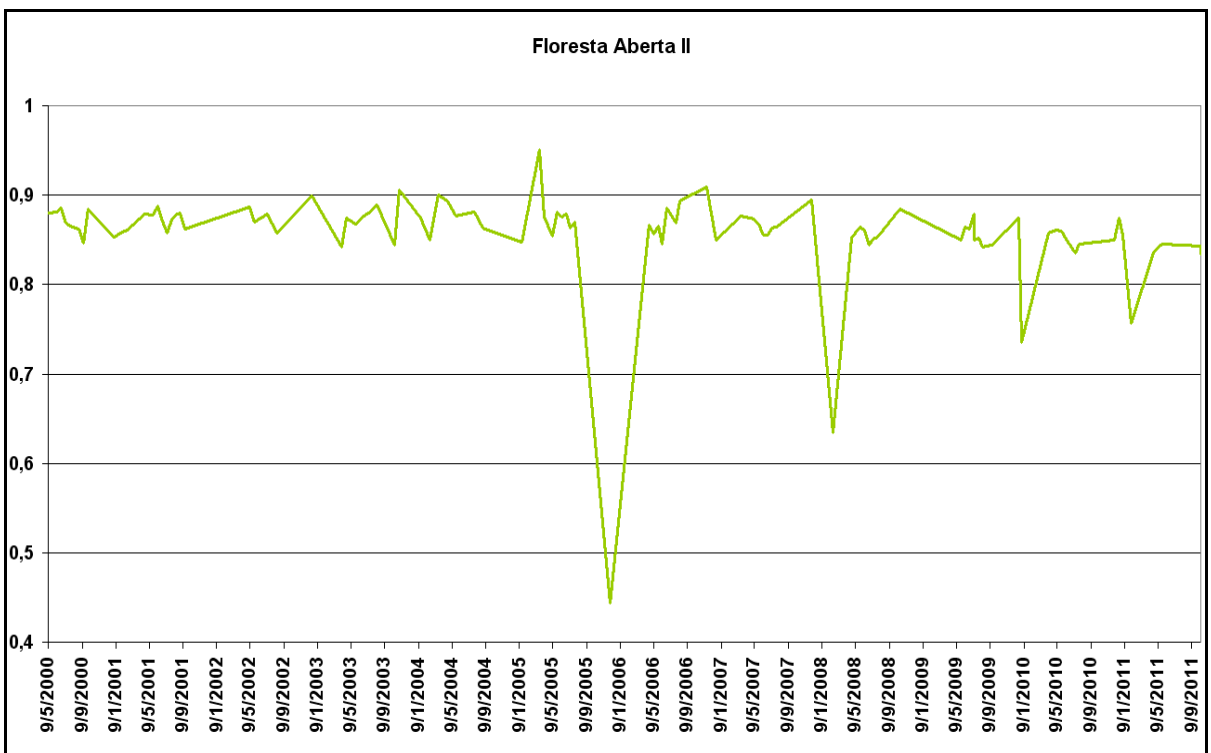
**Figura 18.** Espectro temporal do NDVI/MODIS da classe Floresta Ombrófila Aberta amostras I e II, 2000 a 2011.

Inicialmente verifica-se que em determinados períodos há uma queda acentuada dos valores de NDVI nas curvas espectrais tanto da Floresta Ombrófila Aberta classe I, quanto na Floresta Ombrófila Aberta classe II. Destaca-se a queda significativa na curva no período entre o final do ano 2005 e o início do ano 2006, para as amostras I e II. Analisando mais detalhadamente o espectro temporal da

Floresta Ombrófila Aberta amostra I (Figura 19) e amostra II (Figura 20) constatam-se a ruptura acentuada dos valores de NDVI no final do ano de 2005.



**Figura 19.** Espectro temporal do NDVI/MODIS da Floresta Ombrófila Aberta amostra I - 2000 a 2011.



**Figura 20.** Espectro temporal do NDVI/MODIS da Floresta Ombrófila Aberta amostra II - 2000 a 2011.



A primeira explicação para este comportamento espectral da Floresta Ombrófila Aberta está associada a redução da camada foliar deste tipo de vegetação durante este período. Os valores baixos de NDVI identificam áreas com pouca ou quase nenhuma vegetação e o consequente aumento da contribuição da resposta do solo nos valores de NDVI. Destaca-se que neste período ocorreu uma grande seca na região Amazônica no ano de 2005. Esta seca afetou significativamente a flora e a fauna, provocando mudanças importantes no comportamento das espécies existentes.

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a seca na Amazônia, em 2005, tinha sido uma das piores já registradas até aquele momento, e apontou como causa o aumento da temperatura no oceano Atlântico. Esta seca (Figura 21) apresentou o menor índice pluviométrico dos últimos 40 anos, ultrapassando períodos de secas históricas como os de 1925-1926, 1968-1969 e 1997-1998, até então considerados os mais intensos.



**Figura 21.** Seca na floresta Amazônica no ano de 2005.  
**Fonte:** UNICAMP (2005).

A análise dos dados de precipitação no setor sul da Amazônia mostra que durante a estação chuvosa de 2005, que na realidade estendeu-se de dezembro de 2004 a março de 2005, as chuvas apresentaram-se com valores de até 350 mm menores que a média histórica.

Segundo Fearnside (2006) devido a seca os níveis de água ficaram muito baixos em todos os afluentes do lado sul do rio Amazonas, assim como também nas calhas principais dos rios Amazonas e Solimões. O rio Madeira que possui uma largura que varia entre 440 e 9.900m e profundidade superior a 13m, chegou a uma cota de menos de 2m de profundidade em Porto Velho. Além disto, incêndios afetaram muitas áreas que não estão historicamente sujeitas a fogo.

Entre janeiro e março de 2008 também ocorreu uma queda nos valores de NDVI nas duas amostras da classe de Floresta Ombrófila Aberta, amostra I e amostra II (Figuras 19 e 20), assim como no período próximo a janeiro de 2010 e janeiro de 2011.

Este comportamento provavelmente se refere ao período de início das obras para a construção da Hidrelétrica de Santo Antônio, mas também pode estar associado ao desmatamento crescente na região. Em Rondônia entre agosto de 2007 e abril de 2008 houve um aumento de 23% das áreas de desmatamento, segundo dados do DETER/INPE (2008).

Outra informação importante para a análise do espectro temporal da Floresta Ombrófila Aberta é a pequena variação dos valores de NDVI entre os anos de 2010 e 2011. Neste período os valores identificados estavam permaneceram no intervalo entre 0,8 e 0,9.

Nos espectros da Floresta Ombrófila Aberta, assim, como os espectros da Floresta Ombrófila Densa e do Solo Exposto, que serão apresentados a seguir, é possível perceber que as variações nos valores de NDVI seguem uma sequência de declínios e elevações que podem estar relacionadas a sazonalidade dos períodos úmido e seco na área de estudo. As influências das estações secas e chuvosas interferem nitidamente no padrão da frequência da série temporal.

Os maiores valores de NDVI são coincidentes aos períodos de maior quantidade de chuvas, ainda que exista um intervalo de tempo entre o início da época chuvosa e a resposta da vegetação. No período de estiagem a vegetação herbácea apresenta a sua parte aérea seca, com um comportamento de vegetação não fotossinteticamente ativa. Por outro lado, as espécies arbóreas conseguem

manter sua atividade fotossintética, por causa do sistema radicular, que extrai água em maiores profundidades (CARVALHO JR et al., 2009).

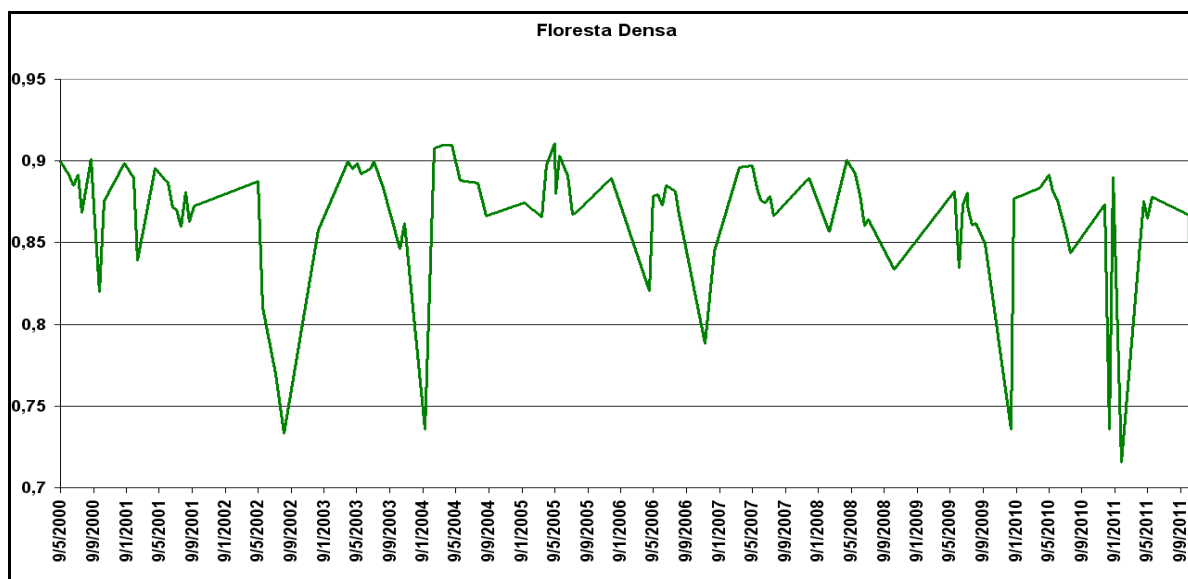
O comportamento temporal da vegetação fornece importantes indícios sobre as fitofisionomias presentes através dos diferentes atributos de fenologia das plantas, como a variação da arquitetura da vegetação, presença de pigmentos na planta, entre outros (DEFRIES e TOWNSHEND, 1994; LATORRE et al., 2007). A assinatura temporal de uma fisionomia vegetal demonstra uma variabilidade inter e intra-anual que reflete respectivamente a estágios de sucessão e fenologia das plantas (BATES e WATTS, 1988; ZAR, 1999; MALLET et al., 2008 apud SANTANA et al., 2010).

Moura et al. (2009) na pesquisa “Análise comparativa entre índices de vegetação NDVI e EVI e sua relação com o balanço hídrico na Bacia do Una - SP”, também encontram os maiores valores de NDVI na estação chuvosa e os déficits nos meses de estação seca.

Carvalho Júnior et al. (2006) no trabalho “Identificação regional da Floresta Estacional Decidual na bacia do rio Paraná a partir da análise multitemporal de imagens MODIS” observou que o espectro da Mata Seca apresentou um comportamento característico, possuindo os maiores valores de NDVI na estação chuvosa e o menor valor na estação seca em relação as outras fitofisionomias do Cerrado.

No espectro temporal da Floresta Ombrófila Densa esta correlação entre os períodos seco e úmido também ficaram evidenciadas. As oscilações dos valores de NDVI estão apresentadas nas datas que expressam estes períodos, ainda que em comparação com o espectro da Floresta Ombrófila Aberta a amplitude dessa oscilação seja menor.

Esta amplitude na Floresta Ombrófila Densa identificada no gráfico (Figura 22) está entre 0,7 e 0,95, apresentando um “pico” negativo nos anos de 2002 (0,733 em 13 de agosto), 2004 (0,735 em 17 de janeiro), 2009 (0,735 em 19 de dezembro), 2010 (0,735 em 19 de dezembro) e 2011(0,715 em 02 de fevereiro).



**Figura 22.** Espectro temporal do NDVI/MODIS da Floresta Ombrófila Densa amostra I - 2000 a 2011.

Gurgel et al. (2003) relaciona como característica da Floresta Densa a ocorrência de dois períodos de NDVI baixo, um entre fevereiro e março e outro entre setembro e novembro. Essa relação também é encontrada por Batista et al. (1993) ao analisar o NDVI da região Amazônica, em áreas de predomínio da Floresta Ombrófila Densa, quando relaciona a redução dos valores de NDVI à época de diminuição das chuvas na região, que se estende de julho a outubro.

Estes períodos também são identificados nos espectros gerados para esta pesquisa: em 2002 e 2011, justamente onde o espectro da Floresta Densa, amostra I, apresentou os menores valores de NDVI. Destaca-se também que o aumento do número de queimadas na região, pode ter influenciado a redução destes valores de NDVI.

O máximo de NDVI dessa formação vegetal ocorre geralmente em junho, dois meses após o período de chuvas, que vai de fevereiro a abril. Almeida e Batista (1998), avaliando este tipo de formação vegetal, também encontraram o mesmo tempo de resposta.

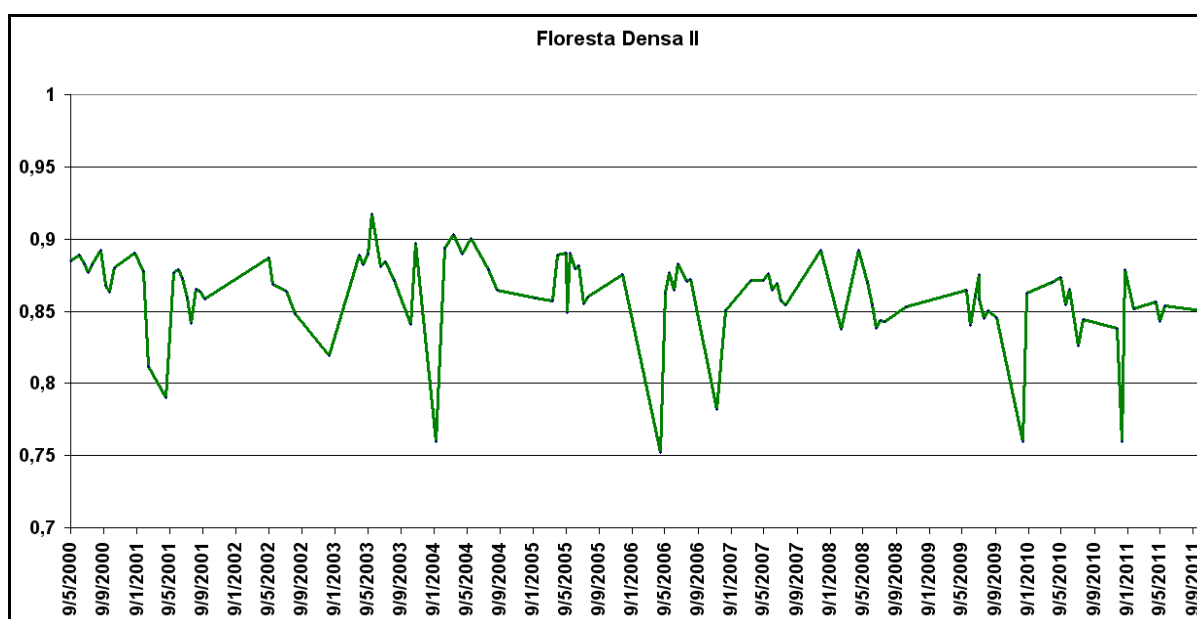
Nesta análise dos resultados dos espectros temporais da Floresta Ombrófila Densa chama atenção a diferença das variações da curva espectral em relação às amostras da Floresta Ombrófila Aberta no de 2005, caracterizado pela significativa seca ocorrida na região amazônica. Enquanto nas amostras da Floresta Ombrófila Aberta houve uma significativa redução do NDVI neste período, na Floresta Ombrófila Densa esta redução não foi identificada. Este fato pode estar relacionado

ao maior espaçamento das espécies vegetais nas áreas de Floresta Aberta e quando do período de secas prolongadas da maior influência da resposta das áreas de campo ou de solo (ver figura 15, pág. 65). Já nas áreas de Floresta Ombrófila Densa (ver figura 16, pág. 66) a maior densidade da cobertura florestal e a maior permanência da umidade sob a floresta permitem manter os valores de NDVI na média dos outros anos.

Os valores apresentados em 2005 para a Floresta Densa são os seguintes: 0,859 (em 17 de janeiro), 0,889 (em 17 de abril), 0,890 (em 09 de maio), 0,848 (em 14 de maio), 0,879 (em 10 de junho), 0,881 (em 26 de junho), 0,854 (em 12 de julho), 0,859 (em 28 de julho) e 0,875 (em 03 de dezembro). Somente em abril de 2006 é que ocorre um decréscimo significativo nos valores de NDVI: 0,752. Este é o menor valor identificado na amostra II da Floresta Ombrófila Densa.

Uma das explicações para este fato pode estar relacionada a localização da amostra. Estas áreas, devido as características do local, influenciadas pela variação do relevo e pela proximidade de cursos d'água, não sofreram tanto com a reduzida quantidade de chuvas no ano de 2005, entretanto, a comprovação deste fato está condicionada a verificação via campo.

No gráfico da Floresta Ombrófila Densa, amostra II (Figura 23) verificou-se também esta tendência, os valores mais altos de NDVI estão neste intervalo.



**Figura 23.** Espectro temporal do NDVI/MODIS da Floresta Ombrófila Densa amostra II - 2000 a 2011.

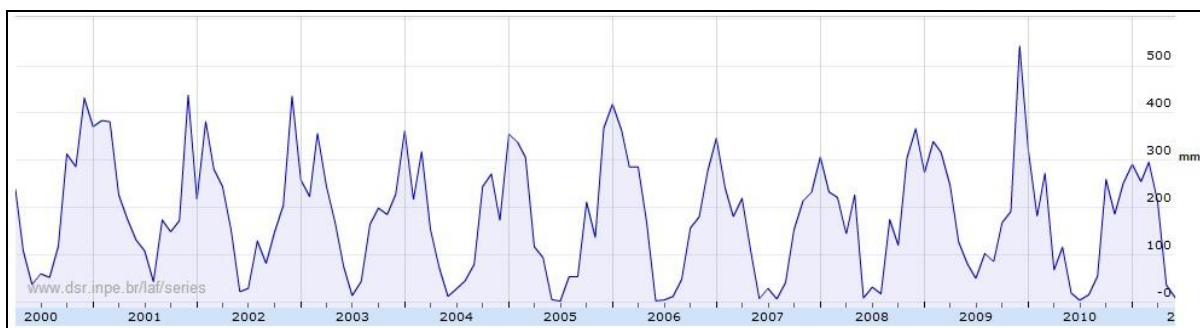
O maior valor de NDVI identificado, 0,917, refere-se ao mês de maio. No geral, os menores valores apresentados estão entre dezembro e janeiro de cada ano da série temporal.

Um dado interessante ao se analisar o espectro temporal da Floresta Ombrófila Densa amostra II é o fato de que em 2011 os valores de NDVI ultrapassam de 0,9, podendo ser comparado somente aos anos de 2003 e 2004, quando a curva espectro-temporal também ultrapassou estes valores.

É importante destacar que em 2011 ocorreu o fechamento de parte das comportas do vertedouro da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio, o que permitiu o início do enchimento do reservatório.

É perceptível através dos espectros temporais das classes de vegetação, tanto da Floresta Densa amostra I, como da amostra II, que as quedas mais significativas nos valores de NDVI ocorreram em períodos onde a estiagem foi mais forte, o que influenciou diretamente o comportamento espectral da vegetação. Em alguns destes anos a influência da seca foi mais significativa, já em outros a redução da quantidade de chuvas não alterou muito a redução dos valores de NDVI.

No ano de 2010 a precipitação na região amazônica e conseqüentemente na área de estudo foi bem reduzida, a Figura 24 apresenta a precipitação mensal entre 2000 e 2010. Nota-se que o ano de 2010 assim como 2007 apresentaram valores mais baixos do que o apresentado nos outros anos, podendo ser um indicador para a queda nos valores de NDVI da Floresta Densa, amostra II.



**Figura 24.** Precipitação acumulada mensal período 2000 a 2010, em Porto Velho (RO).

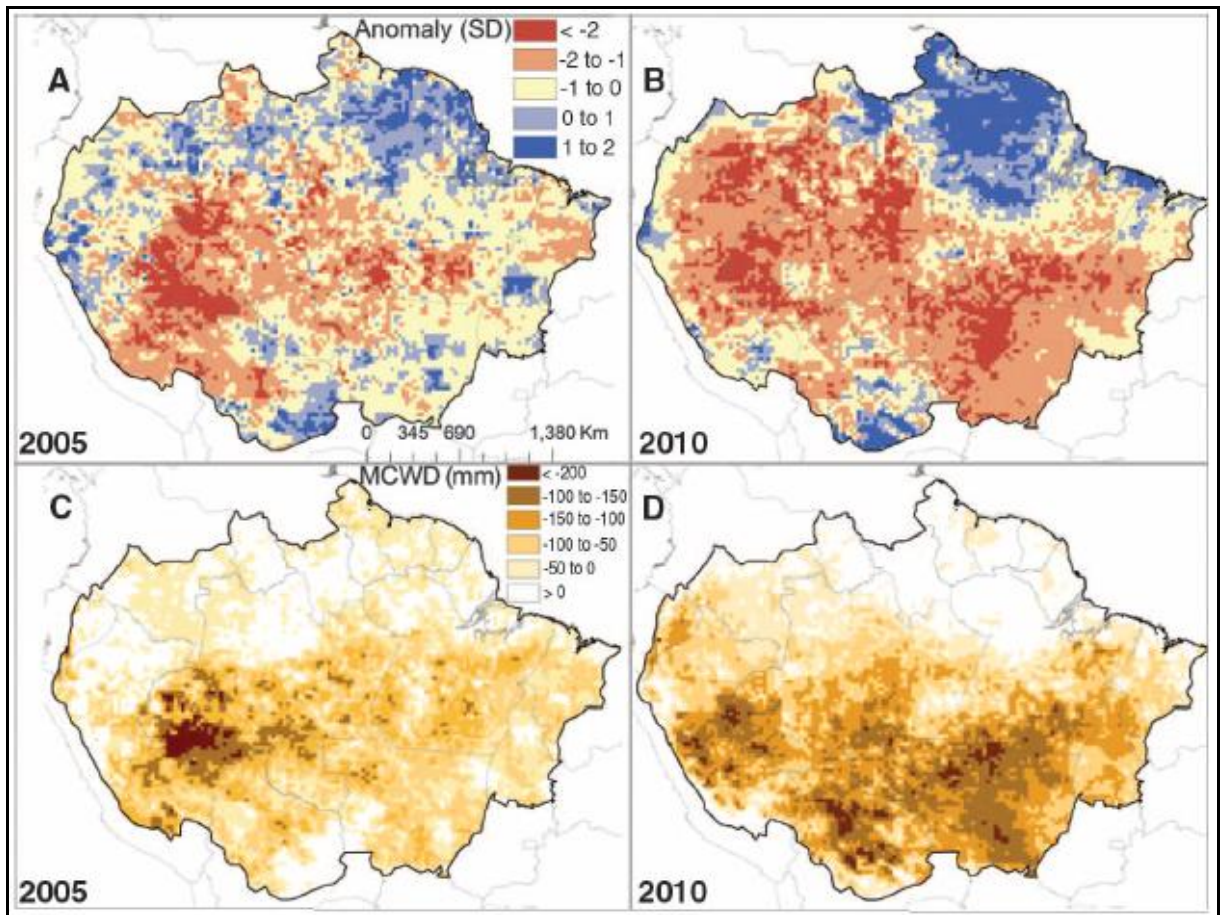
**Fonte:** LAF/INPE Séries Temporais.

A diminuição dos valores de NDVI expressa nos espectros temporais apresentados, portanto, pode estar relacionada a essa variação da quantidade de precipitação em cada ano da série temporal. Por exemplo, no espectro temporal da

classe Floresta Ombrófila Densa (amostras I e II) a influência parece ter sido mais significativa. Os valores de NDVI estão bem próximos de 0,75 e aproximam-se do apresentado pela curva no ano de 2005. Comparando com o identificado pelo espectro da Floresta Ombrófila Aberta (amostras I e II) verifica-se que esta reduzida precipitação afetou menos este tipo de vegetação do que a seca ocorrida no ano de 2005.

De acordo com Lewis et al. (2011), em artigo publicado na revista “Science”, a seca de 2010 na Amazônia foi a pior dos últimos cem anos. Os pesquisadores relacionaram os dados de seca de 2010 com o crescimento das árvores (a partir de dados de campo coletados em 2005). A conclusão foi de que a seca de 2010 foi maior do que a de 2005 e emitiu 5 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera em 2010 e nos próximos anos. Isso não acontece de uma vez, já que a decomposição das árvores mortas é um processo lento. Em 2010, a diferença de mortalidade de árvores ( $\leq$  milímetros -25) mediu 3,2 milhões km<sup>2</sup>, em comparação com 2,5 milhões de km<sup>2</sup> em 2005.

A Figura 25 apresenta as imagens utilizadas por Lewis et al. (op. cit.) para cálculo das anomalias padronizadas a partir de uma década de dados de satélite derivados da estação seca, a partir de dados de precipitação (Missão de Medição de Chuvas Tropicais, 0,25 ° de resolução) em 5,3 milhões de km<sup>2</sup> da Amazônia para 2010 e 2005. Utilizou-se como referência períodos de seca idênticos para permitir uma comparação estrita de ambos eventos. Com base neste índice, no ano de 2010 a seca é mais extensa do que em 2005 (chuva anomalias  $\leq$  -1 DP superior a 3,0 milhões de km<sup>2</sup> e 1,9 milhões de km<sup>2</sup> em 2010 e 2005, respectivamente).



**Figura 25.** Comparação entre as secas de 2005 e 2010.

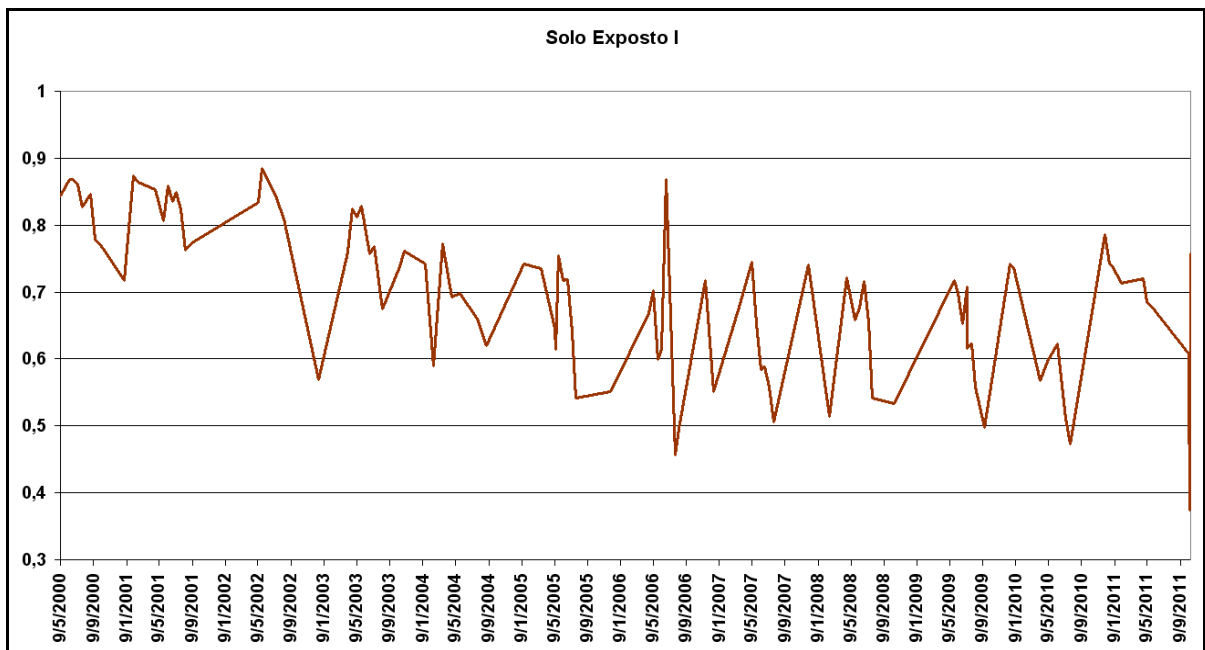
**Fonte:** Lewis et al. (2011).

Com relação às áreas da classe de Solo Exposto a constatação que se evidencia mais claramente é a de que houve uma redução dos valores de NDVI a partir do ano de 2006. Não há como dissociar as obras de construção da usina hidrelétrica do aumento das áreas de solo exposto, que estão distribuídas principalmente nas áreas adjacentes à hidrelétrica e, nas áreas que margeiam o rio Madeira e em outros pontos de desmatamento.

São grandes áreas onde a vegetação original foi removida, para dar lugar a execução de obras de engenharia para o funcionamento da usina hidrelétrica. Escavações nas margens do rio Madeira, o desvio de córregos, a construção de vertedouros, entre outras obras, contribuíram também para o aumento das áreas de solo exposto. Além disto, nas regiões mais distantes das obras diretas da hidrelétrica, o aumento das áreas de solo exposto deve-se às queimadas e o posterior desmatamento de áreas florestadas.

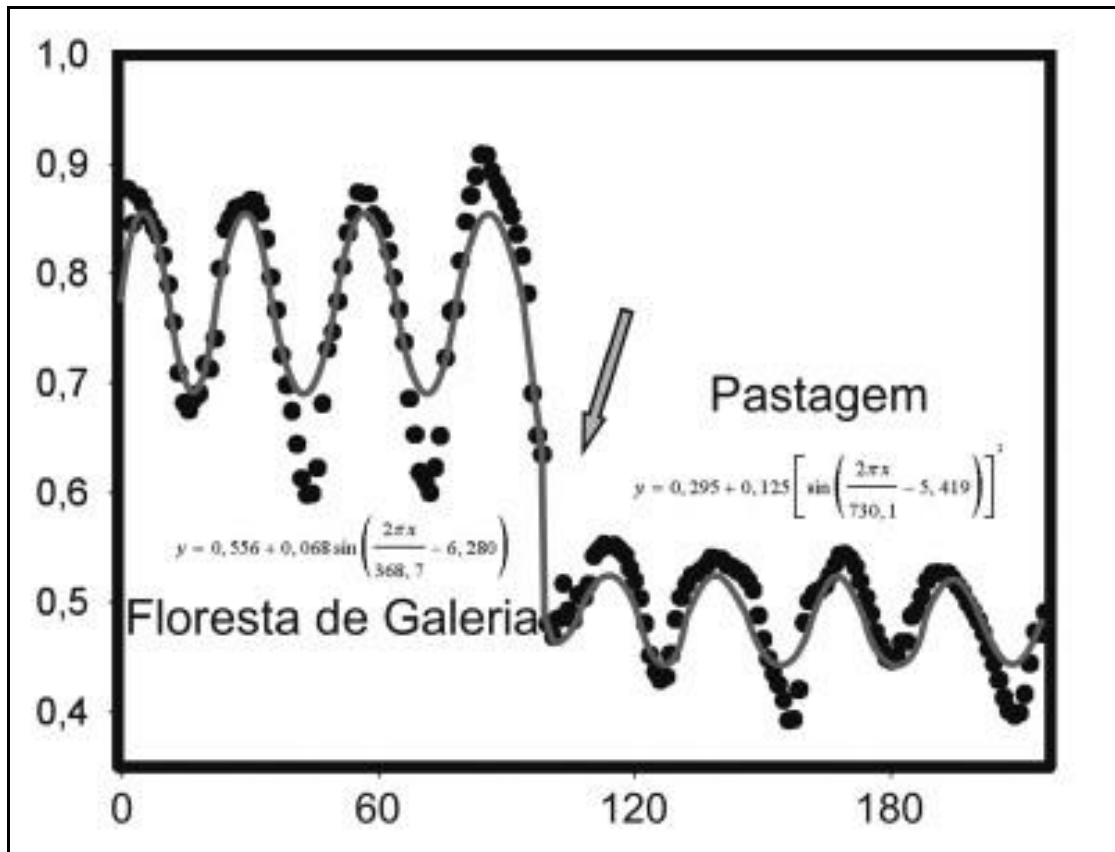


A Figura 26, relativa a amostra I de Solo Exposto, mostra que a partir do ano de 2002 ocorreu uma ruptura no padrão de variação de NDVI, evidenciando uma transformação de áreas de floresta para solo exposto. Percebe-se que partir do ano de 2002 houve uma significativa redução dos valores de NDVI. Em 25 de maio o valor de NDVI apresentado foi de 0,884, já em 19 de dezembro este valor caiu para 0,569.



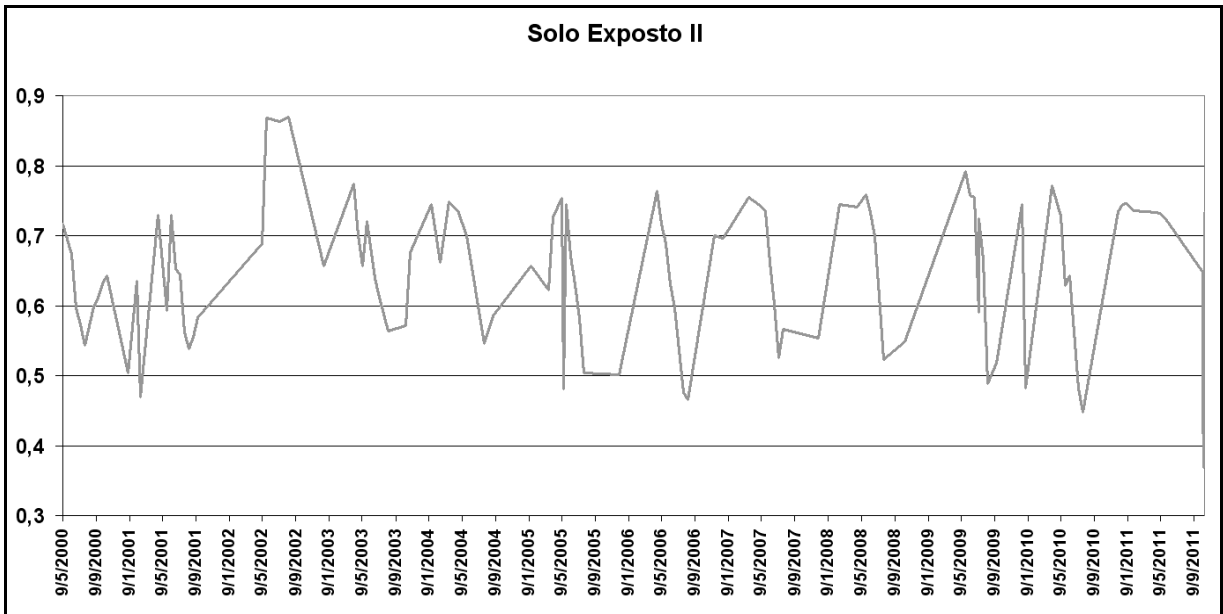
**Figura 26.** Espectro temporal do NDVI/MODIS do Solo Exposto amostra I – 2000 a 2011.

Para ilustrar essa mudança nos valores do NDVI, a Figura 27 apresenta um espectro temporal evidenciando uma transformação de áreas de floresta de galeria para pastagem obtidas em estudo de Santana et al. (2010) em áreas de Cerrado. Neste espectro fica destacada a diminuição dos valores de NDVI, para o período de 2000 a 2008, na bacia do rio Paracatu (noroeste do Estado de Minas Gerais). As mudanças são caracterizadas através da amplitude, da média e do ajuste da equação dos dados, salientando esta ruptura de área de plantio para pastagem.



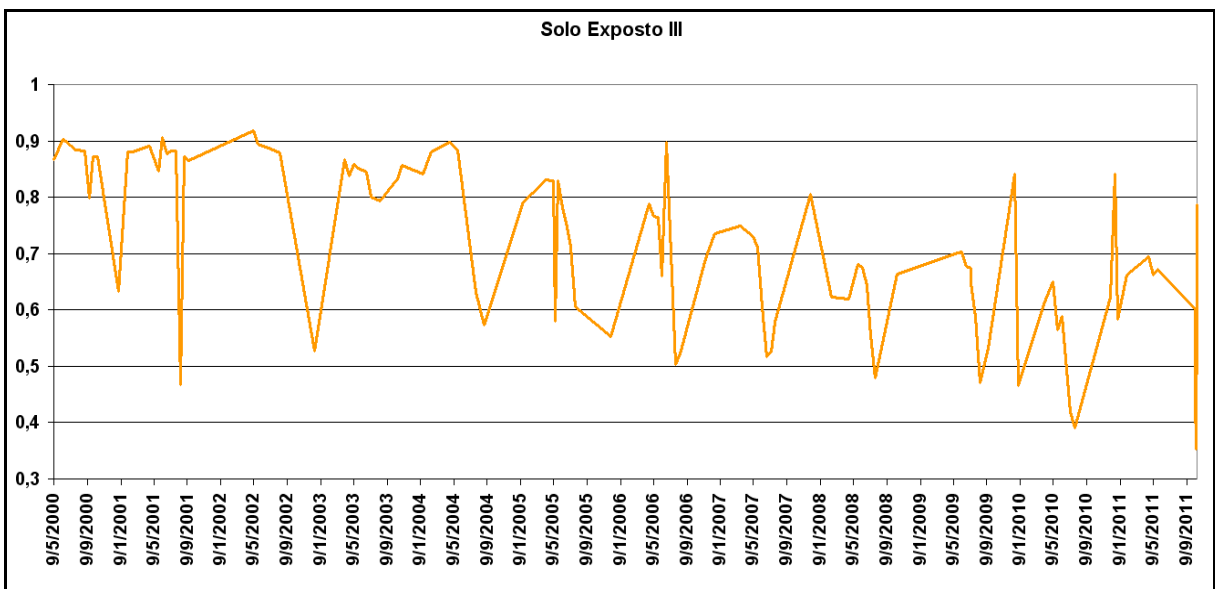
**Figura 27.** Exemplo de mudanças de NDVI detectadas nos espectros temporais de duas fisionomias: de Floresta de galeria para Pastagem.  
**Fonte:** Santana et al. (2010).

No geral, os espectros temporais do solo exposto, amostras II e III (Figuras 28 e 29 respectivamente), mantêm os valores estáveis na maioria dos anos da série temporal, apresentando picos positivos no ano 2002. Nestas datas os valores de NDVI ultrapassam o valor de 0,8.



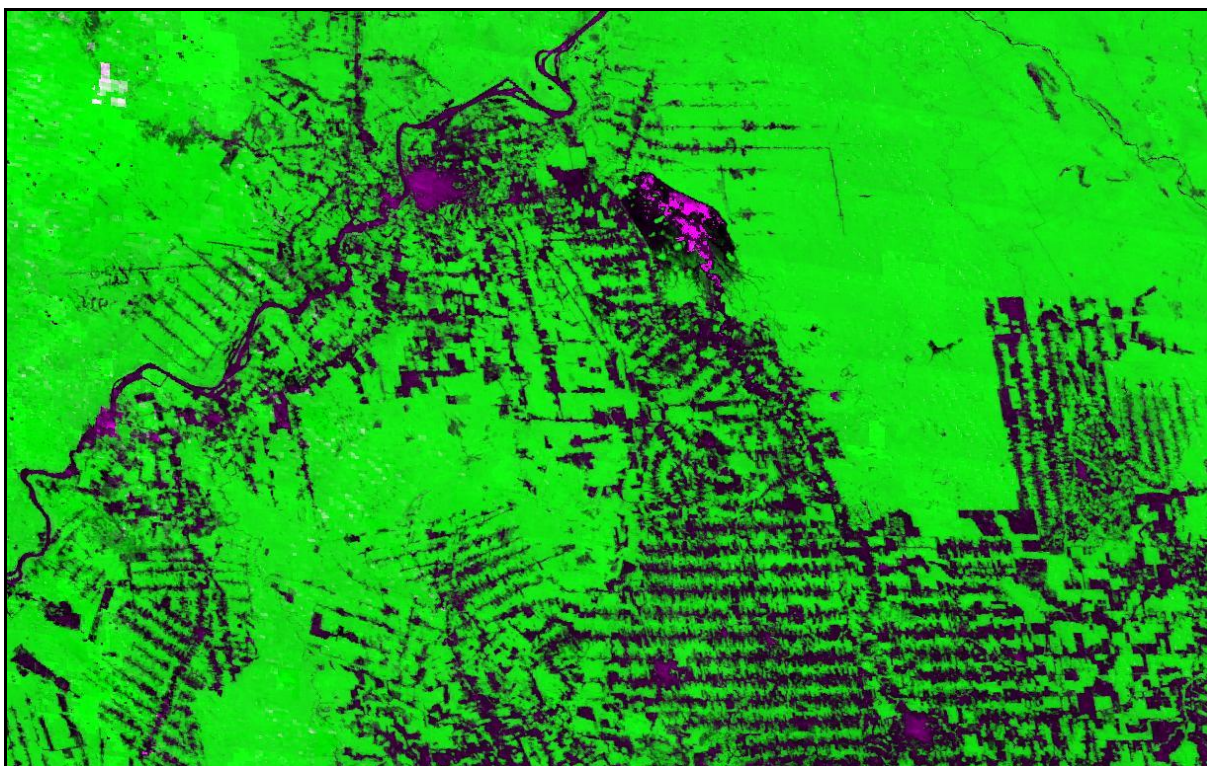
**Figura 28.** Espectro temporal do NDVI/MODIS do Solo Exposto amostra II - 2000 a 2011.

No espectro temporal da classe de Solo Exposto amostra III (Figura 29) o comportamento da curva espectral tem uma amplitude grande. A variação decresce de 0,9 chegando próximo de 0,3 ao longo da série temporal. Nota-se que até o ano de 2004 ocorre um padrão semelhante de queda e elevação dos valores de NDVI, ou seja, apenas em datas específicas observam-se declínios pontuais. A partir de 2004 os valores de NDVI decresceram para níveis abaixo de 0,8 e a cada ano esta diminuição é mais acentuada.



**Figura 29.** Espectro temporal do NDVI/MODIS do Solo Exposto amostra III – 2000 a 2011.

É importante destacar que a amostra espectral III de Solo Exposto refere-se a região da área de estudo que sofreu com o acentuado desmatamento no estado de Rondônia. Estes locais formam verdadeiras “espinhas de peixe” (Figura 30), mostrando claramente como a extração de madeira vai avançando na mata original da floresta Amazônica.

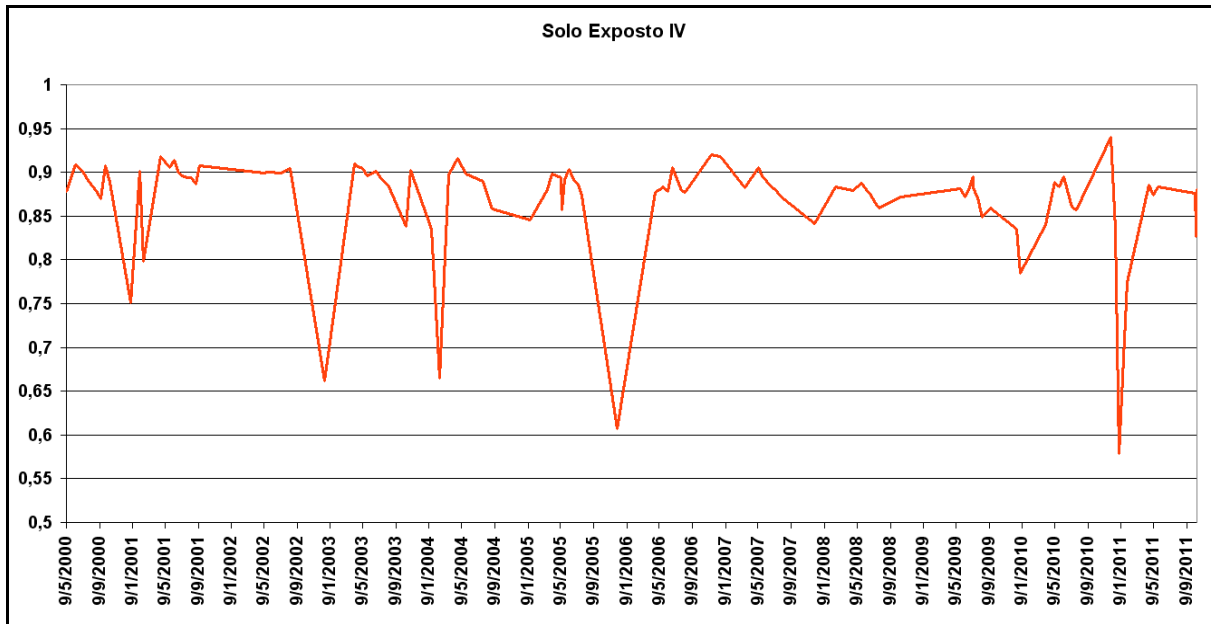


**Figura 30.** Imagem MODIS em composição colorida R3, GNDVI, B3, de 13 de agosto de 2011, identificando extensas áreas de desmatamento em formato de espinhas de peixe.

Segundo Fearnside (2006) em Rondônia e ao longo da rodovia Transamazônica nos estados do Pará e Amazonas, pequenos agricultores são agentes importantes para o desmatamento. Porém, regionalmente, fica claro o domínio de grandes e médias fazendas (FEARNSIDE, 2005). Além disto, projetos rodoviários planejados, tais como a reconstrução das rodovias BR-163 (Cuiabá-Santarém) e a BR-319 (Manaus-Porto Velho), implicam na abertura de áreas grandes de floresta para a entrada de agentes de desmatamento.

No espectro relativo ao Solo Exposto amostra IV (Figura 31) também é possível fazer esta analogia ao desmatamento ocorrido ao longo da área de estudo. Neste caso, a mudança do uso e cobertura do solo é mais recente, associado, entre

outros motivos, as queimadas, utilizadas no processo inicial de abertura da floresta para o desmatamento.



**Figura 31.** Espectro temporal do NDVI/MODIS do Solo Exposto amostra IV – 2000 a 2011.

De acordo com Piromal et al. (2008) as queimadas estão amplamente inseridas no processo produtivo da Amazônia e do Cerrado brasileiro e é um fator que impulsiona a expansão agropecuária nestas regiões. Agricultores e fazendeiros praticam a queimada em suas terras para converter florestas em áreas de lavouras ou pastagens e para controlar a proliferação de plantas invasoras, de pragas ou de doenças (COUTINHO, 1990; ALENCAR et al., 1997), bem como para estimular a rebrota da pastagem.

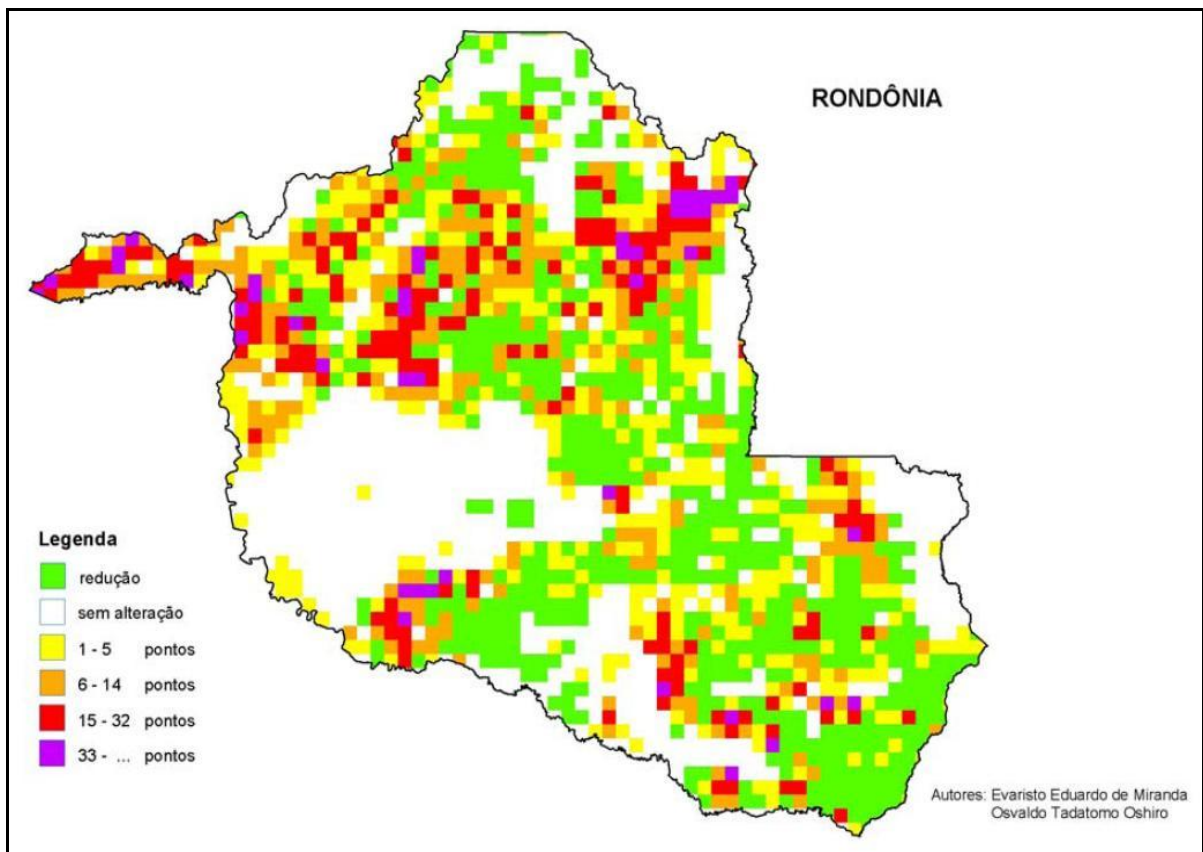
As queimadas são um dos fatores que contribuem com a emissão de gases de efeito estufa, pois o fogo altera estoques e fluxos de carbono, ao emitir para a atmosfera o CO<sub>2</sub> da queima da vegetação. A participação de queimadas varia entre 5% a 25% das emissões totais; no caso específico do Brasil (dados do Ministério da Ciência e Tecnologia) esta participação é de 70% a 75% (CASTRO-NEVES, 2007).

De 2004 a 2005, houve um aumento significativo no número de pontos de queimadas no Estado do Acre (424%), seguido pelos estados do Amazonas (168%), Maranhão (36%) e em Rondônia chegou a um índice de 35%.

Em julho de 2007, o desmatamento acumulado em Rondônia chegou a quase 9 milhões de hectares (38% da superfície total do Estado e 44 % da área

originalmente coberta por florestas) índices entre os mais elevados de todos os estados da Amazônia Legal.

Segunda Miranda et al. (2006) no Estado de Rondônia (Figura 32), observou-se um maior número de pontos de queimadas em 2005: 17.816 contra 13.205 em 2004. Isso representa um acréscimo de 4.611 pontos ou 34,92% de um ano para o outro.



**Figura 32.** Evolução das queimadas no Estado de Rondônia em 2005.

**Fonte:** Miranda et al. (2006).

Segundo os cálculos do Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (Deter) do INPE, o desmatamento em Rondônia no período de agosto de 2007 a Abril de 2008 foi de 557 km<sup>2</sup>. Somente no mês de Abril foram desmatados 34,6 km<sup>2</sup> no Estado de Rondônia.

Neste contexto, os dados apresentados nesta pesquisa se relacionaram diretamente a estas características da dinâmica de exploração do espaço na região amazônica. Os níveis de ocupação do solo, com a retirada da vegetação existente e

as queimadas influenciaram diretamente as curvas dos espectros temporais apresentados.

Outro fator a destacar se refere às características dos períodos seco e chuvoso, que apresentam um comportamento distinto quando se analisa a variação do NDVI nas classes de uso e cobertura do solo. O comportamento da vegetação é diferenciado porque a disponibilidade de umidade é fundamental para as espécies vegetais, neste caso, no período onde a precipitação pluviométrica foi maior, as oscilações da curva temporal das florestas aberta e densa também foram elevadas.

Verificou-se que além das variações pontuais em alguns anos da série temporal, como em 2005, com a seca e as intensas queimadas, houve um aumento dos valores de NDVI no período chuvoso e uma relativa diminuição nos meses onde a chuva foi escassa, confirmando a relação das estações do ano, a interferência das chuvas e a seca, influenciando na diminuição da resposta da biomassa no NDVI.

Resumindo, as principais características da análise dos espectros temporais de NDVI:

- Em relação ao espectro temporal da Floresta Ombrófila Aberta: destaca-se a queda acentuada dos valores de NDVI no ano de 2005, relacionado a seca de 2005 que afetou toda a região amazônica. Os valores baixos de NDVI identificam áreas com pouca ou quase nenhuma vegetação e, conseqüentemente o aumento da contribuição da resposta do solo nos valores de NDVI, o que pode relacionar-se ao maior espaçamento das espécies vegetais nas áreas de Floresta Aberta e, quando do período de secas prolongadas da maior influência da resposta das áreas de campo ou de solo. Essa influência também está associada a predominância de espécies semidecíduas, e com ocorrência de muitas palmeiras.
- Em relação a Floresta Ombrófila Densa a correlação entre os períodos seco e úmido ficaram evidenciadas. No ano de 2010 os baixos valores de NDVI estão diretamente ligados a maior seca dos últimos 100 anos identificada na Amazônia. A maior densidade da cobertura florestal e a maior permanência da umidade sob a floresta faz manter os valores de NDVI na média dos outros anos. As copas das árvores geralmente ficam mais próximas uma das outras, Ombrófila Densa Aluvial é uma formação característica das áreas inundáveis pelas cheias sazonais, ecologicamente adaptadas às intensas.

Verifica-se que de forma geral as variações nos valores de NDVI seguem uma seqüência de declínios e elevações que podem ser relacionadas a sazonalidade dos

períodos úmido e seco. As influências das estações secas e chuvosas interferem nitidamente no padrão da frequência da série temporal. Os níveis de ocupação do solo, com a retirada da vegetação existente e as queimadas influenciaram diretamente as curvas dos espectros temporais apresentados.

### **6.3 Análise da variação espaço-temporal de NDVI com base em Análise de Séries Temporais, a partir de Componentes Principais (CP's).**

Utilizando-se um total de 85 imagens de NDVI, entre 2000 e 2011, foram geradas a partir da ferramenta de TSA, três imagens de componentes principais (CP's), para a análise das séries temporais. Para a geração da TSA, as imagens foram organizadas em quatro grupos principais:

- Todas as imagens, seguindo a sequência cronológica por data;
- O período chuvoso (compreende os meses de novembro e abril, com um quadrimestre mais chuvoso abrangendo os meses de dezembro a março). Nesta pesquisa considerou-se chuvoso o período que vai de novembro a abril;
- O período seco (compreende os meses de maio e estende-se até outubro, com os meses mais secos no trimestre junho-agosto). Nesta pesquisa considerou-se seco o período que vai de maio até outubro;
- Por ano, neste caso, cada ano individual da série temporal.

Para a geração da série temporal de imagens de NDVI, as imagens foram normalizadas, desta forma, passaram de imagens de NDVI em números reais, variação entre 0 e 1 byte, para imagens com variação dos níveis de cinza de 0 a 255.

De acordo com Lissner (2011) a vantagem da utilização da TSA é que esta ferramenta gera produtos de saída que incluem padrões espaciais e temporais que podem ser analisados de forma conjunta. A geração de dados temporais consiste na geração de um grupo de diagramas que representam as variações do item em estudo, utilizando a análise por PC's que mostram o comportamento espaço-temporal do NDVI.



### a) Componentes Principais – Série temporal 2000-2011.

Os resultados das Componentes Principais com todas as imagens disponíveis para a série 2000 - 2011, processadas através do TSA estão apresentados na Tabela 6, onde estão identificadas as imagens e suas datas correspondentes, a porcentagem de variância de cada Componente Principal (autovalores) e a contribuição relativa de cada banda as CP's (autovetores) para cada uma das imagens.

**Tabela 6:** Percentual de contribuição das Componentes Principais de imagens NDVI/MODIS, série temporal 2000-2011.

IMAGENS	CP 1 85.88%	CP 2 2.43%	CP 3 1.06%
129	0.916375	-0.196178	-0.001533
161	0.916025	-0.145834	0.038746
177	0.963119	-0.121465	0.057107
193	0.949207	-0.054180	0.092737
209	0.931141	-0.002166	0.143564
241	0.931410	0.007932	0.144698
257	0.929546	-0.087303	0.078442
273	0.920901	-0.036244	0.122197
289	0.847909	0.009785	0.185788
1033	0.905614	-0.154772	0.039953
1113	0.904834	-0.207054	0.006016
1145	0.884949	-0.190756	0.014574
1161	0.923854	-0.184611	0.004716
1177	0.902636	-0.154778	0.040681
1193	0.927819	-0.132870	0.050900
1209	0.957912	-0.069443	0.071256
1225	0.931225	0.051878	0.158249
1241	0.919832	0.013347	0.158615
1257	0.933861	-0.011873	0.125760
2129	0.923898	-0.183427	0.026486
2145	0.950399	-0.171736	0.001680
2193	0.916815	0.172958	0.193439
2241	0.939939	0.037349	0.122915
3113	0.919773	-0.192873	-0.000075
3129	0.942661	-0.142657	0.009574
3145	0.895933	-0.176614	-0.004877
3177	0.959965	-0.112743	0.026806
3193	0.954551	-0.031505	0.068710
3225	0.927257	0.070652	0.132061
4081	0.934680	-0.185702	0.002725
4113	0.920025	-0.181797	0.006255
4145	0.911268	-0.179398	-0.008937
4193	0.955475	-0.102313	0.016237
4209	0.935583	0.103974	0.131615
4241	0.895951	0.197888	0.177290
5097	0.951852	-0.113693	0.016796

5129	0.930295	-0.142249	-0.000909
5145	0.949334	-0.099806	-0.004994
5161	0.940908	-0.024446	0.037295
5177	0.959498	-0.006170	0.045390
5193	0.949917	0.079399	0.079499
5209	0.924456	0.179374	0.138007
5257	0.808962	0.437868	0.174690
6113	0.928120	-0.150203	-0.028154
6129	0.939052	-0.079019	-0.021885
6145	0.928924	-0.071311	-0.013820
6161	0.951121	-0.001487	0.003583
6177	0.963126	-0.122206	0.062138
6193	0.930861	0.205556	0.081595
6209	0.906956	0.275228	0.108251
6225	0.905177	0.260336	0.118668
7081	0.954319	-0.130460	-0.025909
7129	0.951205	-0.138265	-0.063695
7145	0.945497	-0.109656	-0.053766
7161	0.932554	0.010270	-0.030720
7177	0.947206	0.079413	-0.013337
7193	0.937895	0.170611	0.016727
7209	0.947692	0.188389	0.034794
8113	0.870440	-0.149340	-0.065641
8145	0.905213	-0.097727	-0.056412
8161	0.928481	-0.043735	-0.042103
8177	0.942758	0.005019	-0.058912
8193	0.938649	0.120360	-0.035305
8209	0.931308	0.218357	0.008390
9145	0.909885	-0.051382	-0.077421
9161	0.952321	-0.099798	-0.094013
9177	0.946990	-0.041952	-0.112965
9193	0.958769	-0.019544	-0.105313
9209	0.950529	0.075613	-0.093086
9225	0.920132	0.180084	-0.034834
9257	0.903636	0.166227	-0.034648
10097	0.932850	-0.072716	-0.132931
10129	0.958719	-0.050067	-0.147619
10145	0.938830	0.005865	-0.125117
10161	0.955850	0.044670	-0.136664
10193	0.915877	0.278598	-0.093545
10209	0.896696	0.331126	-0.061811
11113	0.903206	-0.037249	-0.237843
11129	0.910273	-0.035187	-0.220596
11145	0.920731	0.033352	-0.256394
11161	0.911180	0.166719	-0.230192
11177	0.899897	0.239406	-0.200935
11193	0.896033	0.312675	-0.173213
11209	0.894923	0.340950	-0.154567
11225	0.879601	0.357810	-0.110086

---

A primeira informação fornecida pelo conjunto das Componentes Principais, é que na  $CP_1$  a contribuição de todas as imagens é positiva, ou seja, todos os valores possuem uma porcentagem de representatividade que expressa a maior quantidade

de informações. Na  $CP_1$  os autovalores, somando-se todas as imagens é de 85,83%. Na  $CP_2$  totaliza 2,43% e na  $CP_3$  a contribuição total é de 1,06%.

Mesmo utilizando-se de uma criteriosa seleção para evitar a utilização de imagens que apresentaram nuvens e outros aspectos que comprometiam a sua utilização, como erros e ruídos, alguns resultados identificados mostraram valores aparentemente baixos, como o identificado na imagem 257 (14 de setembro de 2005), na  $CP_1$ . Esta imagem correspondente ao período seco apresentou percentual de 80%, percentual que influencia diretamente na diminuição representativa da série temporal no conjunto da  $CP_1$ . A imagem que representa a maior contribuição entre todas as imagens da série temporal é a imagem 177 (26 de junho de 2006), com autovetores indicando 0,96%.

De acordo com Chaves et al. (1991) durante o processo de cálculo das Principais Componentes, a maioria das informações comuns a todas as bandas multiespectrais é concentrada na primeira Componente Principal ( $PC_1$ ), sendo assim, esta PC pode assimilar a informação pancromática, enquanto que a informação espectral exclusiva de cada banda fica destinada às outras CP's.

A  $CP_2$  contém a feição espectral mais significativa do conjunto. As CP's seguintes contêm feições espectrais cada vez menos significantes, até a última CP, que conterà a informação que sobrar, ou seja, a menos significativa (CROSTA, 1992).

Estes resultados, como explicado anteriormente, são baixos, o que pode representar um comportamento semelhante ao apresentado por imagens que contém erros, nuvens e até alguns tipos de ruídos. Entretanto, as características da área de estudo, onde foram selecionadas as amostras pode estar ligadas a variação dos valores percentuais expressos em cada uma das Componentes Principais.

São poucos os trabalhos que tratam sobre a variação temporal de NDVI, através da análise por Componentes Principais. Estes estudos possuem metodologias e objetivos distintos, não sendo possível fazer uma comparação direta, entretanto as pesquisas que tratam sobre a vegetação a partir de Componentes Principais são possíveis de serem relacionadas.

Neste contexto, citamos o estudo de Coura (2007) que realizou o mapeamento da vegetação do estado de Minas Gerais utilizando dados MODIS, aplicando a análise por Componentes Principais. Um dos resultados encontrados em relação a primeira componente ( $PC_1$ ), conforme a indicação dos auto-vetores, foi

que a mesma refletiu as variações da reflectância média do sensor MODIS em suas quatro bandas espectrais. Em relação a segunda componente ( $PC_2$ ), identificou que a mesma foi fortemente influenciada pelas bandas do vermelho e Infravermelho Próximo, ou pelas suas relações de covariância negativas para as diferentes datas analisadas.

Outra característica apresentada pela referida pesquisa foi que os valores dos auto-vetores para uma mesma data (ou entre datas) estiveram associados, principalmente, com o vigor da vegetação ou com a sua sazonalidade. As análises dos perfis obtidos através dos dados de NDVI exibiram dinâmica sazonal, com menores e maiores valores de NDVI encontrados nas estações chuvosa e seca, respectivamente. Embora não apresentados em função da visualização, imagens adquiridas durante a estação chuvosa mostraram maiores desvios padrões para as fitofisionomias em análise em relação à estação seca.

Na Figura 33 visualiza-se a primeira imagem de Componente Principal, gerada através do TSA, do conjunto das 85 imagens da série temporal.

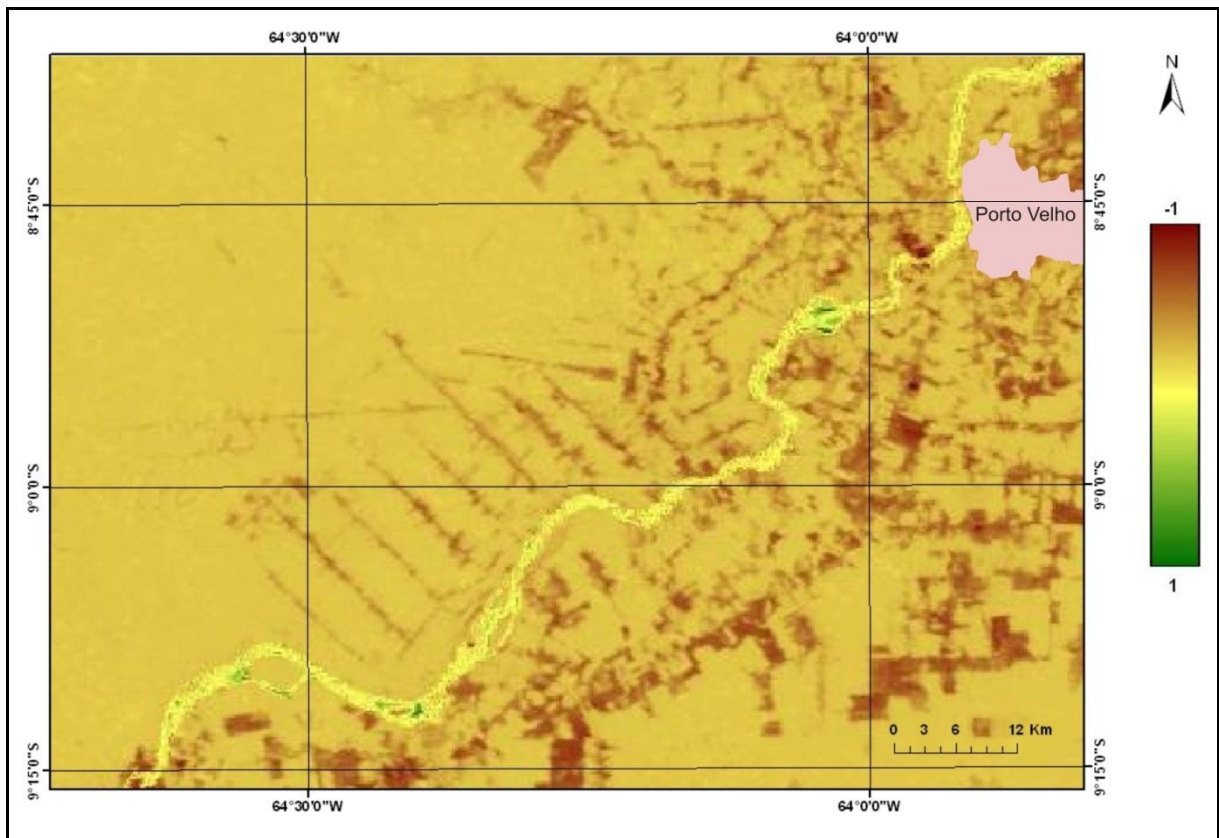


**Figura 33.** Imagem da 1ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS.

Esta imagem mostra as variações das características mais comuns ao conjunto das informações das CP's. Os valores negativos estão associados aos tons mais avermelhados e os valores positivos se referem a coloração de um verde mais forte. Nesta imagem a diferenciação entre as classes de Floresta Ombrófila Aberta e Floresta Ombrófila Densa não são perceptíveis, o que se pode perceber é a homogeneização dos valores altos de NDVI.

As Figuras 34 e 35 se referem a PC<sub>2</sub> e PC<sub>3</sub> geradas por TSA. Como já foi referenciado verifica-se a diminuição das feições espectrais ao longo das próximas PC's que vão sendo geradas. Entretanto, as informações relativas às mudanças do uso e cobertura do solo estão bem explicitadas.

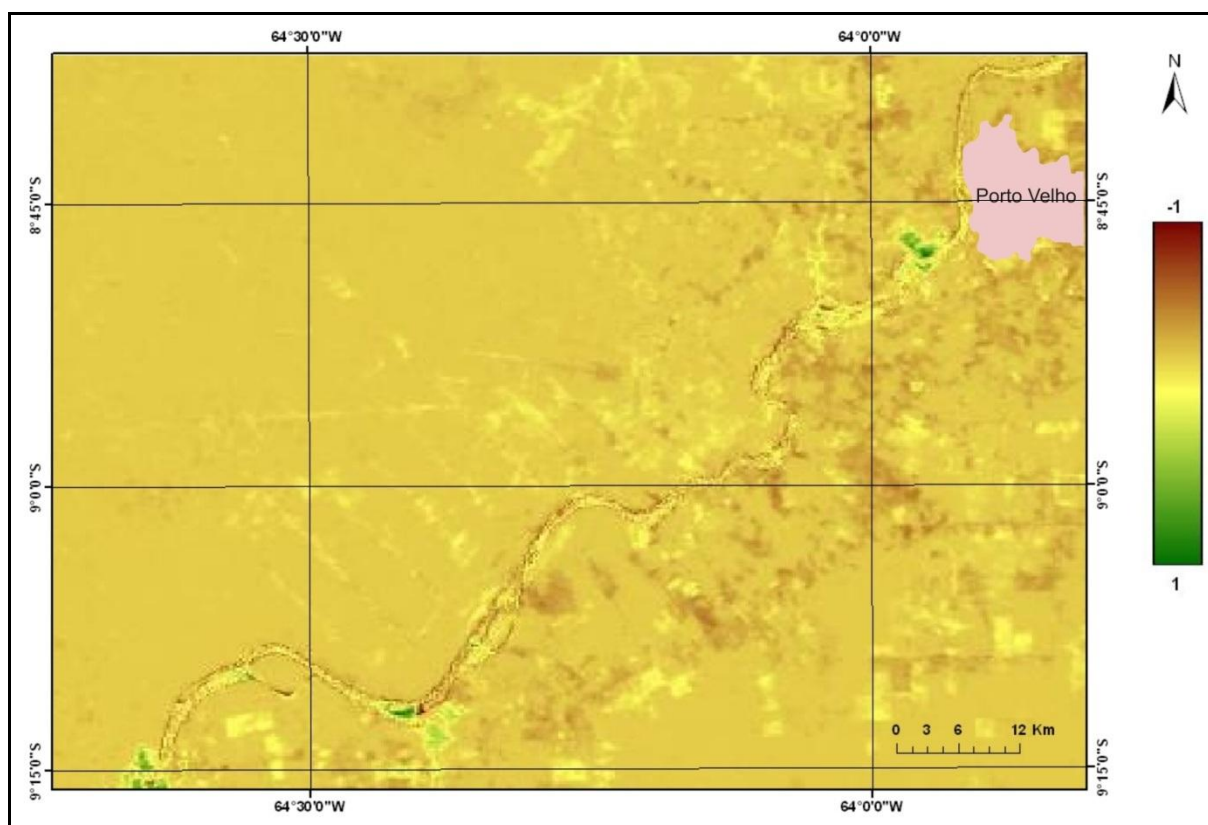
Na imagem da segunda Componente Principal (Figura 34) visualiza-se a variação do NDVI nas áreas adjacentes ao rio Madeira, mesmo que a coloração pareça semelhante é possível verificar o contraste entre a Floresta Ombrófila Aberta e a Floresta Ombrófila Densa.



**Figura 34.** Imagem da 2ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS.

Na terceira Componente Principal (Figura 35) identificam-se as manchas mais recentes, relacionadas às mudanças de uso e cobertura do solo, ou seja, as áreas

anteriormente cobertas por vegetação arbórea que foram substituídas por vegetação rasteira ou solo exposto.



**Figura 35.** Imagem da 3ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS.

As Componentes Principais relativas ao conjunto total da série temporal das imagens de NDVI mostraram contribuições em níveis relativamente menores do que o identificado na maioria dos estudos que aplicam esta técnica, principalmente em relação as classe de cobertura florestal. A primeira Componente Principal, por possuir grande parte da informação comum a todas as bandas não apresentou uma representatividade superior a 90%.

Fritz et al. (2008) em um estudo de caso na região de Rostov, sul-ocidental da Rússia, utilizando dados do sensor MODIS para derivar estimativas em áreas de campos de grandes extensões, através de Componentes Principais, encontrou a representatividade que explicou mais de 95% da variância.

Retomando as principais características encontradas na análise por Principais Componentes, considerando as 85 imagens da serie temporal: verificou-se que na CP<sub>1</sub> a contribuição de todas as imagens é positiva (85,83%), ou seja, todos os

valores possuem uma porcentagem de representatividade que expressa a maior quantidade de informações. Na CP<sub>2</sub> os autovalores totalizaram 2,43% e na CP<sub>3</sub> a contribuição total foi de 1,06%.

Estes baixos valores percentuais representam um comportamento semelhante ao apresentado por imagens que contém erros, nuvens e até alguns tipos de ruídos.

Na imagem da segunda Componente Principal visualiza-se a variação do NDVI nas áreas adjacentes ao rio Madeira, mesmo que a coloração pareça semelhante é possível verificar o contraste entre a Floresta Ombrófila Aberta e a Floresta Ombrófila Densa. Na terceira Componente Principal identifica-se as manchas mais recentes relacionadas as mudanças de uso e cobertura do solo, ou seja, as áreas anteriormente cobertas por vegetação arbórea que foram substituídas por vegetação rasteira ou solo exposto.

#### **b) Componentes Principais - Período seco e chuvoso.**

O resultado obtido a partir das Componentes Principais relativo ao período seco e chuvoso permitiu realizar uma análise específica através da sazonalidade da série temporal. A análise das CP's de cada período proporciona que se realize uma verificação mais detalhada, permitindo que as possíveis anomalias encontradas possam ser analisadas com maior precisão, contribuindo para melhorar a qualidade da informação presente na série de dados.

Carvalho (1986), por exemplo, destaca que a época úmida é considerada a mais apropriada para discriminação entre solo exposto e vegetação, uma vez que nesse período a cobertura vegetal se apresenta com elevado potencial de reflectância, dessa forma havendo boa distinção entre o solo e a vegetação.

Esta característica foi expressa nos resultados desta pesquisa: no conjunto de imagens correspondentes ao período chuvoso os autovalores totalizaram 88,08%, na CP<sub>1</sub> (Tabela 7). Este dado se caracteriza na escala de valores considerados relativamente baixos, quando comparados com resultados encontrados em outros estudos.

**Tabela 7:** Componentes Principais de imagens NDVI/MODIS, período chuvoso.

	<b>CP 1</b>	<b>CP 2</b>	<b>CP 3</b>
<b>Imagens</b>	88.08%	1.97%	1.81%
	<b>CMP 1</b>	<b>CMP 2</b>	<b>CMP 3</b>
1033	0.925155	-0.083928	-0.085922
1113	0.933398	-0.066700	-0.067846
3113	0.943033	-0.076214	-0.071460
4081	0.955923	-0.040500	-0.060915
4113	0.942262	-0.044247	-0.097701
5097	0.958735	-0.046358	-0.038676
6113	0.948074	-0.019093	-0.026345
7081	0.966989	-0.014655	-0.021612
8113	0.896158	0.439170	-0.040639
10097	0.939700	-0.006206	0.140831
11113	0.912250	-0.020643	0.380962

Entretanto, podemos atribuir a este baixo valor representativo da CP<sub>1</sub> às dificuldades operacionais encontradas na seleção das imagens para este período. Como a área de estudo, hidrelétrica de Santo Antônio, localiza-se na região Amazônica, onde os índices de umidade são bastante altos nesse período do ano e as possibilidades de se obter imagens sem nuvens são mais reduzidas, há um grande comprometimento da série total das imagens disponíveis.

A intensa cobertura por nuvens na Amazônia, principalmente ao longo dos meses de novembro a março (ASNER, 2001), representa um obstáculo para o monitoramento contínuo da região por meio do sensoriamento remoto, sobretudo aquele realizado com sensores passivos (FERREIRA et al., 2005).

Este é o caso de grandes projetos de monitoramento ambiental, tal como o SIAD (Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos) e o PRODES Digital (Programa de Controle do Desflorestamento na Amazônia), que empregam, respectivamente, dados do sensor MODIS (Produto MOD13) e Landsat para a detecção dos desmatamentos no referido bioma.

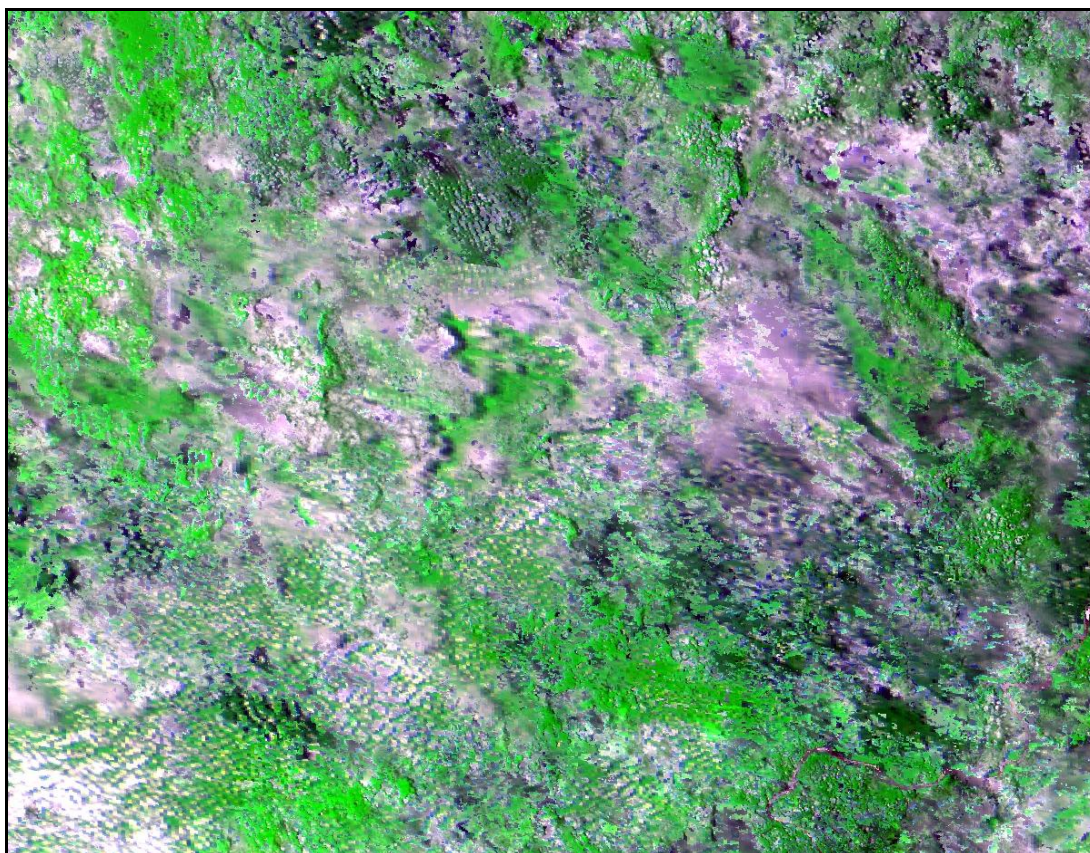
Estes dados sobre o desmatamento são gerados pelo DETER, acrônimo de Detecção do Desmatamento em Tempo Real, sistema que se baseia em imagens geradas por satélites com sensores óticos, incapazes de “enxergar” por debaixo das nuvens. A consequência disso é que grande parte do território amazônico, a depender das nuvens, não é verificada. Em junho de 2008, por exemplo, os Estados



do Amapá e Roraima tiveram 99% e 89%, respectivamente, de seus territórios cobertos por nuvens (INPE, 2010).

Especificamente em relação ao MODIS, Ferreira et al. (2005) descreve que, mesmo com o uso do sistema de *compositing*, que visa principalmente minimizar o impacto de nuvens e aerossóis, a presença de pixels contaminados com nuvens e sombras é inevitável. Em alguns casos, esta contaminação tem alcançado até 80% de uma cena (*tile*), o que prejudica ou acaba por inviabilizar a detecção do desmatamento para aquele período.

A imagem do sensor MODIS do ano de 2000 (Figura 36), é um exemplo da presença de grande quantidade de nuvens e sombra de nuvens sobre a área de estudo. Esta imagem não foi selecionada para o processamento da série temporal das Componentes Principais.



**Figura 36.** Imagem de NDVI/MODIS, cena 049 - 18 de fevereiro de 2000, com presença de nuvens e sombra.

Para esta pesquisa, a disponibilidade inicial era a utilização de 23 imagens por ano, na série de 2000 até 2011, entretanto, para que os resultados não fossem comprometidos imagens com grande quantidade de nuvens sobre a área de estudo

foram retiradas. Do total de 253 imagens que poderiam ser utilizadas, apenas 33,4% foram selecionadas, o que corresponde a 85 imagens.

Com relação a outros resultados identifica-se que a menor porcentagem de representatividade (Tabela 7) refere-se a imagem 113, (23 de abril de 2008), que apresenta um autovetor de 89% na CP<sub>1</sub>. Este valor é baixo, quando em comparação com as outras imagens da série do período chuvoso, que são superiores a 90%.

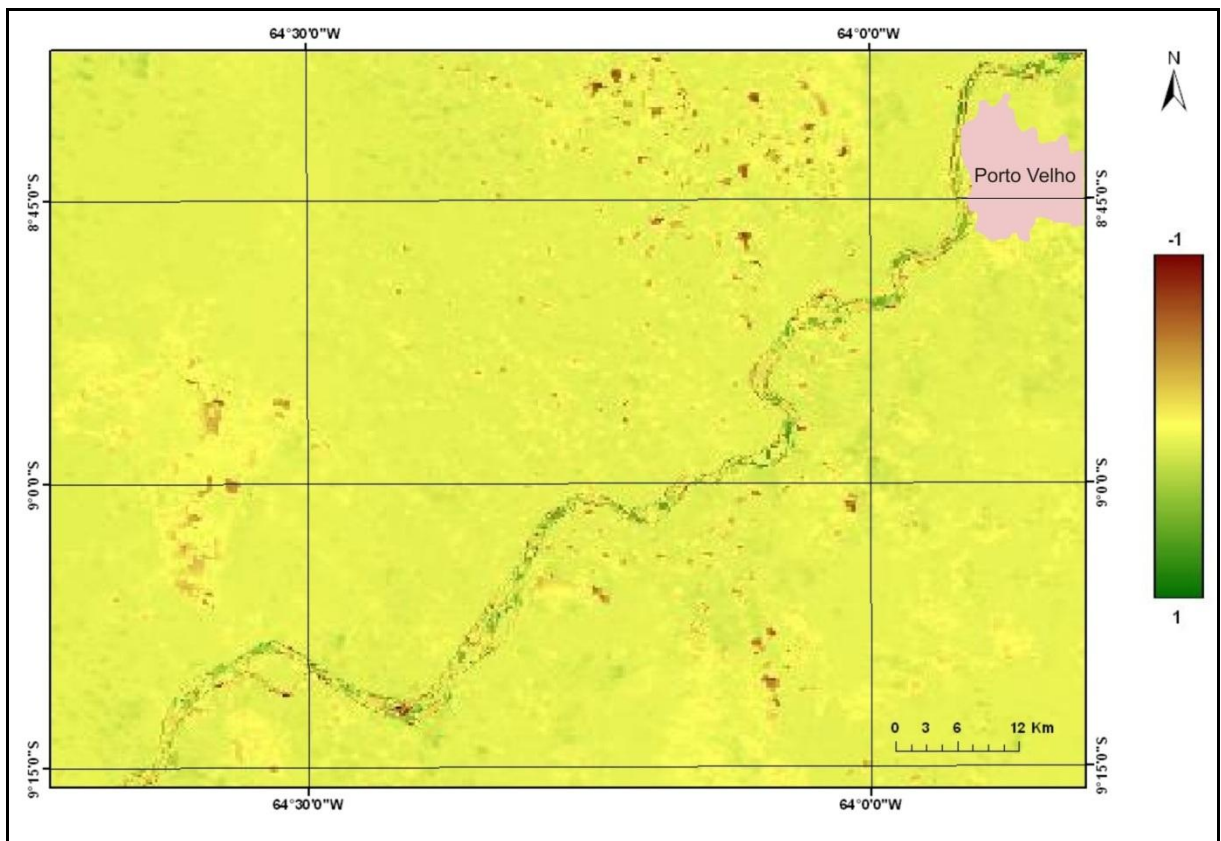
Com relação a CP<sub>2</sub> e a CP<sub>3</sub> a representatividade das imagens na série não ultrapassa os 4%, com várias imagens apresentando autovetores negativos. A CP<sub>2</sub> apresenta autovalor de 1,97% e na CP<sub>2</sub> a porcentagem é de 1,81%.

Assim, como na análise conjunta com todas as imagens da série temporal foram processadas para esta pesquisa as imagens relativas a cada CP. A Figura 37 apresenta a variação dos valores da CP<sub>1</sub> no conjunto das imagens selecionadas para o período chuvoso. Os valores negativos estão associados à coloração verde e os valores positivos estão relacionados aos tons mais alaranjados.



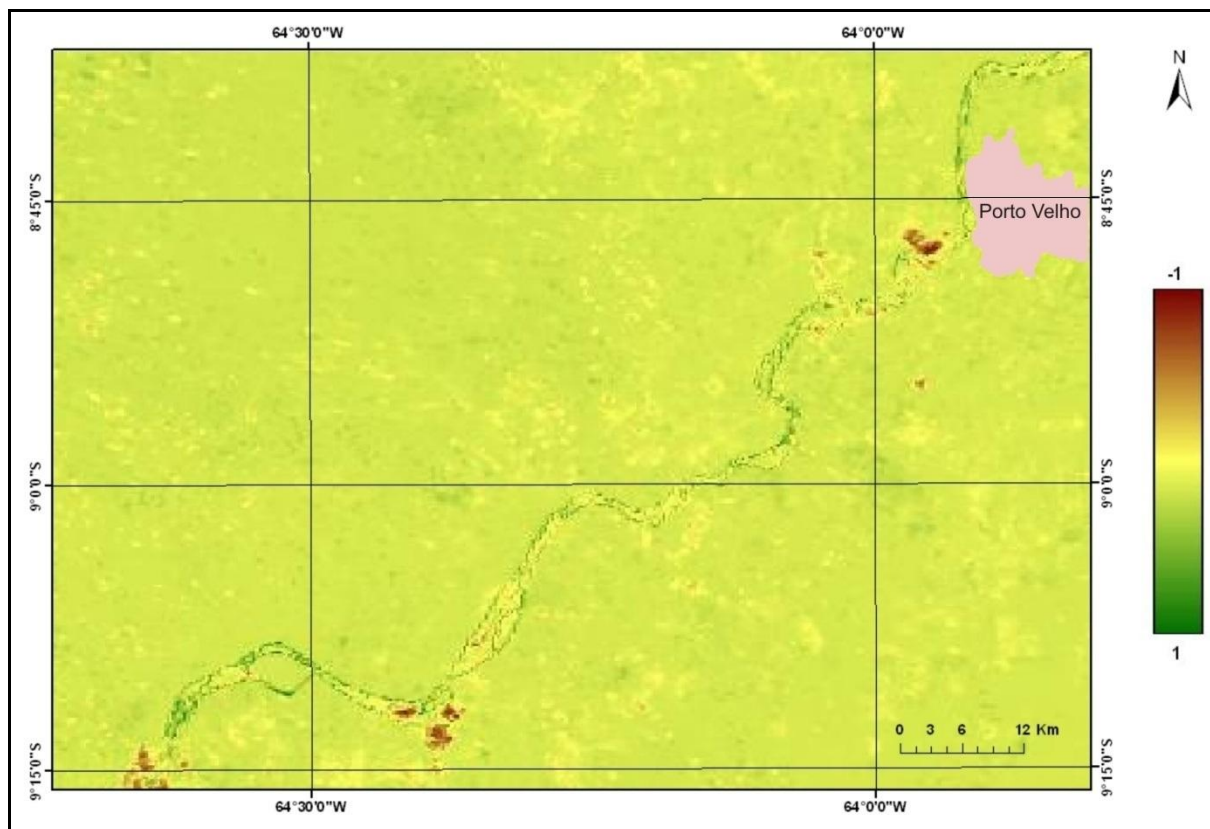
**Figura 37.** Imagem da 1ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período chuvoso.

As Figuras 38 e 39 mostram as variações apresentadas na CP<sub>2</sub> e na CP<sub>3</sub> respectivamente. Nestas imagens observa-se a diferenciação das informações entre as classes de uso e cobertura do solo, evidenciando-se a diferenciação entre as classes. É nítida a diferença existente entre cada uma das Componentes, pois, na sequência da CP<sub>1</sub> até a CP<sub>3</sub> é possível perceber que a coloração verde vai tornando-se mais amarelada.



**Figura 38.** Imagem da 2ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período chuvoso.

Na Figura 38 (CP<sub>2</sub>) destacam-se em tons de marrom as áreas de queimadas e na Figura 39 (CP<sub>3</sub>) áreas de desmatamento mais recentes próximos ao rio madeira e associados a implantação da UHE Santo Antonio tornam-se mais facilmente identificáveis.



**Figura 39.** Imagem da 3ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período chuvoso.

Nos resultados da análise das Componentes Principais relativa ao período seco utilizou-se 66 imagens. Ao contrário do período chuvoso as imagens do intervalo dos meses que vai de Maio até Outubro apresentaram menor quantidade de nuvens sobre a área de estudo, possibilitando o uso de um número maior de imagens na série temporal.

Os autovalores obtidos no período seco para a 1ª Componente Principal foi de 86,48% (Tabela 8), apresentando em algumas imagens autovetores fora do padrão geral do conjunto das imagens. No entanto, o percentual de representatividade da  $CP_1$  é inferior ao identificado na  $CP_1$  do período chuvoso.

A representatividade do período seco e do período chuvoso identificada nesta pesquisa marca a característica sazonal das Componentes Principais. O menor valor identificado no período seco reflete a reduzida quantidade de chuvas, do qual a área de estudo esteve submetida durante os anos da série temporal pesquisada.

**Tabela 8:** Componentes Principais de imagens NDVI/MODIS, período seco.

<b>IMAGENS</b>	<b>CP 1</b> 86.483.168%	<b>CP 2</b> 2.190.806%	<b>CP 3</b> 1.100.757%
	<b>CMP 1</b>	<b>CMP 2</b>	<b>CMP 3</b>
161	0.913733	-0.162774	-0.026666
177	0.961472	-0.145150	-0.041368
193	0.948883	-0.083817	-0.075120
209	0.931803	-0.036649	-0.159536
241	0.932203	-0.024482	-0.164599
257	0.927781	-0.110644	-0.072037
273	0.920705	-0.064237	-0.124670
289	0.848617	-0.022045	-0.218738
1145	0.881838	-0.202498	0.010987
1161	0.920780	-0.199528	0.016878
1177	0.900316	-0.169620	-0.031308
1193	0.925223	-0.154415	-0.035264
1209	0.957763	-0.098815	-0.054112
1225	0.932808	0.018527	-0.174660
1241	0.920645	-0.021696	-0.173682
1257	0.933806	-0.037569	-0.130368
2129	0.921091	-0.196684	0.003025
2145	0.947511	-0.188455	0.035218
2193	0.919913	0.132472	-0.231648
2241	0.940661	0.003390	-0.131775
3129	0.940781	-0.159980	0.020556
3145	0.892275	-0.191719	0.036478
3177	0.958026	-0.133158	0.003021
3193	0.954585	-0.060499	-0.050152
3225	0.928450	0.036099	-0.140104
4145	0.907427	-0.191686	0.037367
4193	0.954112	-0.121100	0.015029
4209	0.937018	0.068494	-0.148622
4241	0.898518	0.160013	-0.209644
5129	0.927036	-0.156083	0.034051
5145	0.947790	-0.122786	0.045337
5161	0.940989	-0.050101	-0.006636
5177	0.959796	-0.037460	-0.020803
5193	0.951507	0.043961	-0.074050
5209	0.927266	0.143928	-0.156376
6129	0.937986	-0.096863	0.049790
6145	0.927810	-0.089619	0.042672
6161	0.951228	-0.028485	0.024239
6177	0.961478	-0.145369	-0.041802
6193	0.934478	0.168813	-0.074650
6209	0.911382	0.238645	-0.136131
7129	0.948422	-0.146935	0.098687
7145	0.943465	-0.124167	0.092869
7161	0.933799	-0.009734	0.059062
7177	0.948685	0.058551	0.031048
7193	0.940824	0.148794	-0.016124
7209	0.950602	0.164885	-0.038505
8145	0.903946	-0.109058	0.074464
8161	0.928336	-0.053865	0.057464
8177	0.943443	-0.009136	0.082711
8193	0.941149	0.096308	0.044466
8209	0.935104	0.200609	-0.021353
9145	0.909249	-0.053371	0.081338
9161	0.950394	-0.099118	0.113921
9177	0.946775	-0.044035	0.136773

9193	0.958860	-0.028204	0.122073
9209	0.952097	0.068943	0.098750
9225	0.923002	0.176914	0.003228
9257	0.906332	0.161778	0.006363
10129	0.957273	-0.041514	0.155246
10145	0.938641	0.012509	0.115958
10161	0.956520	0.046517	0.134271
10193	0.920805	0.278035	0.056238
10209	0.901479	0.329763	0.006199
11129	0.908542	-0.003754	0.191610
11145	0.921070	0.056940	0.239579
11161	0.913892	0.178915	0.197710
11177	0.903531	0.256238	0.143193
11193	0.901068	0.323571	0.113752
11209	0.899932	0.351223	0.091939
11225	0.883754	0.369312	0.036788

Com relação a  $CP_2$  e  $CP_3$  a representatividade apresentada se assemelha com o verificado pelas Componentes Principais do período chuvoso e do total das imagens da série temporal.

Neste contexto, Lissner (2011) utilizou somente a  $CP_2$  e a  $CP_3$  para análise da TSA já que buscava analisar a maior variabilidade na dinâmica da sua área de estudo. Os valores apresentados pelo estudo para essas duas CP's foram significativos. Ao contrário dos valores identificados nesta pesquisa, a Tabela 9 mostra que na  $CP_2$  os autovalores foram de 2,19% e na  $CP_3$  totalizaram de 1,10%, para o período seco.

Os valores e autovetores obtidos, que foram apresentados através da Tabela 9, das Componentes Principais do período seco, estão ilustrados nas imagens das Figuras 40, 41 e 42. Na Figura 40 está expressa a variação da representativa da  $CP_1$ . É possível verificar a variação na tonalidade das cores do verde, chegando até o tom mais escuro. Nesta imagem é possível verificar a predominância dos valores mais altos de NDVI.

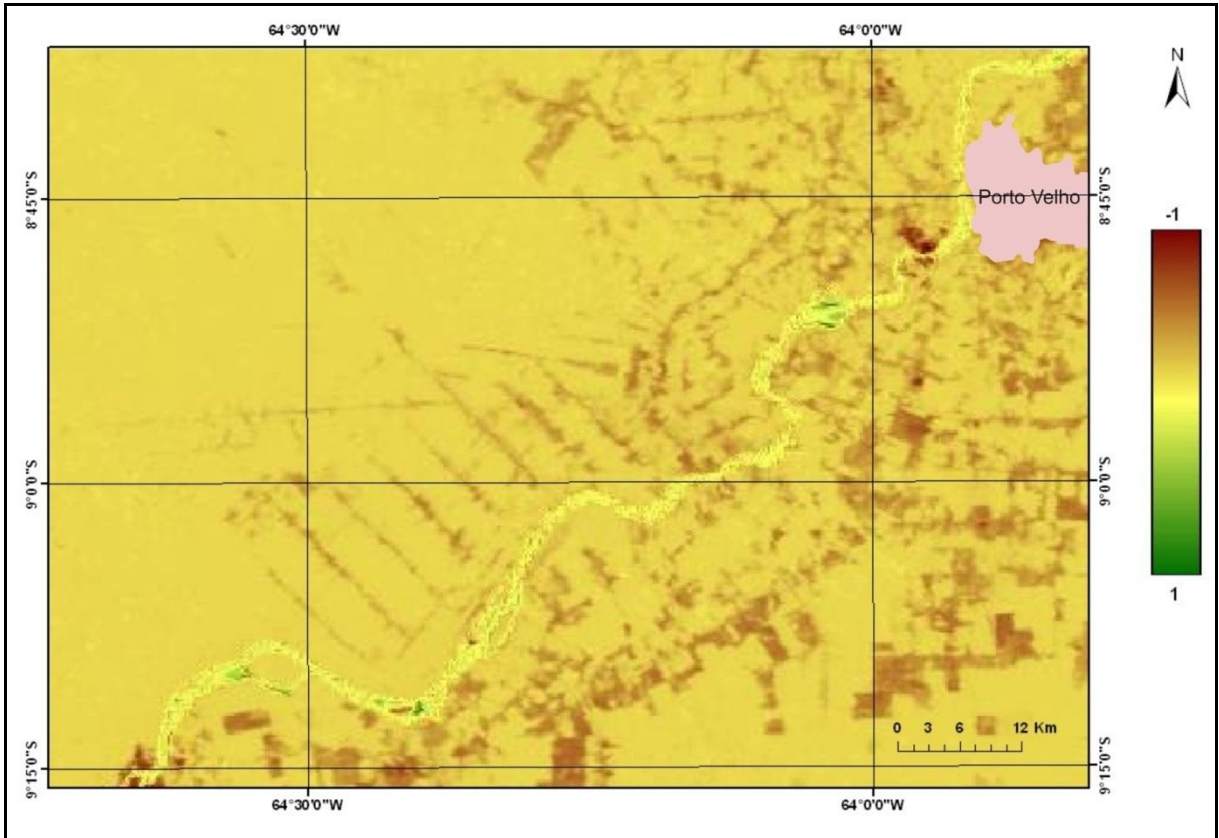


**Figura 40.** Imagem da 1ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período seco.

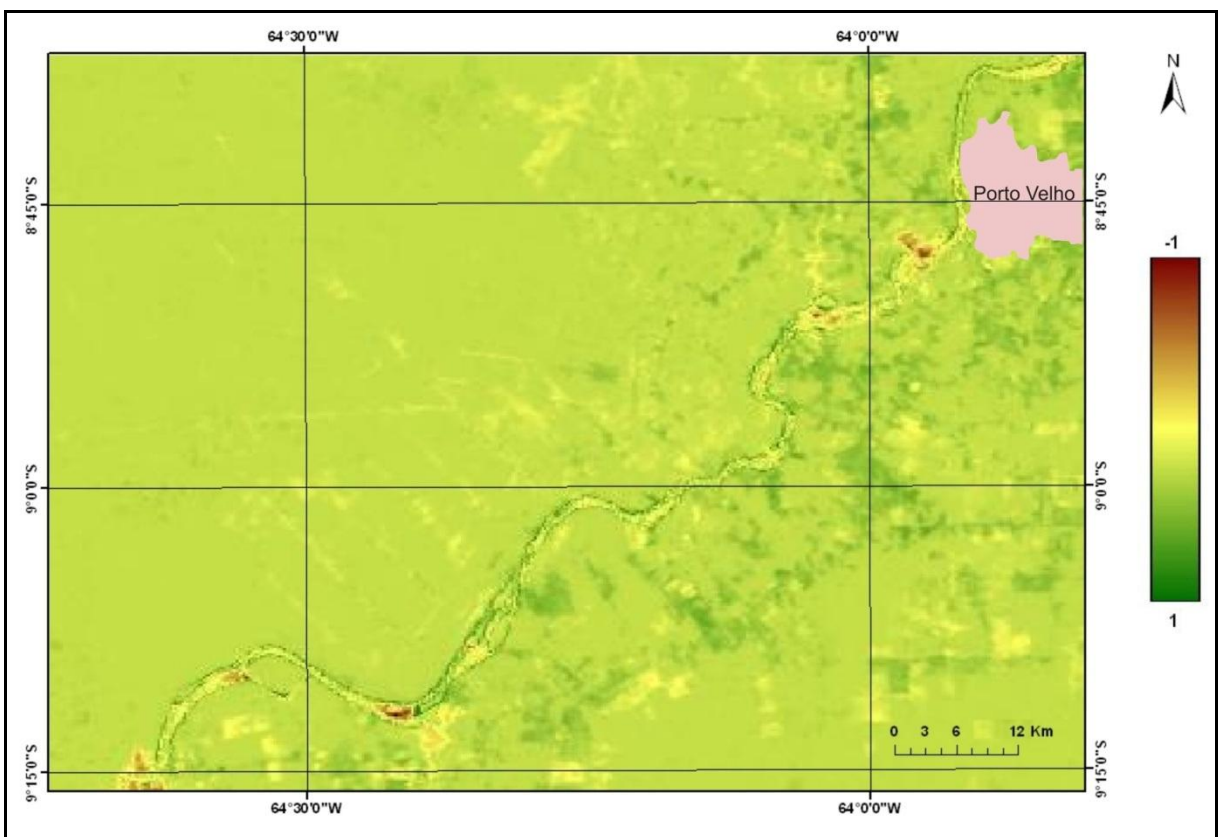
Na Figura 41 apresentam-se os dados espacializados para  $CP_2$ , assim como na Figura 42, nesta, constam as informações referentes a  $CP_3$ . Em relação a segunda Componente Principal do conjunto de toda a série temporal no período seco sobressaem-se também as áreas relativas às queimadas e aos desmatamentos.

Com relação a terceira Componente Principal verifica-se a resposta espectral das áreas de desmatamentos mais recentes que são identificadas através da coloração em tom verde mais escuro.

Estas imagens de Componentes Principais indicam a variabilidade dos dados de NDVI ao longo da série temporal, permitindo que a espacialização e as mudanças no uso e cobertura do solo sejam identificadas.



**Figura 41.** Imagem da 2ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período seco.



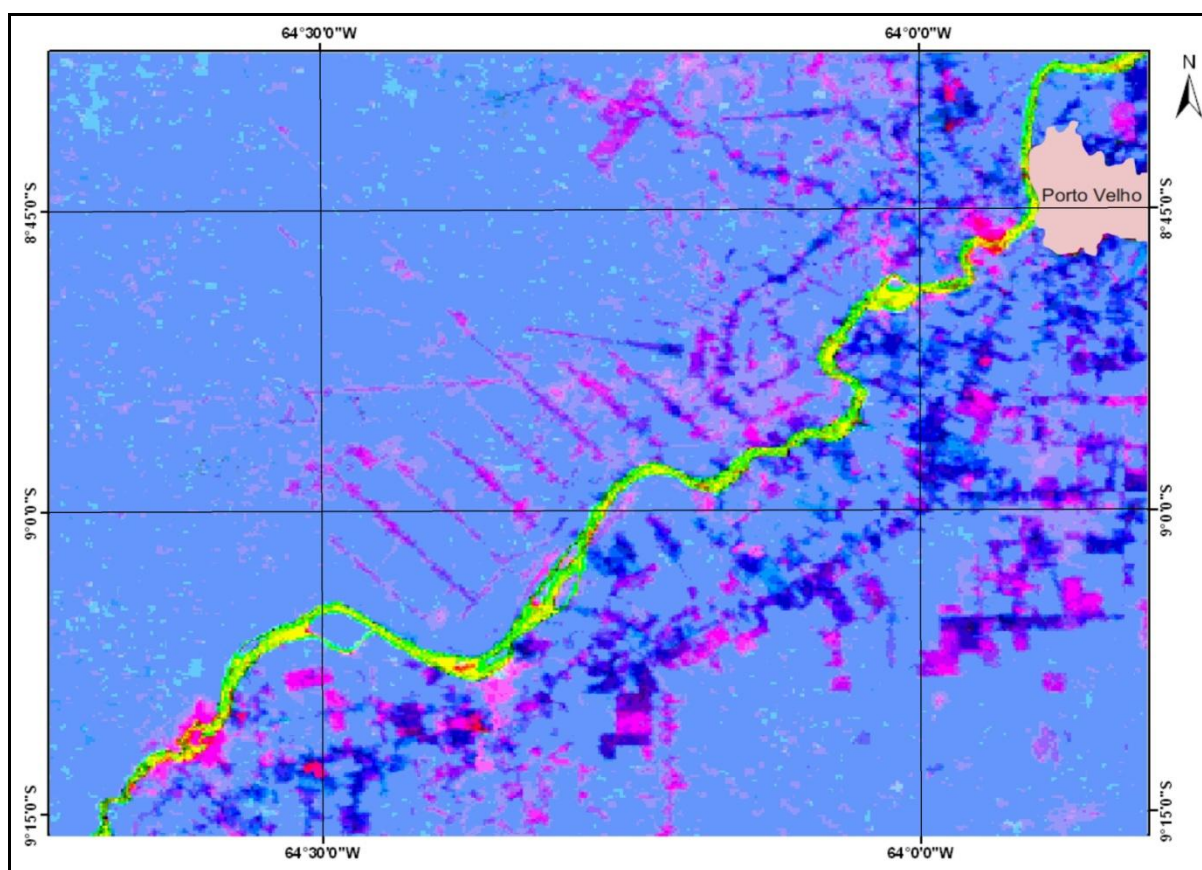
**Figura 42.** Imagem da 3ª Componente Principal, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS - período seco.



Daamen et al. (2002) compararam algumas imagens que podem ser utilizadas para determinação da variabilidade espacial e identificaram as diferenças na caracterização desta variabilidade. Os autores verificaram que as Componentes Principais geradas utilizando as imagens de NDVI não produziram uma imagem com tão boa variabilidade quanto às Componentes Principais que não usaram o NDVI.

Os referidos autores destacam que o NDVI é muito usado para estudos de vegetação por sensoriamento remoto por apresentar boa correlação com a biomassa das culturas. Por meio das imagens verificaram que a composição colorida gerada a partir das CP's destacou a variabilidade de NDVI em comparação às demais imagens.

A Figura 43 apresenta uma imagem em composição colorida utilizando as três imagens das Componentes Principais ( $CP_1$ ,  $CP_2$  e  $CP_3$ ).



**Figura 43.** Imagem em composição colorida das três Componentes Principais, gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS.

Uma análise visual dessa composição mostra que os locais em azul escuro representam áreas de desmatamento relativamente mais antigas, relativas ao

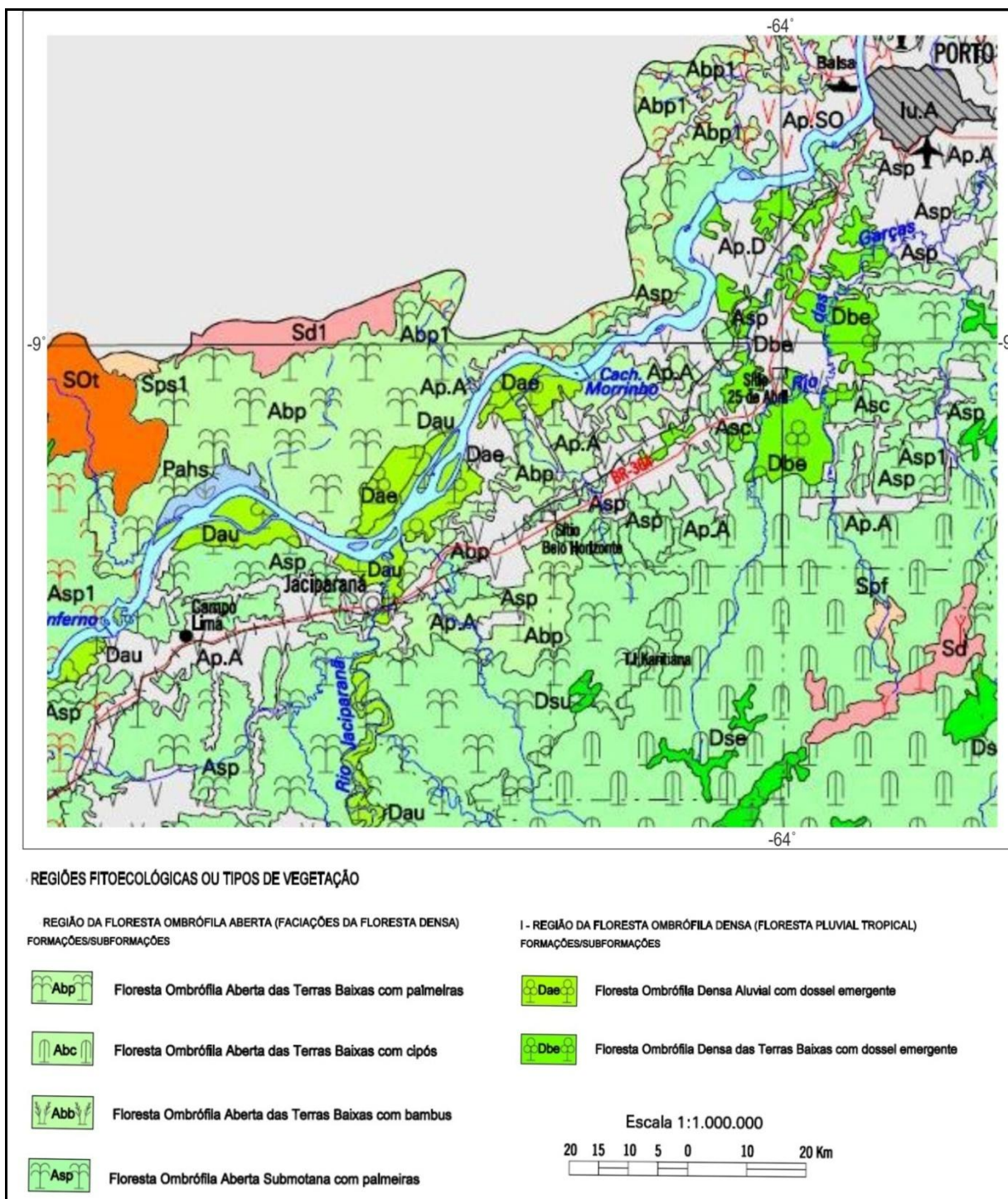
conjunto de imagens do início da série temporal de imagens NDVI/MODIS. Também se identificam as áreas de solo exposto mais recentes e as mais antigas. Em tons de rosa estão as áreas cujo desmatamento é recente, ou seja, pode-se através desta imagem verificar os locais que foram desmatados recentemente, ou que ainda estão em processo de retirada da vegetação.

O desmatamento já foi efetuado (tons de rosa mais escuro) ou a área pode estar sendo preparada (tons de rosa mais claros), através de queimadas, abrindo clareiras para que se tenha acesso a mata mais densa. Essas áreas de desmatamento se concentram, atualmente, em áreas de cultivo, pastagem ou solo exposto, dependendo do período do ano.

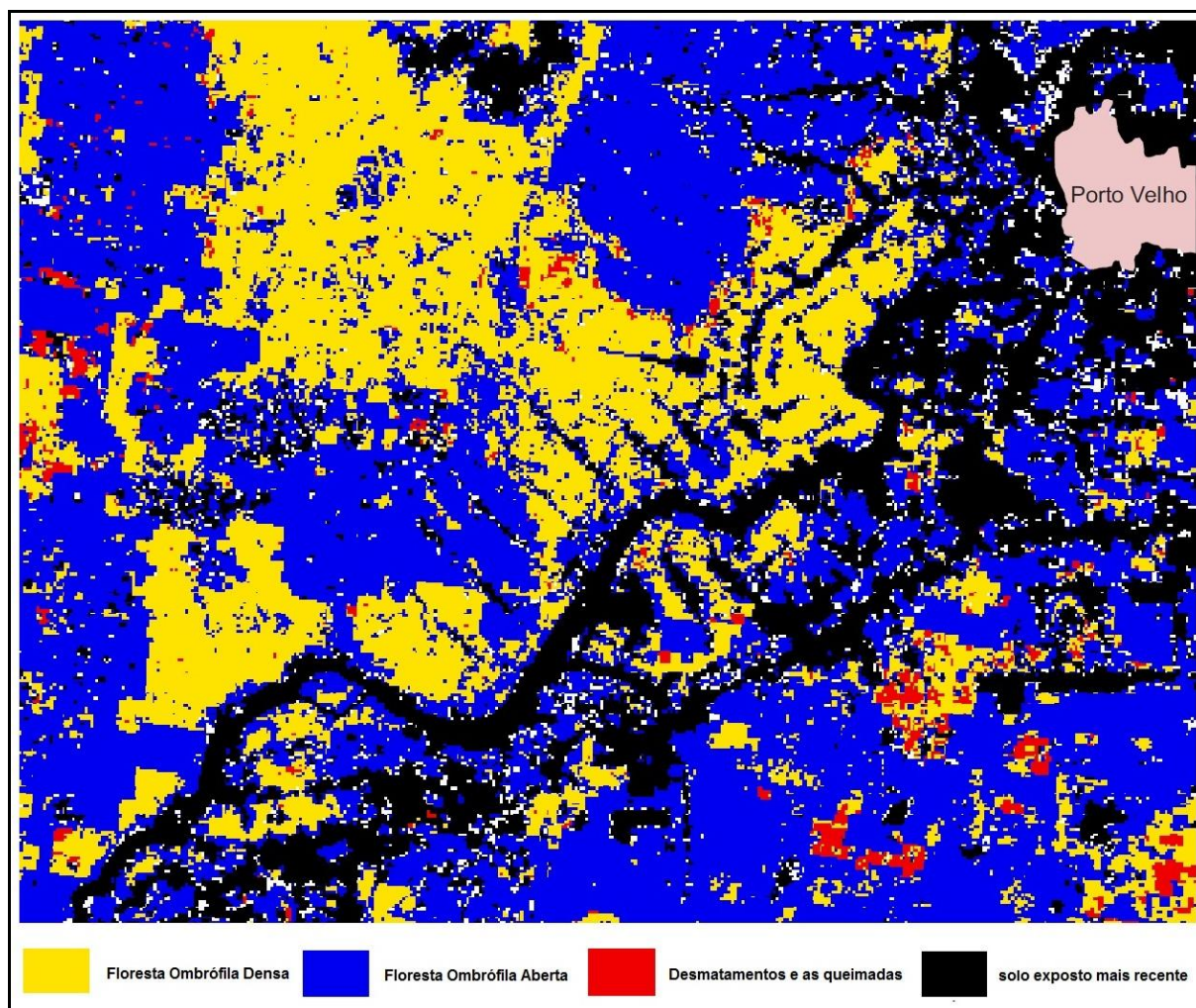
Utilizando como base o mapa da Vegetação do estado de Rondônia (IBGE, 1996) (Figura 44), foi obtida a partir da classificação digital, realizada sobre as três CP's, a imagem da Figura 45. A área de aproveitamento hidrelétrico da UHE Santo Antônio engloba duas regiões fitoecológicas: Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta, cada uma, com suas subformações. Essa classificação buscou separar principalmente as classes de Floresta Ombrófila Aberta e Floresta Ombrófila Densa.

A Floresta Ombrófila Aberta é identificada através da cor azul e a Floresta Ombrófila Densa é identificada através da cor amarela e vermelha. As áreas de solo exposto consolidado e de corpos d'água estão em preto e a área urbana em rosa.

Nesta classificação pode-se verificar que é na Floresta Ombrófila Densa que ocorre a maior parte dos desmatamentos recentes. Esta característica pode ser identificada na imagem através dos pontos vermelhos que caracterizam estas áreas de solo exposto mais recentes, associadas aos desmatamentos e as queimadas que aparecem na cor preta.



**Figura 44.** Mapa de Vegetação da área de aproveitamento hidrelétrico da UHE Santo Antônio.  
**Fonte:** Adaptado do Mapa de Vegetação do estado de Rondônia, IBGE (2006).



**Figura 45.** Classificação digital utilizando as três Componentes Principais (gerada por TSA de imagens de NDVI/MODIS).

Retomando a análise das Componentes Principais com relação ao período chuvoso identificou-se também um valor representativo baixo, influenciado diretamente pela presença de nuvens, que neste período é relativamente alto na Amazônia. Na  $CP_2$  destacam-se as áreas de queimadas e na  $CP_3$ , as áreas de desmatamento mais recentes próximos ao rio Madeira.

Os autovalores da  $CP_1$  são inferiores ao identificado na  $CP_1$  do período chuvoso. A representatividade do período seco e do período chuvoso identificada nesta pesquisa marca a característica sazonal das Componentes Principais. O menor valor identificado no período seco reflete a reduzida quantidade de chuvas, do qual a área de estudo esteve submetida durante os anos da série temporal pesquisada. Com relação a  $CP_2$  e  $CP_3$  a representatividade apresentada se

assemelha com o verificado pelas Componentes Principais do período chuvoso e do total das imagens da série temporal.

Identificaram-se também as áreas cujo desmatamento é mais recente, onde o desmatamento já foi efetuado, as áreas que podem estar sendo preparadas através de queimadas, abrindo clareiras para que se tenha a acesso a mata mais densa e as áreas de desmatamento relativamente mais antigas.

### **c) Componentes Principais - Por ano da série temporal 2000-2011.**

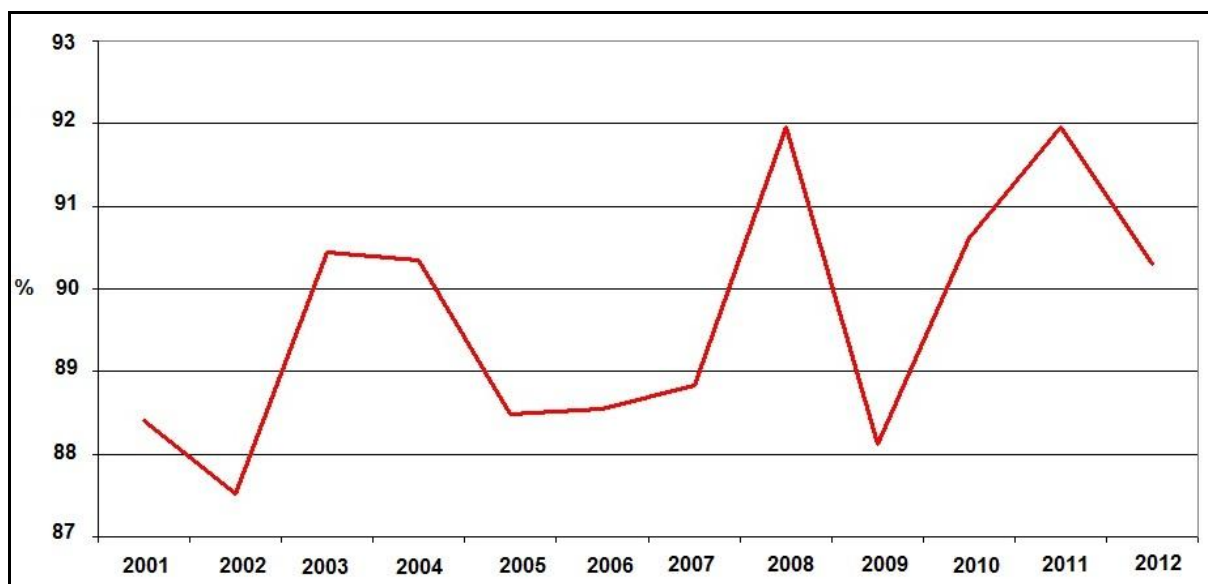
A análise centrada nos anos individuais das imagens de NDVI permitiu a identificação de mudanças de uso e cobertura do solo e a caracterização anual da representatividade em cada uma das Componentes Principais da área de estudo.

Fritz et al. (2008) em um estudo para diferenciar e caracterizar comunidades vegetais citam vários autores que utilizam a análise por Componentes Principais. Eastman (1992), por exemplo, propõe este método como uma técnica de detecção de mudança para o uso da análise de séries temporais. Roberts et al. (1994) utilizam as Componentes Principais para determinar diferentes trajetórias fenológicas para mostrar como as comunidades de vegetação podem ser potencialmente classificadas. Hirosawa et al. (1996) usam as PC's para caracterização da cobertura da terra. Lasaporana (2006) propõe o uso de PC's para avaliar anomalias interanuais de vegetação.

O objetivo mais imediato da análise de Componentes Principais é verificar se existe um pequeno número das primeiras componentes principais que seja responsável por explicar uma proporção elevada da variação total associada ao conjunto original.

Neste sentido, a análise anual das Componentes Principais apresentou resultados de representatividade distintos em cada uma das três primeiras PC's de cada ano da série temporal. Os valores percentuais apresentados agrupam as características identificadas nas análises dos períodos seco e chuvoso e do conjunto total das imagens da série temporal.

No gráfico que ilustra a variação dos valores percentuais da CP<sub>1</sub> da série temporal de 2000 a 2011 (Figura 46) verifica-se que os valores ficam entre 87% e 92%.

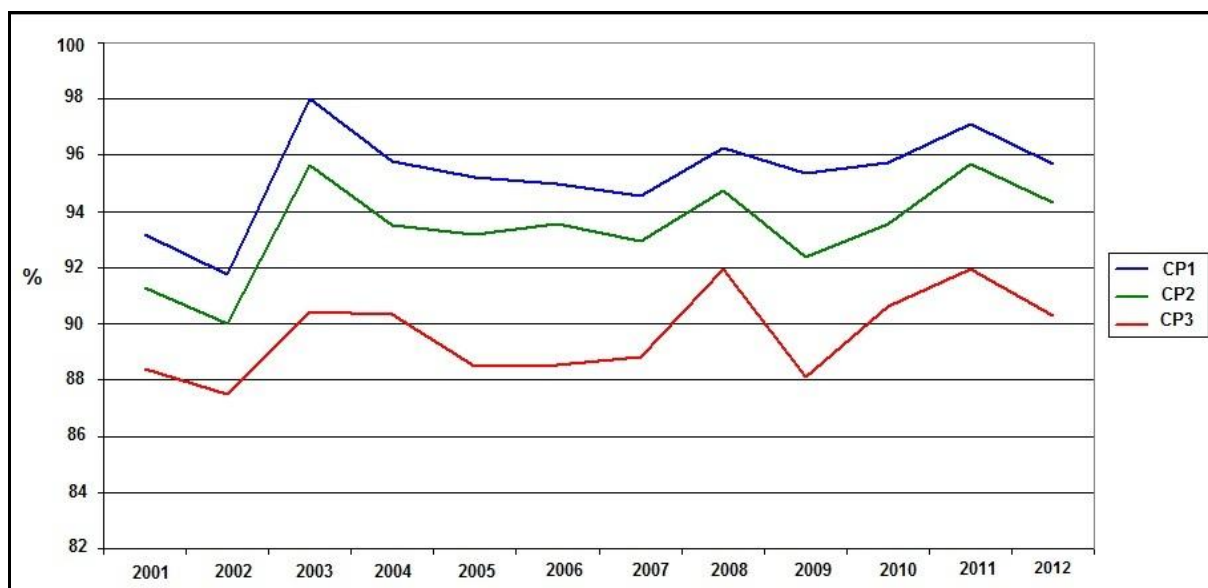


**Figura 46.** Variação dos valores de NDVI da 1ª Componente Principal por ano da série 2000 a 2011.

O ano da série temporal que apresenta o menor valor percentual é o de 2002, com 87,51%. Esta característica pode ser explicada pelo fato de que a maioria das imagens deste ano utilizadas para a geração da série temporal é relativa ao período seco. Neste caso, a influência sazonal deste período reflete no valor percentual, pois, são justamente neste intervalo que os índices de precipitação apresentam-se relativamente reduzidos na região que compreende a área de estudo.

Os outros anos apresentam os seguintes valores para a CP<sub>1</sub>: 2001 (90,44%), 2003 (90,35%), 2004 (88,47%), 2005 (88,54%), 2006 (88,83%), 2007 (91,96%), 2008 (88,11%), 2009 (90,16%), 2010 (91,94%) e 2011 (90,29%). A maioria dos anos que apresentam os menores valores percentuais são os que possuem um maior número de imagens relativas ao período seco. Já nos anos onde a CP<sub>1</sub> apresenta um alto valor percentual as imagens do período chuvoso influenciam diretamente na representatividade da série.

O gráfico abaixo (Figura 47) agrupa as três primeiras Componentes Principais para todo o conjunto das séries temporais. Neste gráfico, estão espacializados os valores representativos das três primeiras Componentes Principais da série temporal de 2000 a 2011.



**Figura 47.** Variação dos valores de NDVI das Componentes Principais em cada ano da série 2000-2011.

Os valores apresentados no gráfico indicam uma variação entre 86% a 98% na CP<sub>1</sub>, CP<sub>2</sub> e CP<sub>3</sub> de cada ano da série temporal. Neste sentido, as características dos dados apresentados nesta pesquisa permitiram verificar a ocorrência de padrões sazonais que influem diretamente nos resultados da variação espaço-temporal do NDVI. Os menores valores percentuais das CP's relacionam-se ao período seco e os maiores valores ao período chuvoso.

Neste caso, a mesma analogia aplicada a variação do NDVI através dos espectros temporais pode ser levada em consideração para a análise das Componentes Principais para cada ano da série temporal.

Gurgel (2000) analisou as conexões entre o NDVI e as variabilidades climáticas anual e interanual sobre o Brasil, aplicando a técnica de Análise por Componentes Principais aos dados mensais de NDVI derivados do AVHRR, para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 1993.

Os resultados mostraram que a Análise por Componentes Principais aplicada ao NDVI possibilita caracterizar a variabilidade anual e interanual dessas tipologias de vegetação relacionadas com a variabilidade climática (componentes 1, 2 e 3). A análise das PC's também revelou os principais fatores “não-climáticos”, tais como ocorrência de queimadas e erros de interpretação, devido à mudança de horário da passagem dos satélites NOAA e troca dos satélites NOAA 9 e 11 que ocasionaram distúrbios no NDVI.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de séries temporais para estudos que envolvem o monitoramento e o diagnóstico ambientais se mostraram importantes como subsídio a identificação, caracterização e a confirmação de padrões e comportamentos ao longo de um determinado tempo.

O emprego da análise multitemporal utilizando imagens de satélite foi uma ferramenta significativa para o monitoramento da dinâmica da cobertura vegetal e de uso e cobertura do solo. Neste sentido, os resultados apresentados por esta pesquisa puderam identificar o comportamento sazonal expresso na série temporal de imagens MODIS, do período entre o ano 2000 e 2011.

Com relação a análise do uso e cobertura do solo, as áreas de desmatamento chamam a atenção, apresentando as características “espinhas de peixe”. Ficaram caracterizadas as áreas com reduzida presença de vegetação, provocadas pelo avanço das queimadas, pelo desmatamento ao longo do rio madeira, além das áreas onde a agricultura está inserida.

Em relação a aplicação do NDVI, as fitofisionomias em análise mostraram perfis de índices de vegetação representativos das dinâmicas sazonais da vegetação, com maiores valores ocorrendo na estação chuvosa (outubro a abril) e menores para a estação seca (maio a setembro), respectivamente, conforme preconizado na literatura.

O comportamento espectral multitemporal do NDVI apresentou os valores mais altos na época de chuva e mais baixos na época de estiagem, nas classes de uso e cobertura do solo relativas a vegetação. As amostras da Floresta Ombrófila Densa e da Floresta Ombrófila Aberta estiveram fortemente influenciadas pela quantidade de precipitação pluviométrica disponível para cada período do ano. Os maiores decréscimos nos valores de NDVI puderam ser associados a ocorrências de secas, como a identificada no ano de 2005, umas das piores que já atingiu a região amazônica.

Os espectros temporais das classes de uso e cobertura do solo apresentaram característica sazonal, sendo possível associar as variações na curva espectral à quantidade de chuva presente em cada período do ano. Nos espectros da classe Floresta Ombrófila Aberta, assim, como os espectros da Floresta Ombrófila Densa foi possível perceber que as variações nos valores de NDVI seguiram uma



sequência de declínios e elevações relacionadas a sazonalidade dos períodos úmido e seco.

Na análise dos espectros temporais das classes de vegetação, quedas significativas nos valores de NDVI ocorreram nos anos de 2005, 2007 e 2008, por decorrência de forte estiagem, o que influenciou diretamente o comportamento espectral da vegetação existente. Em alguns destes anos a influência da seca foi mais significativa, já em outros a redução da quantidade de chuvas não alterou muito a redução dos valores de NDVI.

Quanto a Análise por Componentes Principais, esta técnica mostrou-se um método adequado para identificar a variação da cobertura vegetal e avaliar mudanças na cobertura da terra. Os valores percentuais expressos em cada CP puderam ser comparados e analisados utilizando-se toda a série temporal, o período seco, o período chuvoso e cada ano individual da série 2000-2011, permitindo desta forma sua análise sazonal.

## 8. BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Sensor MODIS: Uma Abordagem Geral**. São José dos Campos: INPE, 2003.

ALMEIDA, E. S.; BATISTA, G. T. Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998, Santos. **Anais...** Santos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998, CD-Rom.

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; SILVA, E.; BROWN, F.; LEFEBVRE, P.; MENDOSA, E.; ALMEIDA, D.; CARVALHO JR. **O uso do fogo na Amazônia: Estudos de caso ao longo do arco de desmatamento**. World Bank Report. Brasília, March. 1997.

ANTUNES, J. F. G.; ESQUERDO, J. C. D. M. **Monitoramento agrícola usando análise harmônica de séries temporais de dados NDVI/AVHRR-NOAA**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. **Anais...** Natal, 25-30 abril 2009, INPE, p.49-55, 2009.

ASNER, G. P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, preview article, p. 1-8, 2001.

BARKER, J.L.; HARDEN, M.K.; ANUTA, E.A.; SMID, J. E HOUGT, D. **MODIS spectral sensivity study: requirements and characterization**. Washington: Nasa, Oct, 1992, 84p.

BAPTISTA, G. M. M.; MUNHOZ, C. B. R. Comportamento do sequestro florestal de carbono, do conteúdo de CO<sub>2</sub> atmosférico e do conteúdo de umidade da vegetação no Pantanal de Nhecolândia, MS, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. **Anais...** Natal, INPE, p.1071-1078, 2009.

BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W.T. Monitoramento da cobertura florestal através de índice de vegetação do NOAA-AVHRR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7, 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1993. p.30-37.

BEMERGUI R.L.; COSTA J.B.S.. **Considerações sobre a evolução do sistema de drenagem da Amazônia e sua correlação com o arcabouço tectono-estrutural.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, 3:75-97. 1991.

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M., KUPLICH T. M. **Variáveis geomorfométricas locais e sua relação com a vegetação da região do interflúvio Madeira-Purus (AM-RO).** Acta Amazonica. vol. 39(1) 2009: 81 – 90.

BRUCE, L.M.; MATHUR, A. Denoising and wavelet-based feature extraction of MODIS multi-temporal vegetation signatures. **International Workshop on Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images**, 2005. pp. 95-98.

CARVALHO, V. C.. **Structure e dynamique de la vegetation en milieu tropical semiaride. La Caatinga de Quixaba (Pernambouc, Brèsil): duterrain à l'analyse des donnèes MSS/LANDSAT.** Thèse e Doctorat de l'Université de Toulouse II – Le Mirail, Toulouse. 322p. 1986.

CARVALHO, F. M. V.; FERREIRA, L. G., LOBO, F. C., FILHO, J. A. F. D; BINI, L. M. Padrões de autocorrelação espacial de índices de vegetação Modis no bioma cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.32, n.2, p.279-290, 2008.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; SAMPAIO, C. S.; SILVA, N. C.; COUTO JUNIOR A. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, 26(4), p.505-517. 2008.

CARVALHO JR, O. A.; COUTO JUNIOR, A. F.; SILVA, N. C.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T. Avaliação dos classificadores espectrais de mínima distância euclidiana e spectral correlation mapper em séries temporais ndvi-modis no campo de instrução militar de Formosa (GO). **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº 61/04, 2009.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F. Identificação regional da floresta estacional decidual na bacia do rio Paraná a partir da análise

multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, 24(3): 319-332. 2006.

CASTRO-NEVES, B. M. **Efeito de queimadas em áreas de cerrado *stricto-sensu* e na biomassa de raízes finas**. Tese (doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

CAVALLARO, F. A.; PORTUGAL, R. S.; ILVA, A. M.; BIZUTI, A. M. **As técnicas NASVD e MNF e sua aplicação na redução de ruídos em dados gamaespectrométricos**. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 27(2), 2009.

CHAVES, P.S.; SIDES, S.C.; ANDERSON, J.A. **Comparison of three difference methods to merge multi resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, V.57, n.3, p.295-303, 1991.

CORREIA, A. H.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V. **Avaliação de índices de vegetação MODIS para detecção de desmatamento na Amazônia**. *Revista Ambi-Água*, Taubaté, v. 1, n. 2, p. 52-64, 2006.

CORREIA, A. H.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V. **Utilização de dados reflectância MODIS (composições de 8 dias) para detecção de desmatamentos na Amazônia**. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 481-488.

COUTINHO, L.M.. **Fire in the ecology of the Brazilian cerrado**. In: Goldammer, J.G., Ed. *Fire in the tropical biota*. New York, Springer-Verlag, 1990. Cap. 6, p. 82-105. 1990.

COURA, S. M. C. **Mapeamento de vegetação do estado de minas gerais utilizando dados MODIS**. Dissertação (Mestrado em em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2007.

CROSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Instituto de Geociências, Unicamp, 1992. 170p.

DAAMEN, M.L.J.; ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C.; ZULLO JUNIOR, J. Mapeamento da variabilidade espacial da produção da cultura de cana-de-açúcar por meio de processamento digital de imagens de satélite e análise de componentes principais. In: Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, 2., 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIAP, 2002.

DEFRIES R. S.; TOWNSHEND J. R. G. **NDVI-derived land cover classifications at a global scale.** International Journal of Remote Sensing, 5(17): 3567–3586. 1994.

EPIPHANIO, J. C. N.; HUETE, A. R. Influence of sun-view geometries on the relationships among vegetation indices, LAI, and absorbed PAR. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Surface and Atmospheric Remote Sensing, Pasadena, 1994. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, v.3, p.1455-1457, 1994

FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates and consequences. **Conservation Biology** 19(3): 680-688. 2005.

\_\_\_\_\_. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica.** vol. 36(3): 395 – 400. 2006.

FERREIRA, M. E.; AGUIAR, M. C.; FERREIRA JR, L. G.; FERREIRA, N. C.; SANO, E. E. Verificação preliminar do sinergismo entre dados ópticos de resolução moderada (MODIS) e dados SAR aerotransportados (SIPAM) para o monitoramento da cobertura vegetal na região Amazônica. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. **Anais...** Goiânia, Brasil, INPE, p. 4399-4403. 2005

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de textos, 2002.

FREITAS, R. M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SOUZA, A. F.; SHIMABUKURO, Y. E.; RUDORFF, B. F .T; YUZO, F.; ROSA, R. R. Visualização Instantânea de Séries Temporais EVI2-MODIS na América do Sul. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba. **Anais...** Curitiba, PR, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.6866-6866.

FRITZ, S.; MASSART, M.; SAVIN, I.; GALLEGO, J.; REMBOLD, F. The use of MODIS data to derive acreage estimations for larger fields: A case study in the south-western Rostov region of Russia. **International Journal of applied earth observation and geoinformation**, vol. 10, issue 4, december 2008.

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

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.85-90, 2003

GLERIANI, J. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; SILVA, J. D. S. **Classificação espectral temporal de culturas agrícolas tropicais: tolerância de dois modelos de redes neurais a dados falhos**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. **Anais...** Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 151-158. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,

HANSEN, M.C.; DE FRIES, R.S.; TOWNSHEND, J. R. G.; SOHLBERG, R. Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach. **International Journal of Remote Sensing**, vol.21, n.6-7, p.1331–1364, 2000.

HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G.; SOHLBERG, R.; DIMICELI, C.; CARROLL, M. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, vol.83, p.303–319, 2002.

HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G.; CARROLL, M.; DIMICELI, C.; SOHLBERG, A. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 meters: first results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm. **Earth Interactions**, vol.7, n.10, p.1–15, 2003.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. (Special Issue). **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1-2, p. 195-213, 2002.

HUETE, A. R.; KAMEL, D.; SHIMABUKURO, Y. E.; RATANA, P.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L. R.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; MYNENI, R. **Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season**. Geophysical Research Letters, v. 33, N. I06405, P. 1-4, 2006.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

\_\_\_\_\_. **Atlas Geográfico escolar**. Bacias Hidrográficas. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/atlasescolar/mapas\\_pdf/brasil\\_bacias.pdf](http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/atlasescolar/mapas_pdf/brasil_bacias.pdf)>. Acesso em dez. 2011.

\_\_\_\_\_. **Geostatísticas de Recursos Naturais da Amazônia Legal**. Disponível em:<[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/diagnosticos\\_levantamentos/amazonia\\_legal/amazonia\\_legal.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/diagnosticos_levantamentos/amazonia_legal/amazonia_legal.pdf)>. Acesso em dez. 2011.

\_\_\_\_\_. **Vegetação do estado de Rondônia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/.classificacaovegetal>>. Acesso em dez. 2011.

\_\_\_\_\_. **TerraClass 2008**. Dados TerraClass 2008. Disponível em:<[http://www.ibge.gov.br/.classificacaovhttp://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/tabela\\_municipios.pdf](http://www.ibge.gov.br/.classificacaovhttp://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/tabela_municipios.pdf)>. Acesso em jan. 2012.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real**. Dados 2008 e 2010. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/deter/index.html>>. Acesso em fev. 2011.

\_\_\_\_\_. LAF/INPE. Visualização de Séries Temporais **MODIS para análise de mudanças de uso e cobertura da terra**. Disponível em: <<https://www.dsr.inpe.br/laf/series/>>. Acesso em jan. 2012.

IGREJA H.L.S.; CATIQUE J.. Análise neotectônica do lineamento Itacoatiara centro-leste do Estado do Amazonas. In: SBG/Núcleo Brasília, Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 6, Pirinópolis-GO. **Anais...** p. 131-133. 1997.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Seca na Amazônia em 2005**. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=92](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=92)>. Acesso em jan. 2012.

JAKUBAUSKAS, M. E.; LEGATES, D. R.; KASTENS, J. H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, n. 1, p. 127-139, 2002.

JESEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Jesen, J.R. Trad. Epifânio, J.C.N. et al. (Coord.) São José dos campos, SP: Parêntese, 2009. 597p.

JÖNSSON., P; EKLUNDH, L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.**, v. 40 (8), p. 1824-1832, 2002.

LATORRE, M.L.; CARVALHO JÚNIOR, A.O.; SANTOS, J.R.; SHIMABUKURO, Y.E. Integração de dados de sensoriamento remoto multi-resoluções para a representação da cobertura da terra utilizando campos contínuos de vegetação e classificação por árvores de decisão. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol.25, n.1, p. 63-74, 2007.

LACRUZ, M. P.; 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 (SBSR), 12, 16-21 abr. 2005. Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3223- 3228.

LISSNER, J. B. **Variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, na Lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, a partir de análise de séries temporais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. **Science**, 331 (6017): 554. 2011.



MIRANDA, E. E.; MORAES, A. V. C.; OSHIRO, O. T. **Queimadas na Amazônia brasileira em 2005**. Comunicado Técnico. Campinas: Embrapa. 2006.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2004. 535 p.

MOURA, Y. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; SILVA, G. B. S.; FISCH, G.; DIAS, N. W.; GADIOLI, D. **Análise comparativa entre índices de vegetação NDVI e EVI e sua relação com o balanço hídrico na Bacia do Una – SP**. Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté, Brasil, 09-11 dezembro 2009, IPABHi, p. 33-40.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1989, 308p.

PARDI LACRUZ, M. S. **Análise de séries temporais de dados MODIS como uma nova técnica para a caracterização de paisagem e análise de lacunas de conservação**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazônica**. [online]. 2008, vol.38, n.1, pp. 77-84. ISSN 0044-5967.

PONZONI, F.J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica**. São José dos Campos: INPE. 2002.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese. 2009.

QUADROS M. L. E. S., SILVA FILHO E. P., REIS M. R., SCANDOLARA J. E. Considerações preliminares sobre a evolução dos sistemas de drenagens dos rios Guaporé, Mamoré e Madeira, Estado de Rondônia In: SBG/Núcleo Norte, Simpósio de Geologia da Amazônia, 5, Belém. **Anais...** p. 242-245. 1996.

RODRIGUES, C.P. **Estudo do fluxo de carbono utilizando geotecnologias.** Dissertação (mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro estadual de pesquisas em Sensoriamento Remoto Meteorologia, Porto Alegre, 2010.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.** In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec.A, p. 309-307.

RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Eds). **Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil.** 1 ed. São Jose dos Campos, SP: Editora Parentese, 2007. 424 p.

SANTANA, O. A.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; PIMENTEL, C. M. M.; GOMES, R. A. T.; OLIVEIRA, S. N. **Modelagem de espectros temporais NDVI-MODIS, no período de 2000 a 2008, na bacia do rio Paracatu, Brasil.** Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 28(1), 2010.

SANTO ANTÔNIO ENERGIA. **Relatório de Impacto Ambiental.** Porto Velho, 2012. Disponível em: <<http://www.santoantonioenergia.com.br>>. Acesso em: 12 jan. 2012.

SENA, I.P.S.; DUARTE, C. R.; AMARAL, R. F.; MORAIS FILHO, A. C.; TERRA, S. A. Uso de imagens CBERS2B-CCD para mapeamento de feições submersas na Folha Touros-RN (SB.25-V-C-II). **Anais...** XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, p. 2185-2191, 2009.

SILVA, C. H. **Diversidade, estrutura e distribuição espacial de palmeiras (arecaceae) em floresta ombrófila aberta no município de Porto Velho, Rondônia.** Monografia (Ciências Biológicas) – Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2008.

SOUZA FILHO, P. W. M., QUADROS, M. L. E. S.; SCANDOLARA, J. E.; SILVA FILHO, E. P.; REIS, M. R. **Compartimentação morfoestrutural e neotectônica do sistema fluvial Guaporé-Mamoré-Alto Madeira, Rondônia-Brasil.** Revista Brasileira de Geociências. 29(4):469-476, dezembro de 1999.

UNICAMP. **Jornal da Unicamp**. Disponível em: <<http://www.ju/outubro2005/>>. Acesso em dez. 2011.

VELOSO, P. H., RANGEL-FILHO, A. L. R. E LIMA, J. C. A. 1991. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. IBGE, Rio de Janeiro.

VICTORIA, D.C.; OLIVEIRA, A.F.; GREGO, C.R. Análise harmônica de séries temporais de imagens NDVI/MODIS para discriminação de coberturas vegetais. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal. **Anais...** Natal, RN, 25-30 Abril de 2009, INPE, p.1589-1596, 2009.

YU, X.; ZHUANG, D., CHEN, H. HOU, X. Forest classification based on MODIS time series and vegetation phenology. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. **IGARSS '04. Proceedings**. vol.4, pp. 2369-2372, set. 2004.

WAGNER, A. P. L.; WEBER, E.; HASENACK, H.; KLERING, E. V.; FONTANA, D. C. **Variabilidade Temporal do NDVI/MODIS na Análise de Remanescentes da Ecorregião das Savanas Uruguaias**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 30-05 maio 2011, INPE, p.5600-5606, 2011.