



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU  
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS

**ANÁLISE DE TIPOLOGIAS FLORESTAIS POR MEIO DA RESPOSTA  
ESPECTRAL DE UMA IMAGEM HIPERESPECTRAL (HYPERION/EO-1) NO  
MUNICÍPIO DE MANAUS, RESERVA DUCKE.**

**ELIEZER AUGUSTO LITAIFF DE SÃO PAULO AGUIAR**

Manaus  
2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU  
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS

**ELIEZER AUGUSTO LITAIFF DE SÃO PAULO AGUIAR**

**ANÁLISE DE TIPOLOGIAS FLORESTAIS POR MEIO DA RESPOSTA  
ESPECTRAL DE UMA IMAGEM HIPERESPECTRAL (HYPERION/EO-1) NO  
MUNICÍPIO DE MANAUS, RESERVA DUCKE.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração em Conservação da Natureza.

**Orientador: Prof. Dr. Lizit Alencar da Costa**

Manaus  
2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU  
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS

**ELIEZER AUGUSTO LITAIFF DE SÃO PAULO AGUIAR**

**ANÁLISE DE TIPOLOGIAS FLORESTAIS POR MEIO DA RESPOSTA  
ESPECTRAL DE UMA IMAGEM HIPERESPECTRAL (HYPERION/EO-1) NO  
MUNICÍPIO DE MANAUS, RESERVA DUCKE.**

**BANCA EXAMINADORA**

-----  
**Profº. Dr. Lizit Alencar da Costa, Presidente**  
**Universidade Federal do Amazonas – DCF/FCA, Membro**

-----  
**Profº. Dr. Julio César Rodríguez Tello**  
**Universidade Federal do Amazonas – DCF/FCA, Membro**

-----  
**Profº. Dr. Carlos Benedito Santana da Silva Soares**  
**Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, Membro**

Manaus  
2014

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Maria Zadir Litaiff e  
Flávio São Paulo (*in memoriam*) e  
minha irmã Iris e meus irmãos  
pelo inestimável incentivo e inspiração.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela saúde e disposição necessárias para enfrentar as dificuldades dessa jornada.

Aos meus pais, por sempre acreditar na importância do estudo e por sempre apoiarem meus objetivos.

A UFAM - Universidade Federal do Amazonas, que me recebeu na graduação e onde tive a oportunidade de fazer este Mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA, onde pode desenvolver minha pesquisa.

Ao meu Orientador Professor Dr. Lizit Alencar da Costa, que depositou em mim confiança e pelo conhecimento, orientação e apoio prestados durante esta jornada.

Ao Prof. Dr. Julio Tello por ceder sua Tese de Doutorado para ter a análise das comunidades vegetais.

Aos Professores Dr. Moacir Campos e Dr. Carlos Benedito pelas contribuições que muito acrescentaram a esta pesquisa.

Ao corpo docente do Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais pela passagem de conhecimento e opiniões expressadas em sala de aula.

Ao corpo docente do Programa de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pelo conhecimento repassado.

A todos os amigos em especial: Alex-Sandra Farias, Fabiola Almeida, Vitor Berenguer, Demetrius Albuquerque, Aline Rondon, Sergio Pacheco, Leandro Prado, Frederico Vital, Rodson Andrade, Felipe Cruz, Felipe Ramos, Noeli Moreira, Leonardo Torres, Rogério Galante, Carlos Pires, Ana Paula Dal'Asta, Vitor Zanetti, Anderson Tamborim pela convivência.

Ao grupo da Ecology Bruno Adan, Joana Abreu, Thiago Marinho, Paulo Amaral pelo apoio.

## RESUMO

O sensoriamento remoto hiperespectral permite obter medidas radiométricas de um alvo em um grande número de estreitas bandas espectrais. Os dados coletados por estes sensores podem ser transformados em informações sobre diferentes coberturas vegetais que estão relacionadas com aspectos biofísicos da vegetação. Sendo a vegetação um importante elemento dos ecossistemas, seus estudos ganham ênfase, sobretudo, por buscarem conhecimentos acerca de suas variações, padrões distributivos, ciclos, modificações fisiológicas e morfológicas. Com isso foi utilizado dados do sensor Hyperion que possibilita a aquisição de dados com resolução espectral suficiente para reconstruir bandas de absorção nos espectros dos pixels relacionados com o conteúdo de clorofila, teor de água nas folhas e feições de lignina e celulose, as quais podem ser parâmetros importantes na diferenciação de tipologias vegetais. Por outro lado, a pobre relação sinal-ruído (SNR) do sensor, especialmente no SWIR, é um obstáculo para a medição adequada dessas feições sem a interferência de ruídos. Esta pesquisa teve como objetivo realizar uma análise da resposta espectral do sensor Hyperion com as comunidades vegetais presentes na Reserva Ducke (Floresta de platô, declividade, campinarana e baixio) e quantificar por meio de classificação não-supervisionada essas comunidades. Utilizando o aplicativo FLAASH do ENVI, foi realizada a correção atmosférica baseando-se no modelo de transferência radiativa MODTRAN-4. Na caracterização florística da área de estudo foi levantado estudos relacionados referente a flora da Reserva. Foi possível realizar uma análise sucinta das características das respostas espectrais, pois o sensor apresenta uma interação com a vegetação entre o Infravermelho próximo (0,7 - 2,5 $\mu$ m) e o Infravermelho médio (3 - 6 $\mu$ m), onde podemos distinguir o estágio de fenologia, estrutura do dossel e quantidade de água na folha nas quatro comunidades vegetais.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto Hiperespectral; Hyperion, Comunidade Vegetal; Reserva Ducke.

## ABSTRACT

Hyperspectral remote sensing allows for radiometric measurements of a target in a large number of narrow spectral bands. The data collected by these sensors can be transformed into information about different vegetation covers that are related to biophysical aspects of vegetation. Vegetation being an important element of ecosystems, their studies gain emphasis, especially for seeking knowledge about its variations, distributional patterns, cycles, physiological and morphological changes. With this data was used Hyperion that enables the acquisition of data sufficient to reconstruct absorption bands in the spectra of the pixels associated with the chlorophyll content, water content in leaves and features of lignin and cellulose spectral resolution, which may be important parameters in differentiating vegetation types . On the other hand the poor signal to noise ratio ( SNR) of the sensor, especially in the SWIR, relationship is an obstacle to proper measurement of these features without interference from noise. This research aimed to conduct an analysis of the spectral response of the sensor with the Hyperion plant communities present in the Ducke Reserve (Forest plateau, slope, and lowland campinarana) and quantified by means of unsupervised classification of these communities. Using ENVI Flaash application, atmospheric correction was performed based on the radiative transfer model MODTRAN - 4. Floristic characterization of the study area was raised regarding estudos related flora of the Reserve. It was possible to perform a summary analysis of the spectral characteristics of the sensor as present an interaction with vegetation between the near infrared (0,7 - 2,5 $\mu$ m) and middle infrared (3 - 6 $\mu$ m), where we can distinguish stage of phenology, canopy structure and water content on leaf responses in four plant communities.

Key-words: Hyperspectral Remote Sensing; Hyperion Plant Community; Ducke Reserve.

## LISTA DE FIGURAS (ILUSTRAÇÕES)

Figura 1: Comparação entre dados obtidos por sensores multiespectrais e hiperespectrais no VNIR (Visível e Infravermelho) em termos de dimensão espectral. Fonte: Schowengerdt (2006). .....	19
Figura 2: Efeitos da atmosfera. Fonte: Modificado por Eliezer Litaiff. ....	22
Figura 3: Localização da Área de Estudo. ....	36
Figura 4: Fluxograma da metodologia de trabalho. ....	40
Figura 5: Transecto de estudo. ....	41
Figura 6: Imagem Hyperion .....	42
Figura 7: Imagem SRTM. ....	43
Figura 8: Plugin ITT Hyperion Tools. ....	44
Figura 9: Parâmetros utilizados no Aplicativo FLAASH. ....	45
Figura 10: Imagem com correção atmosférica e imagem original e seus respectivos gráficos. ....	47
Figura 11: Seleção dos pixels para a caracterização espectral das comunidades vegetais. ....	48
Figura 12: Comportamento espectral das comunidades vegetais nas topossequências. .	49
Figura 13: Curvas espectrais da comunidade de platô e declive. ....	50
Figura 14: Curva espectral da comunidade de campinarana. ....	51
Figura 15: Curva espectral da comunidade de baixio. ....	52
Figura 16: Comportamento espectral das comunidades vegetais estudadas. ....	53



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Características do sensor Hyperion/EO-1.....	20
Tabela 2: Parâmetros adotados para a correção atmosférica.....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Relação de Famílias por N° de espécies e N° de indivíduos na comunidade de platô. ....	54
Gráfico 2: Relação de Famílias por N° de espécies e N° de indivíduos na comunidade de declive.....	55
Gráfico 3: Relação de Famílias por N° de espécies e N° de indivíduos na comunidade de campinarana.....	56
<b>Gráfico 4 Relação de Famílias por N° de espécies e N° de indivíduos na comunidade de baixo.....</b>	<b>57</b>

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1. JUSTIFICATIVA .....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral .....	16
2.2 Objetivos Específicos .....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
3.1 Sensoriamento Remoto.....	17
3.1.1 Sensoriamento Remoto Hiperespectral.....	18
3.1.2 Correção Atmosférica e Radiométricas .....	21
3.1.3 Imagem SRTM .....	23
3.1.4 Interação da Vegetação com a Radiação Eletromagnética .....	24
3.1.5 Influência de Condições Topográficas da Paisagem .....	28
3.1.6 Classificação de Imagens Orbitais.....	29
3.2 Caracterização da Vegetação .....	31
3.2.1 Tipologias Florestais .....	32
4. MATERIAIS E MÉTODO .....	36
4.1 Área de Estudo .....	36
4.1.1 Clima.....	37
4.1.2 Geologia e Litologia .....	37
4.1.3 Geomorfologia.....	37
4.1.4 Vegetação.....	38
4.2 Aplicativos e Hardware Utilizados .....	38
4.3 Metodologia .....	40
4.3.1 Caracterização da Composição Florística da Reserva Ducke .....	40
4.4 Aquisição de Imagens.....	41
4.4.1 Imagem Hyperion .....	41
4.4.2 Imagem SRTM .....	43
4.5 Pré-Processamento da Imagem Hyperion .....	44
4.6 Correção Atmosférica.....	44
4.7 Comportamento Espectral das Comunidades Vegetais da Reserva Ducke .....	46
4.8 Classificação da Imagem.....	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
5.1 Variação Espectral entre as Classes de Comunidade Vegetal .....	47

5.2 Comunidades Vegetais Presentes nas Topossequências .....	53
5.2.1 Comunidade Vegetal do Platô .....	53
5.2.2 Comunidade Vegetal de Declive (Vertente) .....	54
5.2.3 Comunidade Vegetal da Campinarana .....	55
5.2.4 Comunidade Vegetal de Baixo .....	56
5.3 Quantificação das Comunidades Vegetais .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6. CONCLUSÕES.....	58
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia Legal Brasileira, situada na Região Norte do Brasil, engloba a maior floresta tropical do planeta, considerada um importante estoque de carbono e habitat para inúmeras espécies animais e vegetais (FUJISAKA *et al.*, 1998; FEARNSIDE, 2009). No entanto, esta região passa por **uma** exploração em grande escala de seus recursos naturais, e as diferentes transformações ocorridas em sua superfície, principalmente pela substituição de áreas de florestas por pastagem e/ou queimadas, exercem uma grande influência na hidrologia e clima (NOBRE *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2007; CARDOSO *et al.*, 2009; DAVIDSON *et al.*, 2012).

A Reserva Florestal Ducke, por sua proximidade da cidade de Manaus, é bastante estudada. Entre os trabalhos de maior importância encontram-se os realizados por Lechthaler (1956), que foi um dos primeiros a elaborar uma lista de espécies florestais dessa área. Aubreville (1961), Rodrigues (1962), Prance *et al.* (1976), desenvolveram inventários florestais e fitossociológicos de grande relevância na Reserva e seus arredores.

O universo da população florestal nativa, para cumprir com suas finalidades recreativas, sociais, econômicas e de proteção ao meio ambiente, necessita que suas características sejam conhecidas. O Inventário Florestal é o primeiro passo, normalmente, para lançar a base de pesquisas referentes aos recursos naturais e também para tomada de decisão relacionada ao uso da terra. Atualmente, com a crescente valorização dos recursos florestais e outros relacionados a terra e sua cobertura, mais se torna necessários os Inventários Florestais, os quais permitem descrever a quantidade e a qualidade das espécies florestais ocorrentes e muitas das características do terreno (HIGUCHI *et al.*, 1982).

O sensoriamento remoto orbital possibilita acompanhar, de modo sistemático, as mudanças na superfície da Terra e, dada esta característica, tornou-se uma importante fonte de informação espaço-temporal. Diversas áreas do conhecimento fazem uso destas informações a fim de alcançar uma implementação consequente das atividades econômicas-sociais. Em outras palavras, tais informações permitem o uso adequado e preciso do tempo e do espaço, multiplicando a eficiência de quem as utiliza, sejam empresas privadas ou órgãos públicos (SANTOS, 1999).

Em 1991 foi elaborado um projeto de longa duração pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), denominado Sistema de Observação da Terra (EOS - *Earth Observing System*) com suporte do governo dos Estados Unidos. O sensor Hyperion, instalado no satélite *Earth Observing One* (EO-1), lançado ano de 2000, foi o primeiro sensor orbital hiperespectral, permitindo a aquisição de imagens em 242 bandas espectrais, localizadas na faixa do visível e do infravermelho (comprimentos de onda entre 400 nm e 2.500 nm), com resolução espectral de 10 nm e resolução espacial de 30m (SKIDMORE, 2002).

O primeiro grande levantamento sistemático da cobertura vegetal no Brasil remonta à década de 1970, quando, com o intuito de conhecer principalmente a cartografia, a vegetação, a geologia e a natureza dos solos da Amazônia e do Nordeste brasileiro, teve início o Projeto Radam (Junho de 1971), baseado em um método pouco convencional à época: o imageamento por radar de visada lateral (*Side-Looking Airborne Radar* - SLAR). Em julho de 1975, a responsabilidade pelo mapeamento integrado dos recursos naturais passou a ser do projeto Radambrasil, que expandiu o levantamento de radar para o restante do território nacional (ALLEVATO, 1979).

O sensoriamento remoto hiperespectral permite obter medidas radiométricas de um alvo em um grande número de estreitas bandas espectrais. Os dados coletados por estes sensores podem ser transformados em informações sobre diferentes coberturas vegetais que estão relacionadas com aspectos biofísicos da vegetação. Sendo a vegetação um importante elemento dos ecossistemas, seus estudos ganham ênfase, sobretudo, por buscarem conhecimentos acerca de suas variações, padrões distributivos, ciclos, modificações fisiológicas e morfológicas.

Assim, o desenvolvimento da técnica de aquisição de dados a partir de sensores hiperespectrais beneficiou várias ciências e trouxe, em especial para a Engenharia Florestal, uma inovação para estudos de análise espacial e de uso da terra. Essa tecnologia é capaz de agregar conhecimento aos estudos sobre cobertura vegetal, a partir da habilidade de discriminar alvos da superfície com base nas propriedades físicos-químicas e estruturais dos mesmos. Com as imagens hiperespectrais podemos avaliar os alvos da superfície terrestre através de outra perspectiva. Não só a partir de uma análise espacial, mas também por meio de uma análise da resposta espectral ao longo de um intervalo do espectro eletromagnético gerando curvas espectrais.

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

Tendo em vista a extensão territorial do Estado do Amazonas e sua vasta área de floresta que apresentam características distintas em relação a sua tipologia, fisiologia e estrutura, o que caracteriza a heterogeneidade da Amazônia brasileira, o sensoriamento remoto vem como uma ferramenta para auxiliar de forma dinâmica e eficaz a identificação de áreas das quais não se tem dados de campo, assim, procurando minimizar os gastos com logística de pessoas e material para levantamento de áreas inacessíveis.

A utilização de imagens hiperespectrais ajuda a avaliar os alvos da superfície terrestre com outra perspectiva. Não só a partir de uma análise espacial, mas também por meio de uma análise espectral ao longo de um intervalo do espectro eletromagnético gerando curvas espectrais definidas pelo sensor hiperespectral.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo principal deste estudo é avaliar as respostas espectrais do sensor Hyperion abordo do satélite EO-1 para diferenciar as comunidades vegetais presentes nas topossequências (platô, declive, campinarana e baixio) na área da Reserva Ducke.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Distinguir o comportamento espectral entre as classes de comunidades vegetais presentes nas topossequências destacando as semelhanças e as diferenças em suas respostas;
- Caracterizar as comunidades vegetais presentes nas topossequências da Reserva Ducke por meio da resposta espectral do sensor hyperion;



### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentadas as informações sobre os temas abordados nesta pesquisa e um breve resumo do sensor hiperespectral Hyperion/EO-1. As considerações apresentadas neste capítulo visam oferecer um embasamento sobre dados e técnicas de sensoriamento remoto relacionados à natureza dessa pesquisa e sobre os fatores ambientais envolvidos.

Em estudos da cobertura vegetal, aplicação de técnicas de sensoriamento remoto é de grande relevância, pois a partir dos dados adquiridos é possível extrair informações sobre a distribuição dos diferentes tipos de vegetação, estrutura do dossel, estado fenológico, condições de estresse, entre outros. Os diferentes processos de regulação do clima do planeta, através dos ciclos biogeoquímicos, como o armazenamento de carbono, e processos biofísicos, como troca de água, energia e fluxo com a atmosfera.

#### 3.1 Sensoriamento Remoto

Em sensoriamento remoto o crescente desenvolvimento de novas tecnologias tem aumentado a quantidade das informações para os mais variados campos do conhecimento técnico-científico. Este desenvolvimento conta com sensores de alta resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal permitindo assim fazer observações da superfície terrestre e da dinâmica que a envolve com maior eficácia (TEIXEIRA, 2005).

De acordo com Rosa (2007), as técnicas de sensoriamento remoto foram amplamente utilizadas durante a primeira e a segunda guerra mundial no planejamento de missões com fins militares. Porém, até então, apenas fotografias aéreas obtidas à média e baixa altitudes mereciam destaque.

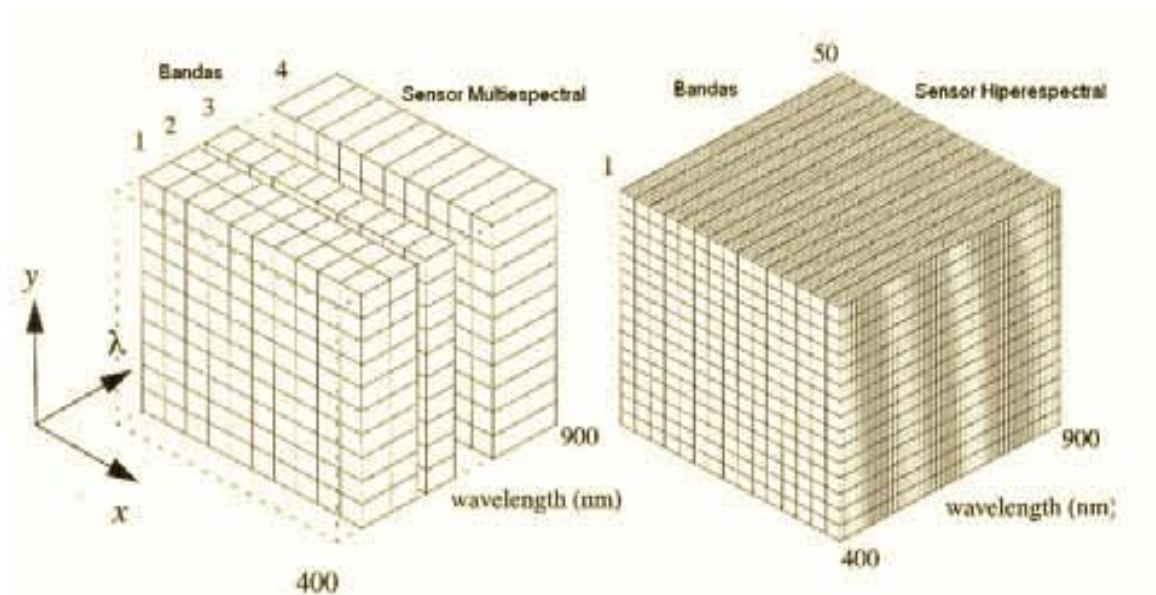
Segundo Florenzano (2011) sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens, dados e outras informações da superfície terrestre, por meio da reposta do registro da energia eletromagnética refletida ou emitida por um alvo presente na superfície de um corpo celeste. O termo **sensoriamento** refere-se à obtenção de dados por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (aeronaves e balões) e orbitais (satélites artificiais). O termo **remoto** significa distância, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, sem contato físico entre o sensor e o alvo (objeto na superfície terrestre).

### 3.1.1 Sensoriamento Remoto Hiperespectral

O processo de aquisição de imagens e centenas de bandas registradas e contíguas, de forma a possibilitar que para cada pixel das mesmas seja possível derivar uma curva de reflectância espectral completa, recebe as denominações de "espectroscopia de imageamento" (*imaging spectroscopy*) ou sensoriamento remoto hiperespectral (*hyperspectral remote sensing*). O objetivo do sensoriamento remoto hiperespectral é medir, quantitativamente, a assinatura espectral dos componentes do sistema Terra, a partir de espectros calibrados, adquiridos na forma de imagens, para o uso em aplicações de sensoriamento remoto (INFOGEO, 2004).

Goetz (1992) *apud* Baptista (2006) conceituou a espectroscopia de imageamento como a aquisição de imagens num número grande de bandas espectrais contíguas e concluiu que, para analisar esses dados, são necessárias ferramentas poderosas de análise espectral. Com ênfase que a quantidade de informações existentes é bastante grande, o que pressupõe processamentos pesados, mas que permitem a obtenção de uma ampla gama de dados.

Schowengerdt (2006) relata que os dados de imagens multiespectrais e hiperespectrais podem ser representados como cubos (Figura 1), com duas dimensões ( $x$ ,  $y$ ), representando a posição espacial, e uma terceira dimensão ( $\lambda$ ), representando o comprimento de onda. Cada pequeno retângulo do cubo representa a região de interação espacial e espectral de um pixel da imagem. Na imagem multiespectral, a dimensão espectral é menor e as bandas espectrais mais largas, enquanto que a imagem hiperespectral tem relativa continuidade espectral, com bandas espectrais estreitas.



**Figura 1: Comparação entre dados obtidos por sensores multiespectrais e hiperespectrais no VNIR (Visível e Infravermelho) em termos de dimensão espectral. Fonte: Schowengerdt (2006).**

Como pode ser observado na Figura 1, o eixo  $\lambda$  (vetor comprimento de onda) da imagem hiperespectral é formado por dezenas de bandas espectrais que coletam medidas com alto nível de detalhamento espectral, tornando possível a identificação de componentes, através dos padrões de absorção e espalhamento da radiação eletromagnética.

As imagens hiperespectrais são muito suscetíveis às interferências atmosféricas e topográficas, o que dificulta a identificação e a quantificação da cobertura vegetal. Assim torna-se fundamental o emprego de técnicas para minimizar a diferença de iluminação causada pela topografia de uma cena ou realçar detalhes de uma cena (RICHARDS, 1998).

De acordo com Souza *et al.* (2013), é notável o aumento no número de sensores orbitais desenvolvidos nas últimas décadas, com diferentes resoluções espectrais, espacial e temporal, como o AVIRIS, HYDICE e HyMap. As imagens hiperespectrais em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), somadas a dados complementares, ambientais e socioeconômicos, podem fornecer uma importante base de dados para diversos estudos. Um sensor imageador hiperespectral tem como vantagem a capacidade de compor uma imagem adquirindo instantaneamente milhares de espectros, com um nível de resolução espectral mais próximo daquele verificado em espectrorradiômetros de campo ou de laboratório (RUDORFF, 2006).

### 3.1.1.2 Sensor Hyperion

O sensor Hyperion está a bordo do satélite *Earth Observing One* (EO-1), que foi lançado em 21 de novembro de 2000. Ele representa uma geração de sensores que disponibiliza ferramentas capazes de caracterizar a superfície terrestre (USGS, 2010).

O Hyperion/EO-1 é o primeiro sensor hiperespectral em nível orbital, adquirindo dados de 400 a 2500 nm em bandas estreitas e contíguas de 10nm de resolução espectral e 30 m de resolução espacial. O sistema opera por varredura "pushbroom" e contém um único telescópio e dois espectrorradiômetros imageadores. Um filtro dicróico direciona as bandas de 400 a 1000 nm para um espectrorradiômetro se sobrepõem de 900 a 2500 nm, para o outro. Os espectrorradiômetros se sobrepõem de 900 a 2500 nm, permitindo a intercalibração entre eles. A largura da faixa imageada é de 7,7 km. Cada cena possui 242 bandas, das quais 196 são radiometricamente calibradas. Os dados são quantificados em 16 bits (UNGAR *et al.*, 2003).

**Tabela 1: Características do sensor Hyperion/EO-1**

Características	Hyperion
Abrangência espectral	356 - 2577 nm
Resolução espacial	30 m
Comprimento de faixa	42 x 7.7 Km a 185 x 7.7 Km
Cobertura espectral	Contínua
Número de bandas	242
Resolução espectral	10 nm
Bandas VNIR	1 - 70 (356 - 1058 nm)
Bandas SWIR	71 - 242 (852 - 2577 nm)
Ordem dos pixels	BIL
Dimensão da Imagem	256 x 6460

Fonte: *Earth Resources Observation & Science (EROS) Data Center.*

Han *et al.* (2002) descreve o processo de aquisição dos dados brutos do sensor (Nível 0) são pré-processados para o nível 1 A (radiométricamente corrigido e nenhuma correção geométrica) e disponibilizados para o usuário em arquivos de dados no formato *Hierarchical Data Format* (HDF). As medidas de radiância radiometricamente corrigidas são disponibilizadas na unidade  $\text{watts}/(\text{sr} \times \mu\text{m} \times \text{m}^2) \times 40$  para as bandas do VNIR e  $\text{watts}/(\text{sr} \times \mu\text{m} \times \text{m}^2) \times 80$  para as bandas do SWIR. Como as regiões espectrais

VNIR e SWIR são utilizados compatibilizar as unidades. Os outros níveis de processamento também são fornecidos para o usuário.

Segundo Galvão *et al.* (2005) o uso do sensor Hyperion possibilita a aquisição de dados com resolução espectral suficiente para reconstruir bandas de absorção nos espectros dos pixels relacionados com o conteúdo de clorofila, teor de água nas folhas e feições de lignina e celulose, as quais podem ser parâmetros importantes na diferenciação de tipologias vegetais. Por outro lado, a pobre relação sinal-ruído (SNR) do sensor, especialmente no SWIR, é um obstáculo para a medição adequada dessas feições sem a interferência de ruídos.

Existem diversos estudos com utilização dos dados hiperespectrais do Hyperion, por exemplo, para caracterizar mudanças sazonais que ocorrem em diversos sistemas aquáticos espalhados pela planície de inundação da Amazônia Central (RUDORFF, 2006), e para diferenciar tipos de vegetação, estrutura de dossel e outras características no estado de Mato Grosso (ANDERSON, 2004).

### **3.1.2 Correção Atmosférica e Radiométricas**

A reflectância de "alvos" da superfície terrestre é um parâmetro intrínseco dos objetos sensoriados e, em muitas situações, deve ser utilizada em lugar dos valores de "níveis de cinza" normalmente encontrados nas imagens de satélite. Para obter a reflectância de alvos de imagens de satélite é necessário eliminar a interferência atmosférica e realizar uma série de cálculos que envolvem parâmetros do sensor e informações da própria imagem (GURTLER *et al.*, 2005).

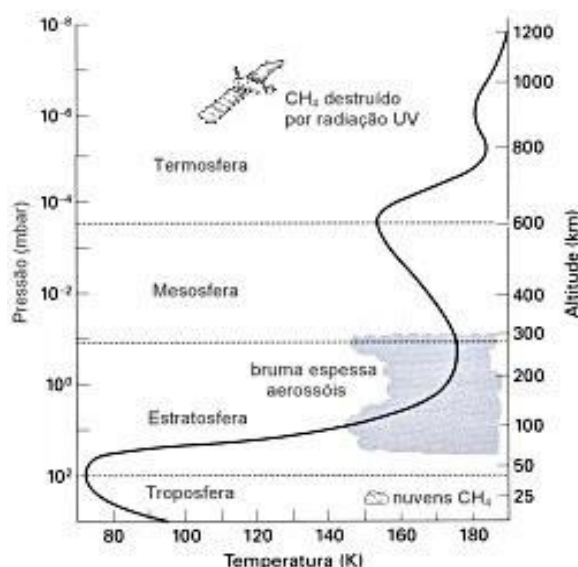
Partículas e gases presentes na atmosfera interferem na radiação eletromagnética através de processos de absorção, reflexão e espalhamento, atenuando seus efeitos quando atingem a superfície terrestre. A correção atmosférica consiste em remover esses efeitos a fim de se obter os dados reais de reflectância dos alvos na superfície terrestre (SONG *et al.*, 2001).

Satélites recebem a resposta espectral integrada dos alvos dentro de uma largura espectral designada e os dados são fornecidos para o usuário na forma de números digitais (DN), os quais não correspondem quantitativamente a unidades físicas, tais como radiância ou reflectância (ROBINOVE, 1982). Assim, estudos pretendendo usar dados de sensoriamento remoto para quantificar características da superfície terrestre, como índice de área foliar e biomassa, requerem a conversão dos números digitais em reflectância de superfície (PANDYA *et al.*, 2002).

Os valores físicos derivados dos números digitais são a radiância ( $\text{mW cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ) e a reflectância (valor adimensional, isto é, um número entre 0 e 1). A radiância é definida como o fluxo radiante ( $\text{mW}$ ) por unidade de ângulo sólido (esferorradiano  $\text{-sr}^{-1}$ ) que deixa uma superfície numa dada direção, por unidade de área ( $\text{cm}^2$ ) perpendicular àquela direção; e a reflectância é a razão entre o brilho (radiância) refletido de um objeto e o brilho incidente sobre aquele objeto (MATHER, 1999 *apud* ESPIRITO-SANTO, 2007).

Os sinais de radiação eletromagnética coletados por satélites no espectro solar são modificados pelo espalhamento e absorção de gases e aerossóis enquanto viajam através da atmosfera (Figura 2) da superfície da Terra até o sensor (SONG *et al.*, 2001).

Correia (2009), comenta que uma grande quantidade de trabalhos foram feitos para o desenvolvimento de métodos físicos e programas voltados para remoção dos problemas de absorção e espalhamento na atmosfera: *Flat Field Conversion*; *Average Relative Reflectance Conversion*; *Empirical Line Method*; *Modeling Methods*; *Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S)*; *Atmospheric Removal Program (ATREM)*; *LOWTRAM*; *MODTRAM*; e o programa utilizado nesse trabalho, *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)*, baseado no método (*MODTRAN<sup>4+</sup>*) *Moderate Atmospheric Radiance and Transmittance*.



**Figura 2: Efeitos da atmosfera. Fonte: Modificado por Eliezer Litaiff.**

Segundo Souza *et al.* (2013), a execução da correção atmosférica em imagens de sensoriamento remoto possibilita o ajuste dos efeitos de absorção e espalhamento causados pela presença de gases e aerossóis na atmosfera, que afeta o sinal do sensor e

influência as respostas espectrais dos alvos observados. Essa correção pode ser executada a partir de duas metodologias distintas:

- I. A partir de modelos de transferência radioativa (MODTRAN), sendo esse mais eficiente, e com exigência de conhecimentos sobre as condições atmosféricas da área de estudo onde a cena foi gerada, bem como, alguns dados do sensor inclusive sobre a calibração radiométrica.
- II. Uso de algoritmos empíricos. Esse método exige apenas a implementação de cálculos com base nos níveis de cinza disponíveis nas próprias bandas, tendo como base, por exemplo, as técnicas de subtração por pixel escuro.

Kawishwar (2007) avaliou os diferentes modelos para correção atmosférica aplicados ao sensor Hyperion. O autor comparou os dois principais modelos adotados em literaturas para a correção radiométrica de imagens Hyperion: o ATCOR2 e o FLAASH. Para a realização do estudo foram utilizados dois métodos para comparação e avaliação do melhor resultado: a) o primeiro envolveu a análise visual das curvas espectrais e identificação de feições conhecidas; b) o segundo, com base no conhecimento de feições com absorção de gases da atmosfera. Após as comparações o autor concluiu que o modelo FLAASH apresentou melhor desempenho para correção de imagens Hyperion, destacando-se pela boa consistência dos resultados e similaridades das respostas espectrais dos alvos observados.

### **3.1.3 Imagem SRTM**

A identificação de forma de terreno é tradicionalmente feita por julgamento em termos qualitativos, que são baseados nas descrições obtidas na fase de interpretação. Métodos paramétricos também são possíveis e de grande interesse, pois fornecem uma base mais objetiva e uniforme para a identificação de sistemas terrestres. Estes requerem a medição e o mapeamento de variáveis do relevo como altitude, declividade, curvaturas vertical e horizontal, orientação de vertentes etc., que são combinados para identificar elementos de terreno e que são, por sua vez, combinados em padrões de terreno. A adoção dos métodos tradicionais de levantamento é justificada pela demora e pelo custo dos métodos paramétricos. No entanto, alternativas como imageamento orbital e geoprocessamento podem reduzir substancialmente estes custos, senão com a mesma qualidade dos métodos tradicionais, ao menos com grau aceitável de concordância com aqueles (DENT & YOUNG, 1981 *apud* ESPIRITO-SANTO, 2007).

Dado um conjunto de pontos de elevação conhecida, a inserção da topografia em SIG ocorre por meio da interpolação destes para um plano de informação. Este processo conta com a série de recursos diferentes, respondendo cada interpolador por uma série de vantagens e desvantagens. Muitos trabalhos foram feitos para verificar o desempenho destes interpoladores com base na comparação das cotas altimétricas entre as metodologias e os dados conhecidos, por exemplo, testar Modelo Digital de Elevação (MDE) obtidos por sensoriamento remoto, como da própria SRTM (KOCH *et al.*, 2002)

O projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) advém de cooperação entre a NASA e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), do DOD (Departamento de Defesa) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Alemanha e da Itália. A missão usou o mesmo instrumento utilizado em 1994 no programa *Spaceborne Imaging Radar-C/X-Band Synthetic Aperture Radar (SIR-C/X-SAR)*, a bordo do ônibus espacial *Endeavour*.

O sobrevôo do SRTM ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, durante o qual foram percorridos 16 órbitas por dia, num total de 176 órbitas. O sobrevôo foi concluído com a coleta de 12TB de dados, que vem sendo processados para a formação de MDE. O processamento dos dados coletados visou à formação de um MDE mundial, elaborado continente por continente, iniciado com a América do Norte. A cobertura foi feita em 80% da área terrestre do planeta, entre latitude 60° N e 56° S.

A interferometria de radar aparece como uma alternativa para a extração de informações altimétricas. Por ser um sensor ativo atuar na região de microondas do espectro eletromagnético, o radar não precisa de luz solar para o imageamento e sofre pouca influência das condições atmosféricas, possibilitando a elaboração de MDE em regiões com condições atmosféricas desfavoráveis, como é o caso da Região Amazônica (PIC *et al.*, 2007).

### **3.1.4 Interação da Vegetação com a Radiação Eletromagnética**

Novo (2008), destaca para que possamos extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento.

Inicialmente devemos lembrar que a vegetação realiza fotossíntese, da qual durante esse processo é absorvida parte da radiação eletromagnética, mas



especificamente na região do visível (0,40 a 0,72  $\mu\text{m}$ ), por parte dos pigmentos fotossintetizantes como as clorofilas, xantofilas e carotenos. Dentre os pigmentos foliares, as clorofilas são os mais importantes, pois controlam a quantidade de radiação solar absorvida pelas folhas e sem elas a fotossíntese não aconteceria.

Ponzoni (2001) utiliza o termo comportamento espectral da vegetação por ser frequentemente utilizado para representar as características de reflectância da radiação eletromagnética pelas folhas, plantas individuais e conjunto de plantas, embora o comportamento espectral de um alvo esteja associada aos processos de reflexão, transmissão e absorção.

Segundo Moreira (2003), uma pequena quantidade de luz é refletida pelas células da camada superficial, a maior parte é transmitida para o mesófilo esponjoso onde os raios incidem frequentemente nas paredes celulares, sendo refletidos se os ângulos de incidência da radiação forem suficientemente grandes. Dado o grande número de paredes celulares dentro da folha, alguns raios são refletidos de volta na direção da fonte de energias incidente, enquanto outros são transmitidos através da folha.

O intervalo que corresponde e representa a resposta da vegetação que vai de 0,72 a 2,5  $\mu\text{m}$ , Ponzoni & Shimabukuro (2009) descreve em três regiões espectrais (Figura 3):

a) Região do visível (0,4 - 0,72  $\mu\text{m}$ ): nesta região os pigmentos existentes na folha dominam a reflectância, sendo os responsáveis pela forma da curva nessa região espectral. Estes pigmentos geralmente encontrados nos cloroplastos são: clorofila 65%, caroteno (6%) e xantofilas (29%). Os valores percentuais destes pigmentos existentes podem variar intensamente de espécie para espécie. A energia radiante interage com a estrutura foliar por absorção e por espalhamento. A energia é absorvida seletivamente pela clorofila e convertida em calor ou fluorescência, e também, convertida fotoquimicamente em energia armazenada na forma de componentes orgânicos através de fotossíntese. Os pigmentos predominantes absorvem radiação na região do azul (próximo a 0,445  $\mu\text{m}$ ), mas somente a clorofila absorve na região do vermelho (0,645  $\mu\text{m}$ ). A maioria das plantas são moderadamente transparentes na região do verde (0,540  $\mu\text{m}$ );

b) Região do infravermelho próximo (0,725 - 1,10  $\mu\text{m}$ ): nesta região intervalo ocorrer pequena radiação e considerável

espalhamento interno da radiação da folha. A absorção da água é geralmente baixa, enquanto que a reflectância é quase constante;

c) Região do infravermelho médio (1,10 - 3,20  $\mu\text{m}$ ): a absorção devido à água líquida intrafoliar afeta a reflectância das folhas na região em torno de 2,0  $\mu\text{m}$ , fatores de reflectância geralmente pequenos. A água absorve consideravelmente a radiação incidente na região espectral compreendida entre 1,3 a 2,0  $\mu\text{m}$ . Mais precisamente, nos comprimentos de onda de 1,45  $\mu\text{m}$ , 1,95  $\mu\text{m}$  e 2,7  $\mu\text{m}$ .

Na região do visível, a reflectância diminui com o aumento da camada de folhas, e na região do infravermelho próximo, a reflectância aumenta com o aumento do número de camadas. Mas essas dinâmicas não apresentam variações lineares, ou seja, a diminuição da reflectância na região do visível, com a adição da segunda camada de folhas, não apresentará a mesma dimensão quando for acrescida uma terceira camada e o mesmo acontecerá com o acréscimo de uma quarta camada, e assim por diante. Na região do infravermelho, analogamente, o aumento da reflectância com a adição de camadas também não será linear e apresentará acréscimos sempre menores à medida que forem adicionadas camadas adicionais de folhas. Esse fenômeno comprova o caráter assintótico da reflectância de dosséis, também conhecido como reflectância infinita (PONZONI & SHIMABUKURO, 2009).

A radiação eletromagnética quando atinge em um dossel vegetal vai interagir com o mesmo dependendo de suas características, como comprimento de onda, ângulo de incidência. A partir da resposta espectral desses alvos podemos realizar cálculos de biomassa, índices de área foliar e estresses hídricos.

Os estudos envolvendo a reflectância de dosséis têm se desenvolvido, na sua maioria, motivados pela necessidade de se relacionar os níveis de cinza das imagens às diferentes tipologias vegetais e seus parâmetros da vegetação e fatores ambientais seja entendida e especificada. A radiação solar incidente sobre o dossel é espalhada e refletida, tendo sua direção e composição espectral alteradas de maneira bastante complexa. Essa alteração é causada tanto por parâmetros inerentes ao próprio dossel quanto por fatores ambientais (GOEL, 1988).

#### **3.1.4.1 Interação da Energia Eletromagnética com o Dossel Florestal**

De acordo com Guyot *et. al.* (1989) interpretar dados de sensoriamento remoto de dosséis florestais demanda um adequado conhecimento dos fatores (externos ou

internos) que afetam sua propriedade ópticas. Dentre os externos, os autores consideram importantes: tamanho da área de visada do sensor, ângulos azimutais e zenitais de iluminação e visada, nebulosidade e velocidade do vento. Entre os fatores internos: orientação da linha (para florestas artificiais jovens), propriedade ópticas da superfície do solo (solo e sub-bosque) e arquitetura do dossel.

Knipling (1970) citou que a reflectância de um dossel da vegetação em geral, numa base percentual, é consideravelmente menos que a de uma folha individual, embora o formato da curva seja semelhante, por causa da atenuação geral da radiação devido à variação no ângulo de incidência da radiação, orientação das folhas, resposta de outros elementos do dossel (troncos e galhos), sombras e superfícies de fundo como o solo.

Segundo Meneses (2001), o dossel de uma floresta é constituído por diversos elementos tais como folhas, galhos, frutos, flores e sombras. Um fluxo de radiação que incide sobre qualquer um desses elementos está sujeito a processos que resultarão em feições espectrais próprias daquele material exposto a radiação, mostrando resultados diferentes de acordo com as feições de absorção daquele elemento de um mesmo componente.

Ponzoni & Shimabukuro (2009) discutem sobre a reflectância espectral de folhas isoladas x dosséis no qual, a reflectância das folhas isoladas é estimada através do fator de Reflectância Direcional - Hemisférico e dos dosséis é estimada através do Fator de Reflectância Bidirecional. As curvas de fatores de reflectância são bastante semelhantes, tendo como consideração a mesma faixa espectral. Os Fatores de Reflectância Direcional - Hemisféricos de uma folha isolada são mais elevados do que aqueles Fatores de Reflectância Bidirecional referentes ao dossel do qual a folha faz parte.

A reflectância espectral de uma copa de uma planta é a uma combinação da reflectância espectral dos componentes da planta e do solo, influenciados pelas propriedades ópticas desses elementos e troca de fótons com a copa (RONDEAUX *et al.*, 1996). O solo de acordo com Gates (1970), a reflectância da radiação incidente nessas superfícies depende de sua coloração, textura, rugosidade, umidade, composição química e mineral, ângulo de iluminação, grau de sombreamento por plantas, construções e entre outros.

Rondeaux *et al.* (1996), descreve que a medida que a vegetação cresce, a contribuição do solo diminui progressivamente mas ainda pode permanecer

significativa, dependendo da densidade das plantas, efeito da linha de plantio, geometria da copa, efeitos do vento e assim por diante. Huete *et al.* (1985) analisaram o comportamento espectral de dosséis de algodoeiro com vários níveis de densidade vegetal e quatro tipos de solo entre as linhas. Eles encontraram que a razão de bandas IVP/vermelho foi fortemente dependente do brilho do solo até aproximadamente 60% da cobertura vegetal. Eles concluíram que os espectros do solo e da planta se misturaram interativamente de uma maneira não aditiva e parcialmente correlacionada para produzir a composição espectral do dossel.

Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2009), comentam que é de se esperar que quanto maior o IAF (Índice de Área Foliar) de um dossel menor sua reflectância na região do visível e maior no IVP (Infravermelho Próximo). Porém, essa dinâmica não é linear e haverá um valor de IAF acima do qual não mais se observará alteração nos valores de reflectância do dossel, tanto para o visível (assumindo o valor mínimo), quanto para o IVP (assumindo o valor máximo). Esses valores são denominados pontos de saturação e tendem a serem maiores no IVP e menores no visível.

Chambers *et al.* (2007), comenta que o conhecimento da estrutura e da composição química de dossel de florestas tropicais fornece informações importantes sobre o ecossistema, como processos funcionais e ecológicos. O dossel das florestas é muito importante, pois fornecem informações como: interações de carbono, nutrientes e água. As assinaturas hiperespectrais são influenciadas por suas propriedades bioquímicas e pela variação da estrutura da copa das árvores.

### **3.1.5 Influência de Condições Topográficas da Paisagem**

A topografia ao lado de outras variáveis ambientais é fundamental na caracterização de paisagem local e regional. Diversos estudos têm relacionado variáveis topográficas com o estabelecimento, distribuição e diversidade de espécies vegetais (BISSO, 2010).

Estudos foram realizados por Bispo (2007), que utilizou variáveis topográficas extraídas de Modelos Digitais de Elevação (MDE) para caracterização da paisagem. Em seu estudo foram utilizadas as seguintes variáveis topográficas:

- a) Elevação: corresponde a altitude do terreno. Está relacionada à distribuição vertical do solo e clima, condicionando diferentes padrões vegetativos na paisagem.

b) Declividade: correspondente ao ângulo de inclinação da superfície local. Possui ação direta sobre o equilíbrio entre a infiltração de água no solo e escoamento superficial, além de controlar a intensidade dos fluxos de matéria e insolação. Esse conjunto de fatores resulta na formação de ambientes com diferentes características físicas e biológicas, as quais permitem o estabelecimento de diferentes tipos de vegetação.

c) Orientação de vertentes: corresponde ao alinhamento do terreno em relação ao sol, é a medida do ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimute. Dentre os vários aspectos (relação com distribuição de diferentes substratos, refúgios ecológicos etc.), esta variável relaciona-se ao grau de sombreamento ou iluminação do terreno, selecionando ambientes mais propícios para o desenvolvimento de determinados tipos de vegetação em detrimento de outros. Assim, a orientação de vertentes controla a direção dos fluxos de matéria e insolação, portanto, com efeitos locais sobre os regimes hídricos e de energia, definindo diferentes padrões vegetativos.

d) Curvatura vertical: refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil.

e) Curvatura horizontal: refere-se ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno quando analisando em projeção horizontal.

As variáveis (d) e (e) estão relacionadas aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e materiais orgânicos no solo através de superfície, proporcionados pela gravidade. Estas duas variáveis combinadas representam uma caracterização das formas do terreno, que se associam diretamente a propriedades hidrológicas e de transporte, exercendo influência indireta sobre a vegetação local.

### **3.1.6 Classificação de Imagens Orbitais**

A classificação de objetos ou fenômenos é feita pela escolha das características que os descrevem para diferenciá-los entre si. Os métodos de classificação dividem-se basicamente em duas categorias: a classificação supervisionada e a não-supervisionada. Nesta segunda, não há qualquer conhecimento prévio do classificador sobre os atributos das classes pertinentes à cena, enquanto na classificação supervisionada, o classificador orienta sua busca de classes a partir de amostras de treinamento feitas anteriormente com as classes de interesse da cena (CROSTA, 1999)

Uma imagem digital obtida por sensoriamento remoto é uma representação matricial dos valores que correspondem à intensidade de energia refletida ou emitida pelos objetos da superfície terrestre. O tratamento dos dados brutos é realizado com a finalidade de calibrar a radiometria da imagem, atenuar os efeitos da atmosfera, remover ruídos e corrigir suas distorções geométricas, com isso, corrigindo dados que podem vir a influenciar na tomada de decisão.

Câmara (2001) apud Portillo (2007), comenta que a classificação digital de imagens visa reconhecer padrões e alvos homogêneos com o objetivo de mapear os diferentes componentes da superfície terrestre. O resultado final da classificação de uma imagem é um mapa temático, no qual os pixels classificados são representados por cores. Cada cor é associada a uma classe (área urbana, tipo de vegetação, etc.) definida previamente pelo usuário.

Os algoritmos responsáveis pela efetiva realização da classificação digital coloquialmente recebem o nome de *classificadores* e eles podem ser divididos em classificadores "pixels a pixels" e classificadores "por regiões".

As técnicas em que o critério depende da distribuição de valores de pixels, em várias bandas espectrais, são definidas como técnicas de classificação multiespectral (NOVO, 2008), sendo este método mais frequentemente utilizado na extração de informações de imagens de sensoriamento remoto (RICHARDS, 1998).

O princípio da classificação supervisionada é baseado no uso de algoritmos para se determinar os pixels que representam valores de reflexão de uma determinada classe. A classificação supervisionada é mais utilizada na análise quantitativa dos dados de sensoriamento remoto (ESPIRITO-SANTO, 2007)

Usualmente, a classificação digital de imagens multiespectrais é realizada através de classificadores que se baseiam no Teorema de Bayes. Classificadores Bayesianos são ditos ótimos no sentido de que minimizam a probabilidade de erro, quando as hipóteses sobre as distribuições de probabilidade são corretas para as diversas classes (alvo/feições) existentes na imagem (BISSO, 2010).

Os classificadores de Bayes baseiam-se nos histogramas das classes para aproximar funções de densidade de probabilidade que seguem o padrão normal de distribuição, conhecido como distribuição gaussiana. Do classificador de Bayes são derivados os classificadores de Máxima Verossimilhança, o Linear de Fisher e a Distância Euclidiana. Nestes classificadores são implementadas simplificações na regra de decisão.

### 3.2 Caracterização da Vegetação

As grandes formações vegetais na Amazônia podem ser agrupadas em savanas, florestas de terra-firme e floresta inundáveis, cada uma com suas respectivas subdivisões (PIRES & PRANCE, 1985). Contudo, os limites até então definidos para distinguir as transições entre várias formações vegetais são relativamente subjetivos e arbitrários, sendo que as classificações baseadas nestes limites são utilizadas mais por conveniência do que pela existência rigorosa de comportamentos bem definidos. No entanto, estas classificações evoluíram de análises descritas da vegetação, normalmente baseadas em conhecimentos botânico sobre ocorrência de poucas espécies marcantes, e também na descrição de aspectos estruturais, fisiográficos e climáticos. Este esquema classificatório foi, até o momento, muito pouco influenciado pela mensuração física direta das características fisionômicas das comunidades vegetais (HILL & FOODY, 1994).

Para Baun-Blanquet (1979) *apud* Tello (1995), os estudos florísticos objetivam o reconhecimento do valor das espécies e sua forma de vida, assim como das leis que regulam as suas relações com os outros organismos. Não é possível alcançar uma definição precisa das unidades fitossociológicas, se a composição florística é deixada em segundo plano.

Espirito Santo (2007), comenta que uma razão para a ausência de um método objetivo para classificar e mapear formações de vegetação na Amazônia é a própria complexidade encontrada nas associações de espécies. Citando levantamentos e estudos da vegetação conduzidos na Amazônia nos últimos anos. Tuomisto *et al.* (1994) concluem que mesmo os tipos intermediários de vegetação, nenhum dos quais podem ser representativos para toda a Amazônia. Como, nestas florestas, os agrupamentos de árvores de uma mesma espécie são bastante raros, pode-se afirmar que cada copa do dossel é diferente de qualquer uma de suas circundantes. Esse fato gera uma composição extremamente heterogênea, variável e aleatória do dossel, dificultando a definição e caracterização de tipologias em várias escalas de abordagem e, conseqüentemente, também dificultando a identificação de suas diferenciações em termos de agrupamentos.

Gomes-Pompa (1972) *apud* Tello (1995) discute que a floresta tropical do ponto de vista florístico é muito heterogênea, com um elevado número de espécies por unidade de área (superior a 100 espécies/ha), variando o número de local para local.

Sendo que esta variação está ligada ao padrão de distribuição das espécies individuais, às condições do meio (principalmente solo) e as características inerentes às espécies. Florestas relativamente próximas apresentam, por vezes, diferenças florísticas muito conspícuas em função de fatores de solo, clima e perturbações de variada ordem (PAGANO, 1987).

Pires (1974), quando fala das características da flora amazônica, chama a atenção para a grande mistura de espécies sem uma nítida predominância de uma ou alguma delas, quanto ao número de indivíduos (densidade) ou quanto a biomassa (cobertura). Assim como o fenômeno da raridade ou de abundância das espécies como assunto interessante e de difícil explicação.

### **3.2.1 Tipologias Florestais**

A região Amazônica possui a maior extensão de floresta tropical do mundo, reconhecida na literatura científica como um conjunto vegetal de características bem definidas, que se estende dos Andes até o Oceano Atlântico como um verdadeiro mosaico de ecossistemas. Tem sido dividida em várias províncias, com base em diferenças da flora arbórea e outros critérios biogeográficos e deve a sua existência, principalmente, ao ecossistema amazônico caracterizado pela presença da extensa bacia hidrográfica do Rio Amazonas (URIBE, 1993 *apud* ESPIRITO-SANTO, 2007).

As inúmeras fisionomias da floresta amazônica devem-se aos diversos tipos de substratos sob as mesmas, bem como as variações no regime de chuvas. Assim têm-se as florestas de terra-firme, as florestas de igapó e as florestas de várzea, cada uma dessas com certas espécies de árvores próprias. Cerca de 85% da região amazônica compreende áreas de terra-firme, ou seja, áreas não sujeitas a inundações. Cerca de 13% é ocupado pelos rios. As várzeas compreendem apenas 2% da região (O'BRIEN & O'BRIEN, 1995).

A classificação prática que é usada regionalmente é baseada no relevo, sendo conhecidos dois principais tipos de floresta: Terra-Firme e Florestas inundáveis (várzea e igapó). De acordo com a classificação de Holdridge e as observações climatológicas do IBGE, duas formas de vida podem ser encontradas na Amazônia: floresta tropical úmida com biotemperatura média anual superior a 24°C e precipitação média anual superior a 24°C e precipitação entre 1000 e 2000 mm.

Tello (1995), comenta que o sistema de classificação proposto pelo IBGE, tenha empregado uma metodologia técnica e cientificamente apropriada, como, uso de



cartografia abrangendo desde o sensoriamento remoto até o levantamento fitossociológico das comunidades vegetais, atingindo inclusive a pesquisa dos ecossistemas de uma ou mais associações vegetais. A identificação de um determinado tipo de vegetação exige do pesquisador muita experiência e familiarização com cada um desses tipos de vegetação indicados, para poder delimitá-los com certa precisão, toda vez que a floresta amazônica não apresentar uma estratificação horizontal homogênea, devido à presença de transições entre os diferentes tipos de vegetação determinadas pela pedogênese do solo e a silvigênese da floresta.

Segundo Tosi (1970), os sistemas de classificação baseados no uso de cartografia resultam incompletos para definir os tipos de vegetação na floresta tropical, pois muitas associações vegetais não se diferenciam somente por fatores tipográficos. Para Braun-Blanquet (1979) *apud* Tello (1995), a cartografia não pode substituir totalmente o trabalho de campo. Porém ela pode contribuir a uma fotointerpretação mais detalhada dos tipos de vegetação da floresta tropical, complementando com informações da textura, profundidade, drenagem e unidade dos solos.

Segundo Eiten (1983), o tipo de vegetação depende da fisionomia, da flora e do ambiente. Um tipo pode existir em somente uma forma de fisionômica ampla, como floresta tropical perenifólia, ou em várias formas naturais, como é o caso do Cerrado, da Caatinga e da Caatinga Amazônica.

A classificação da vegetação da floresta amazônica segundo o critério fisionômico-ecológico do IBGE (1992), considera os seguintes tipos de vegetação:

I) Floresta Ombrófila Densa (Floresta Pluvial Tropical)

- Floresta Ombrófila Densa Aluvial;
- Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas;
- Floresta Ombrófila Densa Submontana;
- Floresta Ombrófila Densa Montana;
- Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana.

II) Floresta Ombrófila Aberta (Faciação da Floresta Ombrófila Densa)

- Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas;
- Floresta Ombrófila Aberta Submontana;
- Floresta Ombrófila Aberta Montana.

III) Campinarana (Campina)

- Campinarana Florestada;

- Campinarana Arborizada;
- Campinarana Gramíneo-Lenhosa.

Bockor (1978) comenta que a diferenciação ou tipificação de florestas não tem somente importância ecológica, mas também é necessária para estabelecer um plano de manejo adequado. esta diferenciação poderá ser realizada na base de parâmetros florísticos ou fisionômico-estruturais da vegetação.

Rodrigues & Valle (1964) verificaram na Reserva Florestal Ducke, que a vegetação climax sempre do baixio, de solo arenoso e temporariamente úmido estava formada de 5 estratificações. A estratificação superior coincide com o teto do dossel, à altura média de 25 m, com poucas árvores emergentes, sendo as mais altas *Macrobium suaveolens* var. *suaveolens*, *Hevea guianensis*, *Allantoma caudata*, *Anacardium spruceanum*, *Scleronema micranthum*, *Vochysia* sp. e *Ferdinandusa* cf. *clorantha*. No estrato arbóreo inferior, as espécies mais importantes foram: *Sagotia racemosa*, *Micropholis cyrtotrya*, *Protium* sp. e *Licania* sp. O estrato arbustivo e rasteiro foram densos, em sua maioria constituídos de palmeiras acaules (*Astrocarium acaule* especialmente) e plantas jovens de árvores dos estratos superiores misturados com alguns espécimes característicos destes estratos inferiores. Cipós e plantas herbáceas eram em número bastante insignificante. Epífitas eram pouco frequentes, sendo mais comuns, algumas espécies de Araceae. Em relação à composição florística do baixio, constatou-se alta heterogeneidade, registrando 145 árvores acima de 10 cm de diâmetro de fuste, distribuídos em 18 famílias de 56 espécies diferentes e 4 indivíduos não identificados.

Prance (1990), registrou para a Reserva um total de 825 espécies de plantas vasculares. Seu levantamento foi baseado nos dados do Programa Flora da Reserva Ducke (PFRD). Também estimou que com identificações mais apuradas este número poderia ser elevado para aproximadamente 1.030 espécies.

Hopkins (2005) descreve que são encontrados quatro tipos de ambientes na Reserva, de acordo com a classificação geral de mata de terra firme e estes são definidos pelo tipo de relevo e composição do solo. Em geral, os solos nas partes mais altas são latossolos amarelos-álco, argilosos e nas partes mais baixas são podsólicos arenosos.

As florestas de platô, como o próprio nome sugere, estão situadas nas áreas mais altas e planas da Reserva. O solo nessas áreas é argiloso, bem drenado e pobre em nutrientes. Nesse tipo de floresta são encontradas as maiores árvores e, provavelmente, as mais antigas. O dossel atinge entre 30-40 metros de altura, com algumas árvores

emergentes chegando a 50-60 metros de altura. Dentre as emergentes destacam-se as Leguminosae, como *Dinizia excelsa* Ducke e *Pseudopiptadenia psilostachya* (DC.) G.P. Lewis & M.P. Lima, Lecythidaceae, como as espécies de *Lecythis* e *Cariniana micrantha* Ducke. O sub-bosque é dominado por palmeiras acaules, especialmente *Attalea atteleiodes* (Barb. Rodr.) Wess. e *Astrocaryum sciophilum* (Miq.) Pulle (HOPKINS, 2005).

As florestas de vertente, ocorrem nas inclinações dos platôs. Os solos dessas florestas são mais arenosos nas porções mais baixas. Comunidade vegetal e a altura do dossel são similares aos da floresta de platô. Entretanto, a quantidade de árvores emergentes é bem menor. A floresta de vertente pode ser considerada um tipo de transição entre a de baixio e a de platô (HOPKINS, 2005).

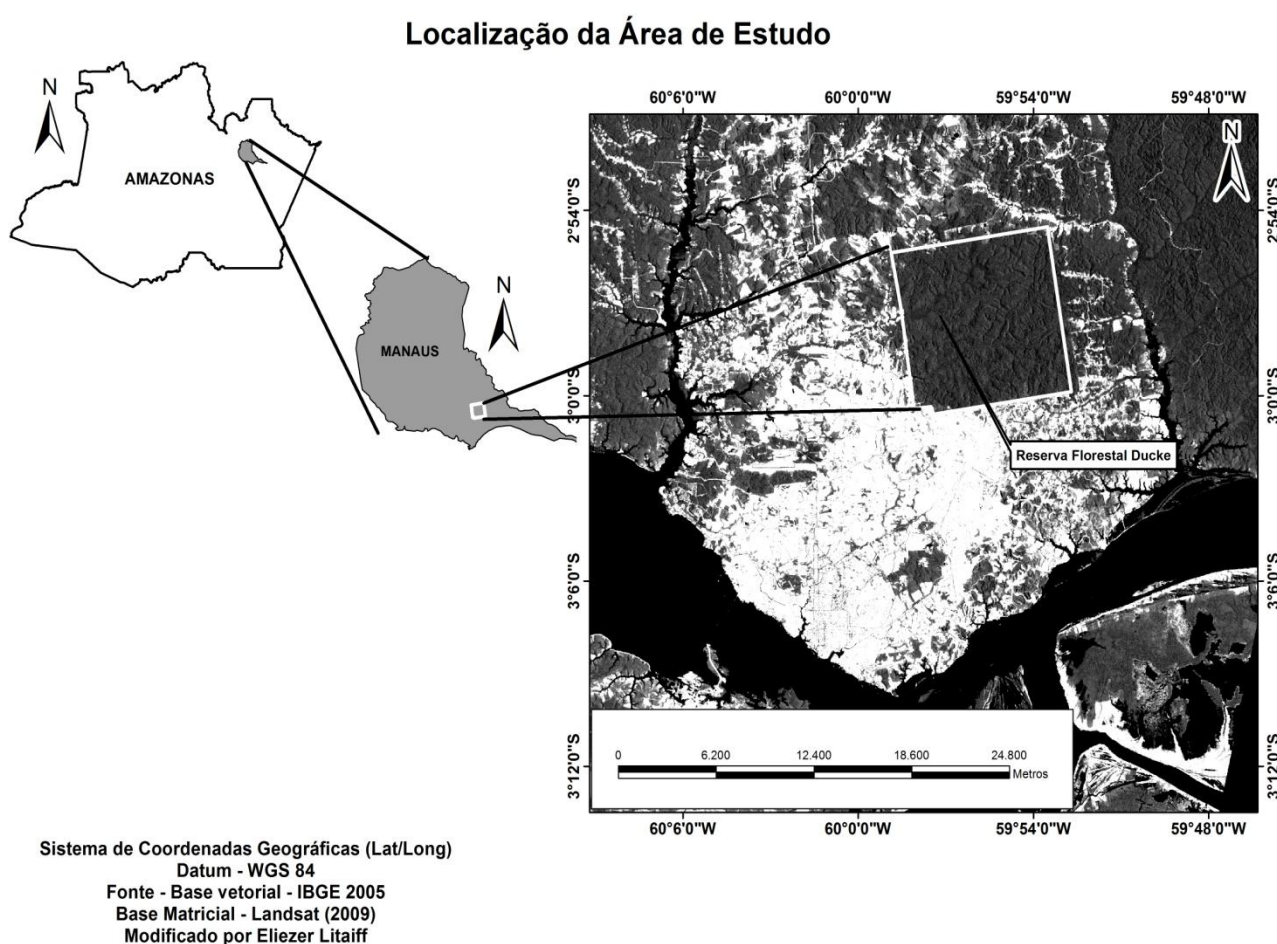
As florestas de campinarana, são encontradas nas planícies próximas dos igarapés e nessas áreas o solo é arenoso com grande quantidade de serrapilheira. As árvores que ocorrem nessas florestas possuem menos DAP que aquelas dos platôs. O dossel é mais baixo, geralmente entre 15-25 metros de altura. As espécies que crescem nessa formação são típicas e entre elas está *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth., uma árvore frequente no dossel que possui seus ramos cobertos com epífitas. As epífitas são especialmente abundantes nas campinaranas e são raras nos outros ambientes. O sub-bosque tem relativamente poucas palmeiras e é dominado pelas Marantaceae (HOPKINS, 2005).

As florestas de baixio, ocorrem ao longo dos igarapés e nas áreas mais baixas. O solo é arenoso, muito úmido e encharcado nas épocas de maior pluviosidade. Muitas árvores possuem raízes superficiais ou escoras e, algumas, com pneumatóforos. O dossel é mais baixo do que do que as regiões de platôs, com 25-30 metros de altura, e com muitas palmeiras, como *Oenocarpus bataua* Mart. e *Mauritia flexuosa* L.f. No sub-bosque podem ser encontradas ervas de porte relativamente grande das famílias Marantaceae, Rapateaceae, Cyclanthaceae e a palmeira acaule *Attalea microcarpa* Mart (HOPKINS, 2005).

## 4. MATERIAIS E MÉTODO

### 4.1 Área de Estudo

A Reserva Florestal Ducke é uma área de floresta amazônica primária de 100 km<sup>2</sup>, localizada próxima à cidade de Manaus e pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) (Figura. 4). Foi declarada como Reserva Biológica em 1963, nesta época a cidade de Manaus possuía uma população de aproximadamente 40.000 habitantes.



**Figura 3: Localização da Área de Estudo.**

#### **4.1.1 Clima**

Apresenta pluviosidade anual na ordem de 2100 mm, com uma estação seca que ocorre no período de junho a outubro e a estação chuvosa entre novembro e maio, apresenta níveis de precipitações anuais mínimas em torno de 50 mm no mês de agosto, e máximas em torno de 300 mm no mês de março. Segundo a classificação Köppen, a região está inserida no grupo A (clima tropical chuvoso) dos tipos Af e Amw. As temperaturas médias mensais variam entre 77% na estação seca e 88% na estação chuvosa (LUCAS, 1989 *apud* COSTA, 2011).

Costa (2011), descreve que a precipitação pluvial na região causa efeito direto no comportamento das drenagens existentes, pois observa-se que a partir do mês de outubro o nível de água nos cursos d'água volta a se recuperar, atingindo o nível normal durante o mês de dezembro. O período da "cheia", como assim é conhecido, corresponde aos meses entre janeiro e maio, sendo caracterizado pelo aumento excessivo do nível d'água, atingindo amplitudes superiores a 10 m em relação a época da estiagem.

#### **4.1.2 Geologia e Litologia**

Segundo Tello (1995), a área compreende o grupo Barreiras com intercalações de arenitos, argilosos e subordinadamente conglomerados. Arenitos argilosos, vermelho duros, pobremente estratificados, com estratificação cruzada, às vezes maciço, fino e médios, mal classificados, contendo bolas de argila, argilitos vermelhos-tijolo e variegados, contendo variada proporção de síltitos e argila, apresentam-se maciços ou laminados, ocorrendo bolsas de areia regularmente distribuídas e gradações com arenito moles ou duros, com fratura subcoloidal, impregnados de óxido de ferro. Conglomerados de seixos de quartzo e arenito silicificado subarredondado.

#### **4.1.3 Geomorfologia**

A região contém porções do Planalto Dissecado Rio Trmбетas-Rio Negro e da Planície Amazônica. As cotas topográficas oscilam entre 120 e 170 m ao longo da rodovia AM-010 que liga a cidade de Manaus ao município de Itacoatiara, sendo que as menores cotas registradas são 80 m localizadas no vale do Rio Preto da Eva e de 60 m nas margens do Rio Urubu (COSTA, 2011).

Segundo IBGE (1978) *apud* Tello (1995), a área abrange as formas de relevo de ordem de grandeza entre 250 e 1750 m e pouco entalhe da drenagem. Compreendendo aos interflúvios tabulares do tipo t22, t32 e colinas c11, c21, c22 e c32, que cobrem 55.919 km<sup>2</sup>, perfazendo 18,96% da área mapeada. Nestas formas de relevo mais dissecado, a retirada da cobertura vegetal para implantação do projeto poderá acarretar maior ataque erosivo, ocasionando instabilidade de vertentes. Nos interflúvios tabulares (t22), sobre os quais se posiciona a cidade de Manaus, são cortados por uma rede de igarapés, que, baseados na sua foz, formam pequenos lagos que se adentram para o interior.

#### 4.1.4 Vegetação

A vegetação predominante na região é o tipo Floresta Ombrófila Densa. Conforme o sistema de classificação do IBGE (1992), este tipo de floresta é denominado como sendo floresta de terra firme e se caracteriza pela sua exuberância, com predomínio de árvores de grande porte. Encontra-se em platôs ou declives com solos argilosos.

A vegetação da Reserva Florestal Ducke é de floresta tropical úmida de terra firme. Sua estrutura suporta comunidades vegetais de **platô, declive, campinarana e baixio e transições entra cada uma delas**. Estas comunidades vegetais apresentam grande diversidade de espécies lenhosas, arbustos e herbáceas. Algumas como sendo exclusivas de um determinado habitat. A altura dos indivíduos é variável, algumas emergentes atingem alturas de até 40 m aproximadamente.

## 4.2 Aplicativos e Hardware Utilizados

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes aplicativos e hardware:

- Envi 4.8;
- Quantum GIS 1.7.4 (Wroclaw).

O aplicativo Envi 4.8 foi utilizado para a realização dos procedimentos efetuados durante o processamento digital das imagens, o aplicativo *Hyperion Tools*, utilizado para o pré-processamento das imagens Hyperion nos formatos L1R e o algoritmo FLAASH.

Todos os processamentos foram realizados em um microcomputador com processador Intel Core i7, com velocidade de processamento 2.3 GHz, memória RAM de 8 Gbytes, com capacidade de armazenamento de 1TB e sistema operacional Windows 7. Para o trabalho de campo foi utilizado um receptor GPS de navegação da marca Garmin modelo 76 CSx.

### 4.3 Metodologia

Os procedimentos metodológicos executados nesta pesquisa estão ilustrados no fluxograma da Figura 4, os detalhamentos da metodologia empregada estão descritos nas seções a seguir:

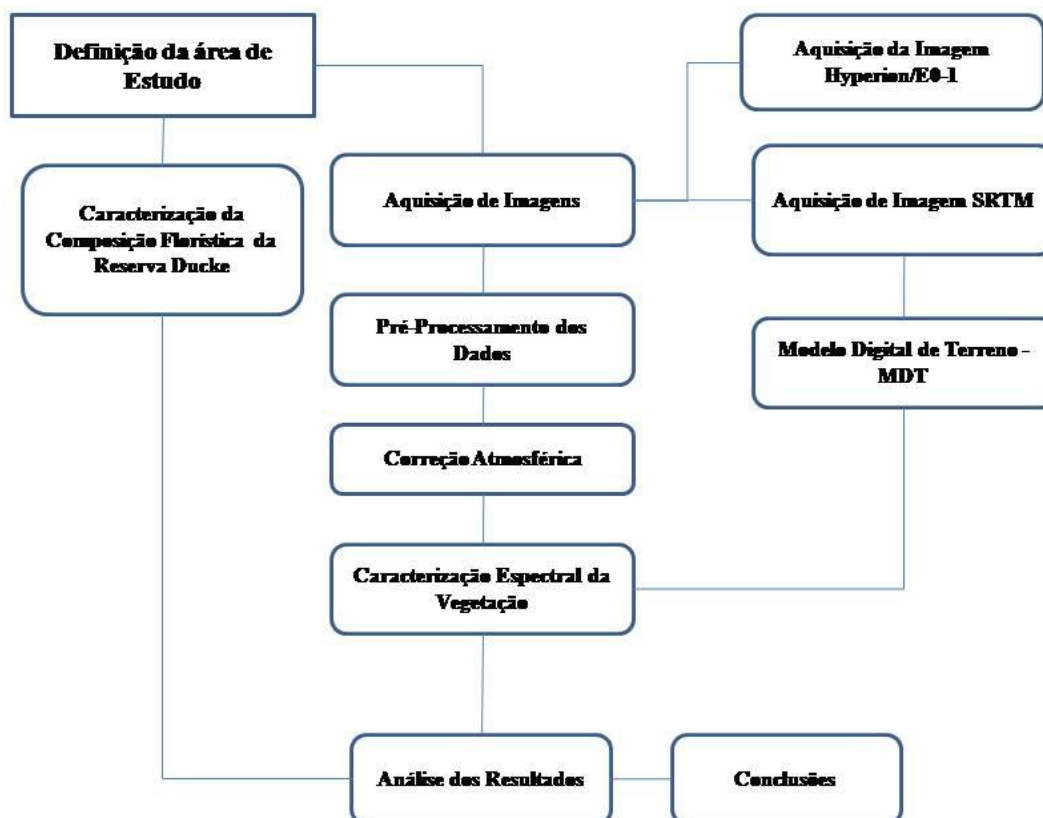


Figura 4: Fluxograma da metodologia de trabalho.

#### 4.3.1 Caracterização da Composição Florística da Reserva Ducke

Segundo Hopkins (2005) a diversidade registrada para a Reserva Ducke é de 2.079 espécies, se dividindo entre os grupos das arbóreas, lianas, ervas, epífitas, arbustos, hemiepífitas, palmeiras, saprófitas e parasitas, sendo, 14%, 10%, 8%, 7%, 4%, 2% 1% e 1% respectivamente suas contribuições para o total. Ainda descreve as famílias com representantes predominantemente arbóreas destacam-se: Leguminosae, Lauraceae, Saporaceae, Lecythydaceae, Apocynaceae e Myristicaceae, sendo que as Myrtaceae e Annonaceae são as mais diversas no subdossel.

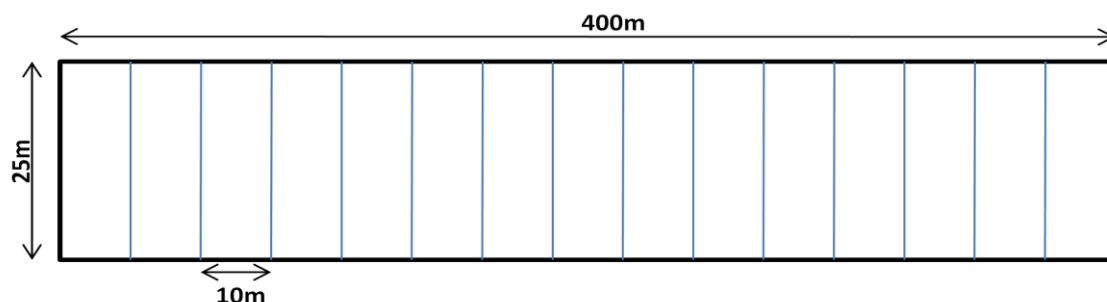


Tello (1995), caracterizou a composição florística das comunidades vegetais correspondentes à topossequência contínua de floresta de terra firme alta, declive, campinarana e baixio na Reserva Florestal Ducke. Foi feito o levantamento do perfil topográfico da área sobre os transectos de 25 x 400 metros (Figura 6) do inventário florístico que cobre as diferentes comunidades vegetais.

Cada parcela foi subdividida em 40 réplicas de 10 x 25 m, para cada comunidade vegetal, em cada réplica foram medidos os indivíduos com 10 cm ou mais de diâmetro à altura do peito (DAP). Para verificar a sobreposição entre as comunidades vegetais, foi calculado o índice de Horn (1996) ( *apud* Tello, 1995).

Tello (1995) durante seu estudo na topossequência, identificou comunidades vegetais de Platô, Declive (Declive), Campinarana e Baixio. Em cada uma delas foi alocada uma parcela de 25 x 400 m, subdividida respectivamente em 40 réplicas de 10 x 25 m. Em cada uma destas comunidades foi testado um modelo polinomial até encontrar o grau do polinômio de melhor ajuste dos dados. Em seguida foram verificadas as condicionantes da análise de regressão. Para os testes respectivos e a escolha do melhor modelo foi utilizado o programa SYSTAT.

Com base nos estudos realizados por Tello (1995), será realizada a caracterização das comunidades vegetais presentes na topossequência e suas respectivas variações espectrais.



**Figura 5. Transecto de estudo.**

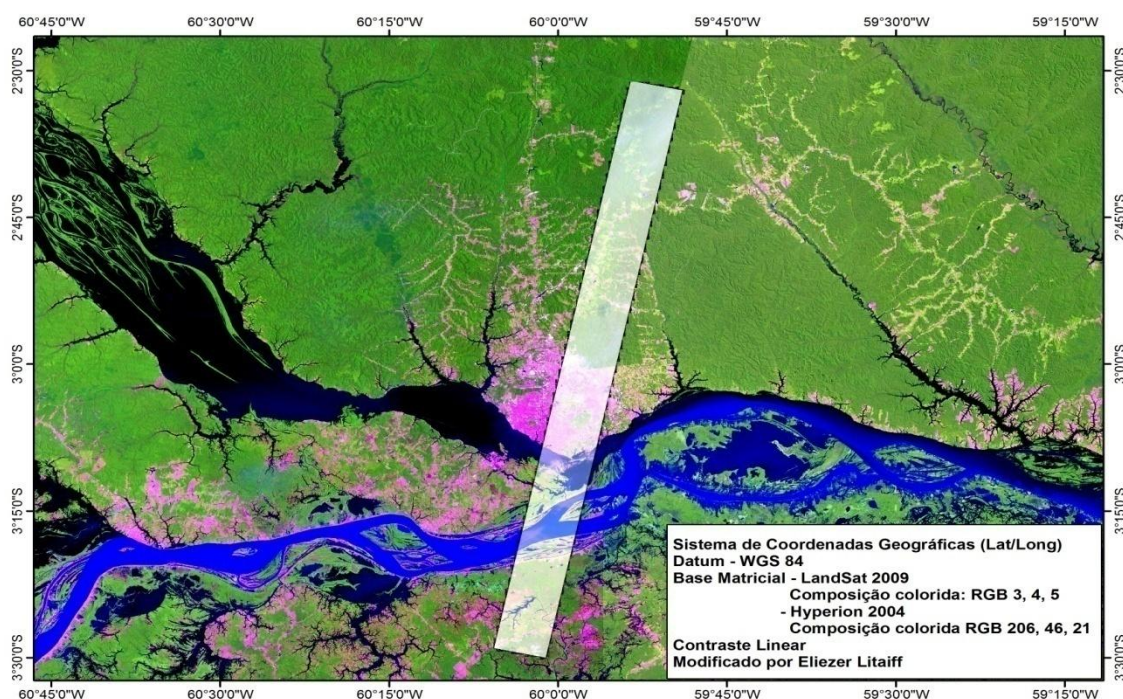
## **4.4 Aquisição de Imagens**

### **4.4.1 Imagem Hyperion**

Para a análise do comportamento espectral das comunidades florestais presente na topossequências (áreas de platô, vertente, campinarana e baixio) foi utilizada uma imagem Hyperion, no nível de processamento L1R, sendo radiometricamente corrigida, mas sem correção geométrica. Os dados Hyperion utilizados, padrão HDF (Hierarchical Data Format), 16 bits, são compostos pelos valores inteiros de radiância. A data do

imageamento utilizado foi do dia 28 de agosto de 2004. A imagem Hyperion apresenta 256 colunas por 3352 linhas, com resolução espacial nominal de 30m, tendo largura e comprimento respectivamente de 7,68km e 100,56km. A imagem Hyperion possui 242 bandas, com amplitude variando, em média, de 10nm entre os comprimentos de onda.

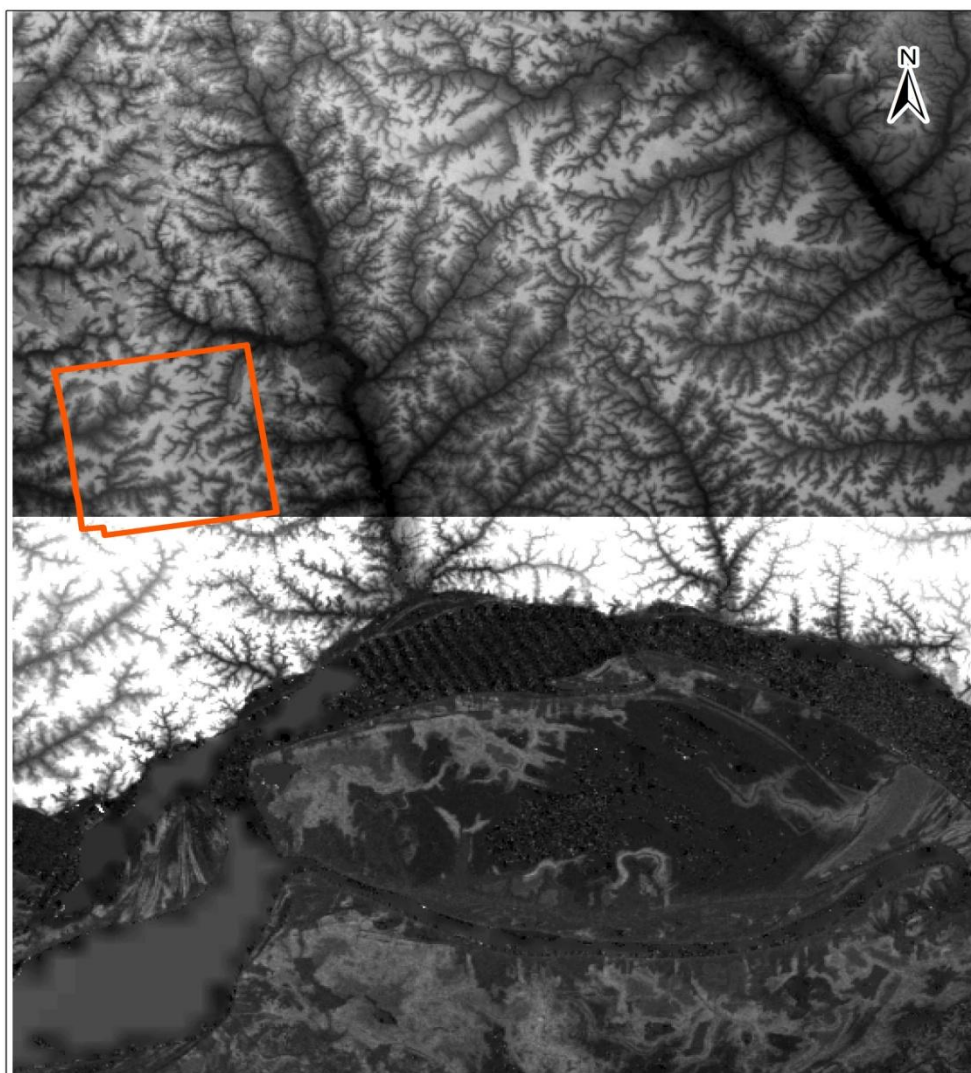
A imagem hiperespectral do sensor Hyperion utilizada no trabalho está disponibilizada no catalogo de imagens da U.S. Geological Survey - USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos) que pode ser acessado no endereço (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). O nome da imagem disponível para download no site, utilizada neste trabalho foi: EO1H2310622004239110KI\_1R (Figura 6).



**Figura 6: Imagem Hyperion**

#### 4.4.2 Imagem SRTM

Utilizou-se também no trabalho uma imagem da Missão Topográfica Radar Shuttle (acrônimo em inglês SRTM) disponível desde 2000, que pode ser considerado a melhor informação topográfica já disponível para grande parte de nosso território, com resolução espacial de 90 m, as imagens utilizadas nesse trabalho foram: SA-21-Y-C e SA-21-Y-A (Figura 7).



Sistema de Coordenadas Geográficas (Lat/Long)  
Datum - WGS 84  
Base Matricial - SRTM (2000)  
Modificado por Eliezer Litaiff

**Figura 7: Imagem SRTM.**

#### 4.5 Pré-Processamento da Imagem Hyperion

A imagem Hyperion foi pré-processada no software ENVI 4.8 por meio da ferramenta *Hyperion Tools*, disponibilizada no site da ITT Visual Information Solutions, ([www.ittvis.com](http://www.ittvis.com)). Que realiza a conversão dos dados de L1R para o formato ENVI O *Hyperion Tools* apresenta as opções para georreferenciamento da imagem a partir de um arquivo do tipo ".met", correção dos stripes, que são as linhas verticais onde os pixels apresentam valores errôneos, esta correção é feita por meio da interpolação dos valores dos vizinhos horizontais. Também foi gerado o arquivo com os fatores de escala para a correção atmosférica (Figura 8).

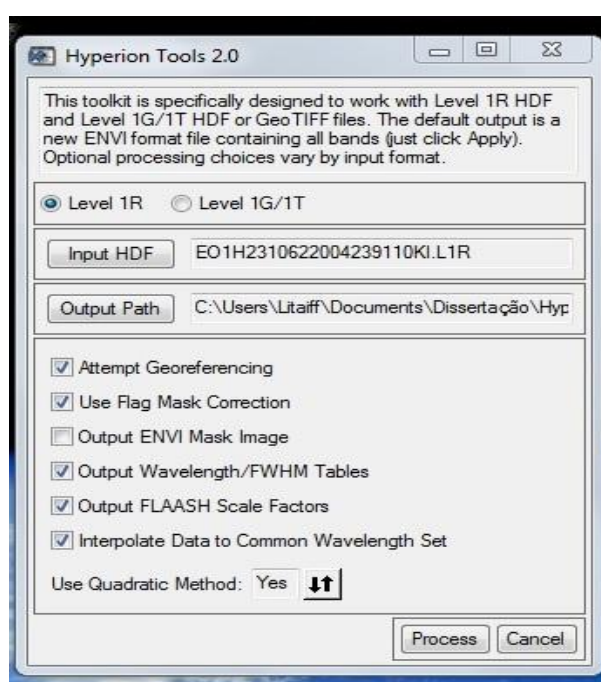


Figura 8: Plugin ITT Hyperion Tools.

#### 4.6 Correção Atmosférica

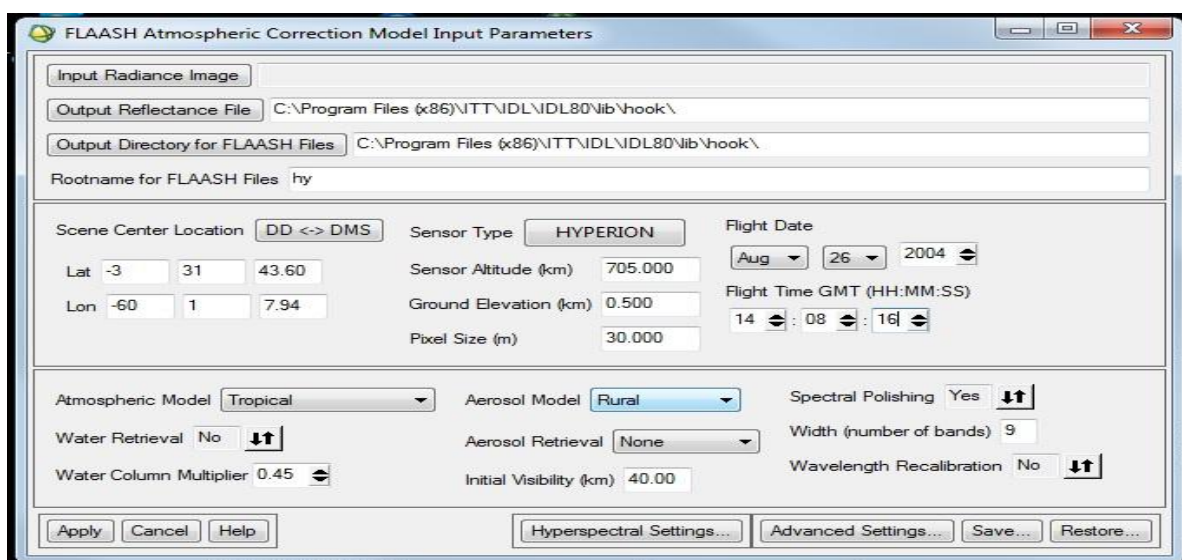
Com a intenção de preservar e adquirir dados mais confiáveis, será necessário realizar a correção atmosférica sobre os valores de radiância gerados na etapa anterior, no software ENVI 4.5 esta disponível módulo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), esse módulo é baseado nos modelos de transferência radiativa MODTRAN-4 (Moderate Spectral resolution Atmospheric Transmittance Algorithm).

Nesse aplicativo foram utilizados os parâmetros do imageamento (Tabela 2): coordenada, a elevação do terreno a altitude do voo e o horário. A elevação do terreno

na área de estudo, é de 50 m acima do nível do mar, demais parâmetros citados acima estão disponíveis nos arquivos auxiliares da cena (Figura 9).

**Tabela 2: Parâmetros adotados para a correção atmosférica.**

Parâmetros	Seleção
Coordenadas Centrais	Latitude -3° 31' 43,60" e Longitude -60° 01' 07,93"
Sensor	Hyperion
Altitude do Sensor	705 Km
Elevação média do terreno	0,5 km
Tamanho do pixel	30 m
Data de registro da imagem	26/08/2004
Hora TTC registro da imagem	14h08h16s
Modelo atmosférico	Tropical
Modelo de aerosol	Rural
Espessura da coluna d'água	0.45
Algoritmo de espalhamento	MODTRAN - ISAACS



**Figura 9: Parâmetros utilizados no Aplicativo FLAASH.**

#### **4.7 Comportamento Espectral das Comunidades Vegetais da Reserva Ducke**

Para caracterização espectral foram definidas quatro classes de cobertura vegetal:

- a) Comunidade vegetal de platô;
- b) Comunidade vegetal de declive;
- c) Comunidade vegetal de campinarana;
- d) Comunidade vegetal de baixio.

Por meio das imagens SRTM foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), no qual foi identificadas as topossequências e extraído as curvas espectrais com as características do pós processamento da correção atmosférica.

A seleção das amostras dos pixels para a definição dos parâmetros da curva espectral foi realizada com base no levantamento de campo descrito em TELLO (1995) e também na verificação do histograma das classes do MDE, priorizando a menor sobreposição das classes.

#### **4.8 Classificação da Imagem**

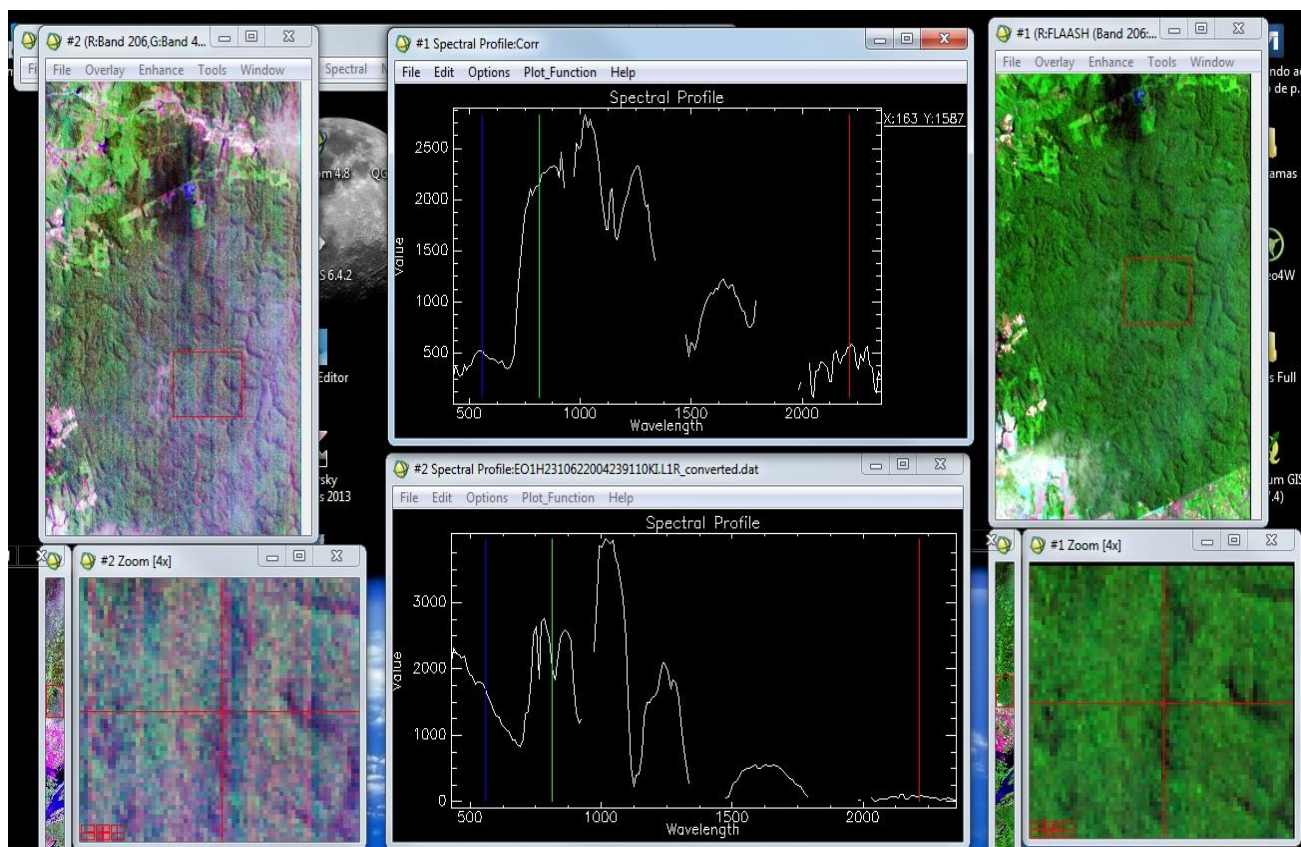
Foi utilizado a classificação ISODATA, que se algoritmo baseia-se na análise de agrupamentos com características similares, então, definido um limiar de concentração de pixels que tratam de grupos distintos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Variação Espectral entre as Classes de Comunidade Vegetal

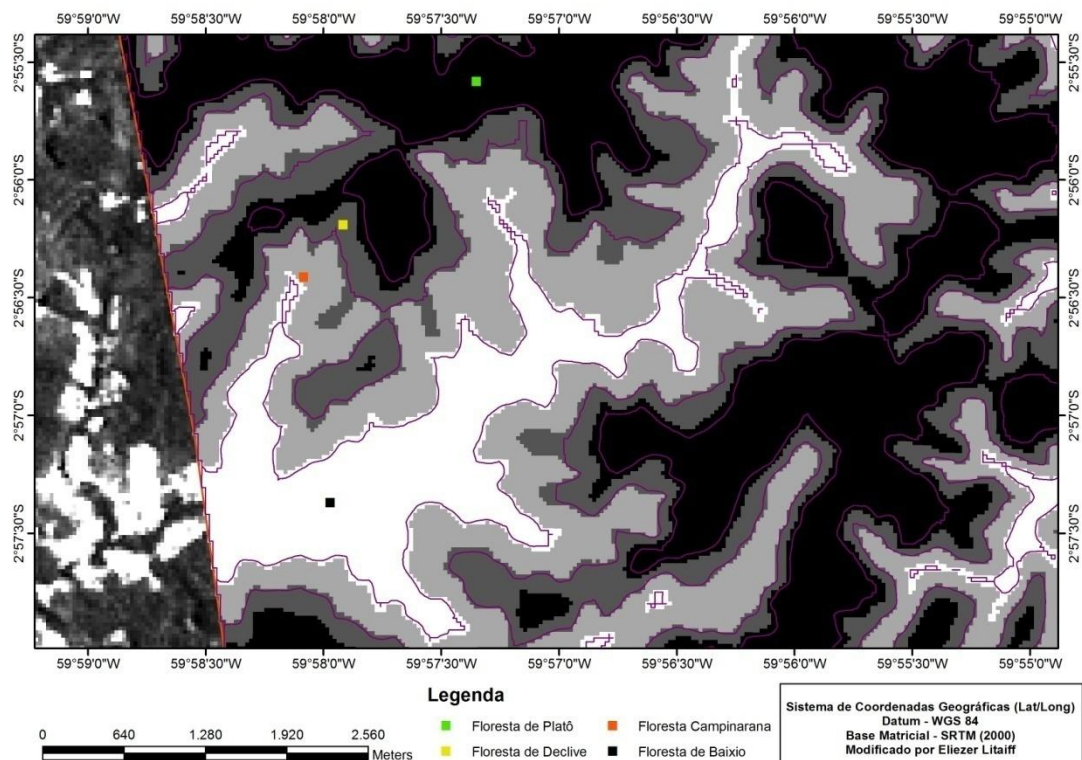
A correção atmosférica elimina efeitos indesejáveis, ocasionados pela interação da radiação eletromagnética com as partículas que compõem a atmosfera, principalmente a de oxigênio, dióxido de carbono e vapor d'água, para cada pixel da imagem. Esse procedimento elimina as bandas de absorção causadas pelos gases anteriormente citados.

O perfil (Figura 10), apresenta o comportamento das feições de uma vegetação sadia, antes da correção e pós processamento da correção atmosférica.



**Figura 10:** Imagem com correção atmosférica e imagem original e seus respectivos gráficos.

A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) foi possível selecionar os pixels correspondentes a área de interesse. As topossequências selecionadas encontram-se na parte Norte da área de estudo (Figura 11).

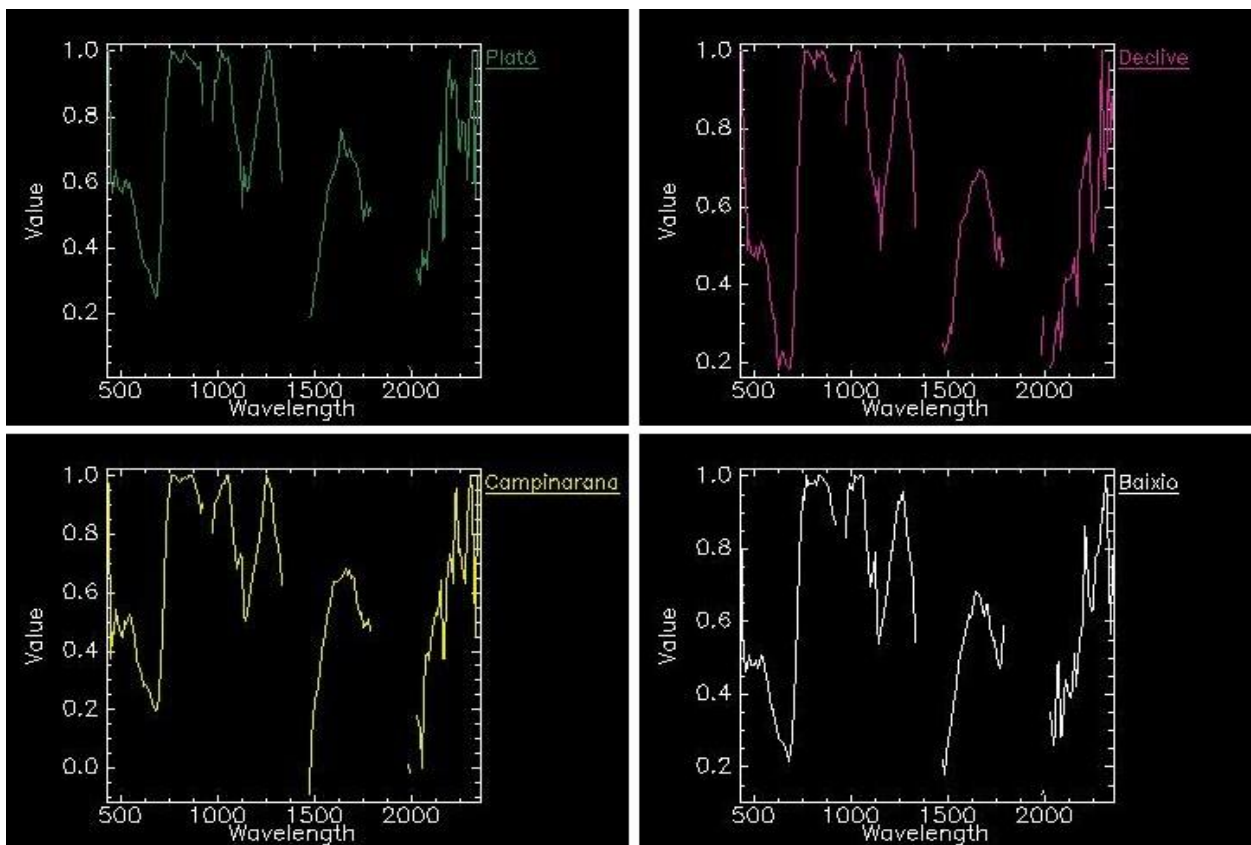


**Figura 11: Seleção dos pixels para a caracterização espectral das comunidades vegetais.**

A partir da análise do comportamento espectral das quatro comunidade vegetais existentes na área de estudo (platô, declive, campinarana e baixo), verifica-se a semelhança dos alvos ao longo da faixa espectral trabalhada. Na região do infravermelho próximo pode se observar que a reflectância nessa faixa do espectro é maior, pois esta relacionada quantidade de água (Figura 12).

Bisso (2007) relaciona a interferência da resposta espectral na região do infravermelho próximo pode estar relacionada aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e materiais orgânicos no solo junto com características da forma do terreno, afetando as propriedades hidrológicas e de transporte, influenciando assim a vegetação local.



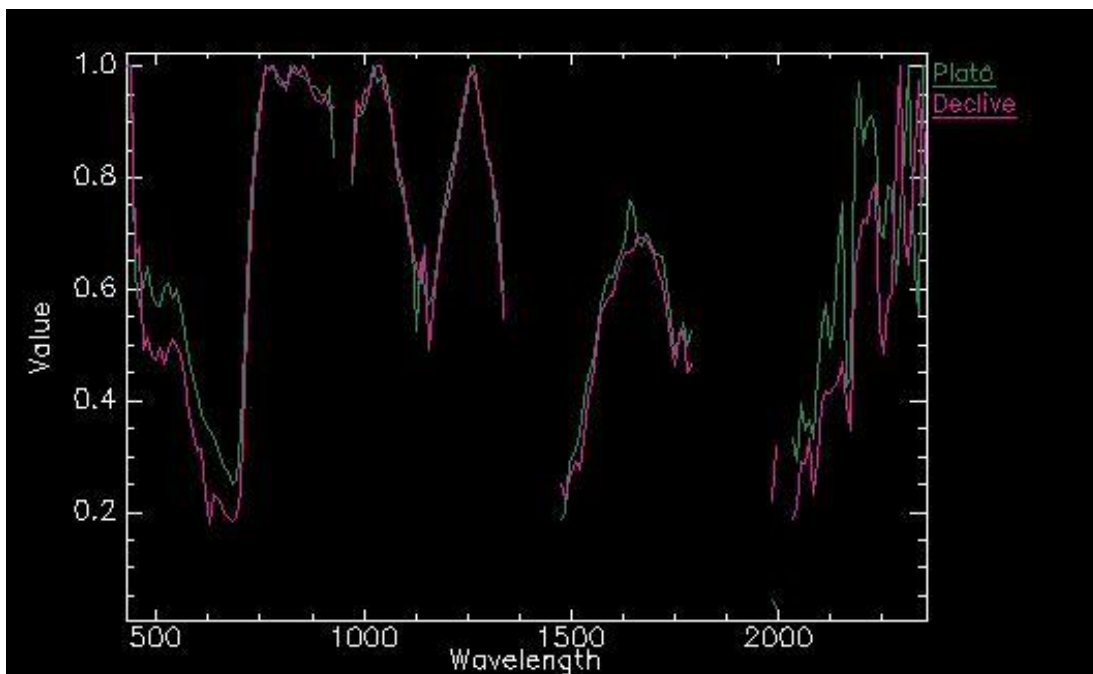


**Figura 12: Comportamento espectral das comunidades vegetais nas topossequências.**

Na comunidade de platô que é composta principalmente por espécies que apresentam entre 30-40 metros de altura, podendo apresentar árvores emergentes, por apresentar uma diversidade maior de espécies estimado em torno de 211,8 espécies por hectare (TELLO, 1995). Isso implica em uma maior variação de pigmentação e de absorção de clorofila, a floração de algumas espécies em épocas diferentes e a maior variedade dos estratos das espécies (Figura 13), influenciando também no sombreamento de algumas árvores de espécies menores.

Ponzoni (2001) comparou a reflectância no infravermelho próximo de uma área de floresta perenifólia com um plantio de *Eucalyptus* ssp., e destaca que o IAF (Índice de Área Foliar) foi muito elevado, assumindo um brilho mais escuro enquanto, o plantio de *Eucalyptus* ssp. possui um IAF bem menos elevado.

Isso ocorre por a floresta possuir diferentes estratos horizontais, com indivíduos dominantes projetando suas copas acima de uma cota média do dossel, isso implica na diminuição da irradiância nos estratos inferiores, assim diminuindo a radiância medida pelo sensor orbital.

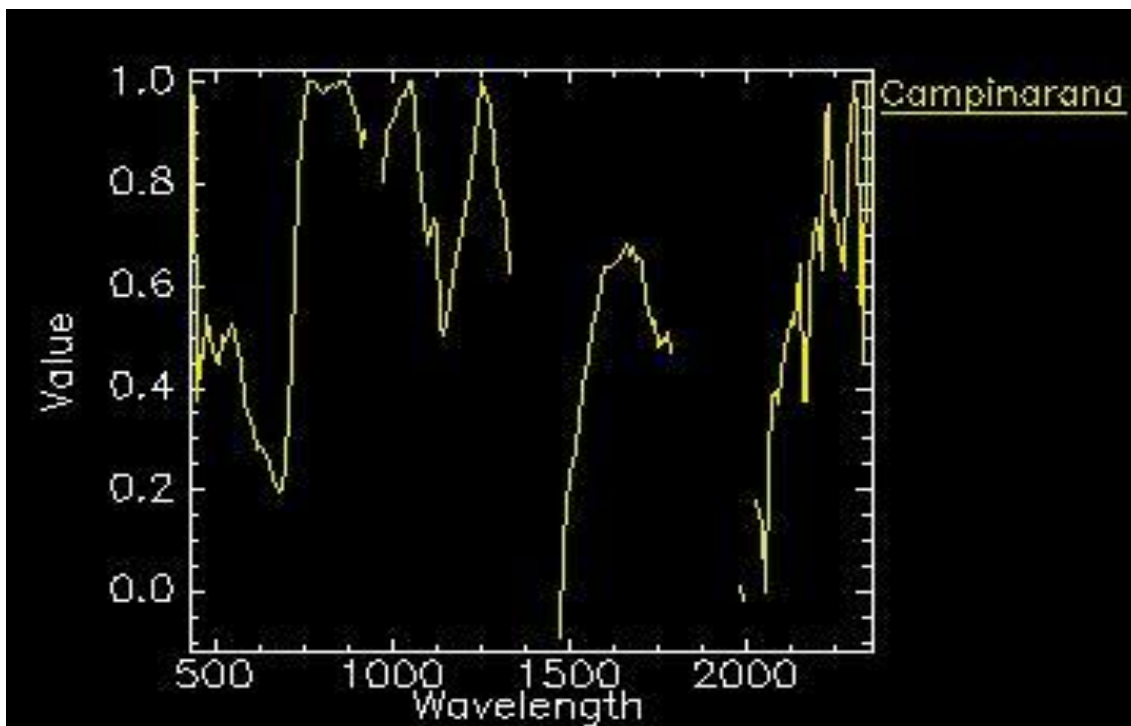


**Figura 13: Curvas espectrais da comunidade de platô e declive.**

A comunidade de declive apresenta similaridade com a comunidade de platô, por apresentarem composição florísticas similares, logo, a característica mais implícita a ser observada é sua absorção na região do infravermelho próximo que compreende de 0,7 - 2,5 $\mu$ m, (Figura 13). Por estar locada em área com inclinação, a água é drenada rapidamente. As árvores emergentes é bem menor, estima-se uma diversidade florística em torno de 141,8 espécies.

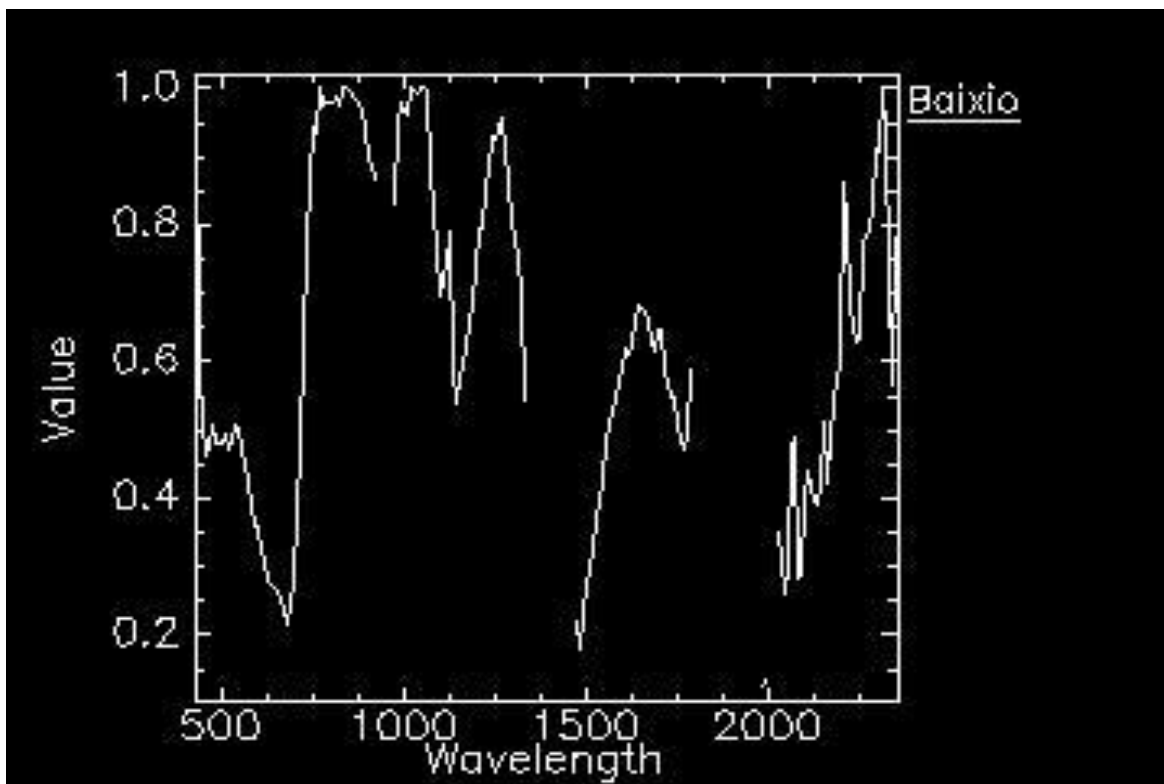
Bispo (2007) destaca que a variável orientação de vertentes define ambientes mais propícios para o desenvolvimento de determinados tipos de vegetação, com isso, Bisso (2010) realizou coletas de curvas espectrais de área florestadas com bananais e mata atlântica, em orientações de vertentes voltadas para Norte, Sul, Leste e Noroeste, assim verificando que o fluxo de radiação varia de acordo com a intensidade e angulação que radiação chega na superfície terrestre.

A comunidade de campinarana é caracterizada por apresentar solos arenosos e espaçamentos irregulares entre as espécies, possuem variações menores de DAP que as espécies de platô, seu dossel é baixo e sua diversidade florística é estimada em 109,8 por hectare. Porém, apresenta uma gama variedade de epífitas que são abundantes nessa comunidade e raras nos outros ambientes (Figura 14).



**Figura 14:** Curva espectral da comunidade de campinarana.

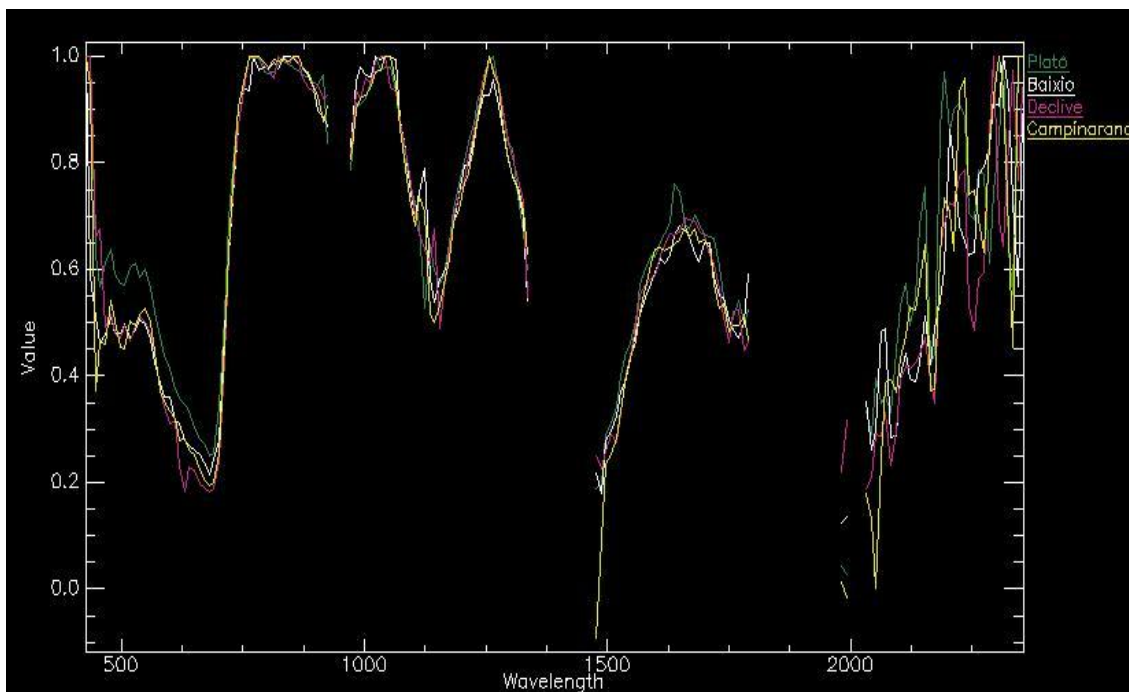
A comunidade de baixio apresenta uma maior interação com as faixas de absorção de água, pois, essas comunidades estão localizadas nas áreas mais baixas do terreno, muitas vezes próximas a cursos d'água, em épocas de maior pluviosidade fica muito úmido, a ocorrência de palmeiras e é encontrada ervas de porte relativamente grandes. Sua diversidade é estimada em 112,8 espécies por hectare (Figura 15).



**Figura 15: Curva espectral da comunidade de baixio.**

Em linhas gerais as características do comportamento espectral coletados das comunidades vegetais acima apresentadas apresentam, como já comentado por (PONZONI, 2009); (BISSO, 2010); (BISPO, 2007); (ESPIRITO-SANTO, 2007), reflectância padrão de vegetação, diferindo em suas características regionais, comunidades a qual pertencem, arquitetura do dossel, tipos de solos. Todas essas variáveis influenciam na resposta espectral na Reserva Ducke (Figura 16).

Também pode-se observar que houve uma grande confusão entre as comunidades vegetais selecionadas. Isso porque as famílias presentes nas topossequências são muito similares, como pode ser observado na região do infravermelho próximo, as similaridades referentes as estruturas das folhas.



**Figura 16: Comportamento espectral das comunidades vegetais estudadas.**

## 5.2 Comunidades Vegetais Presentes nas Topossequências

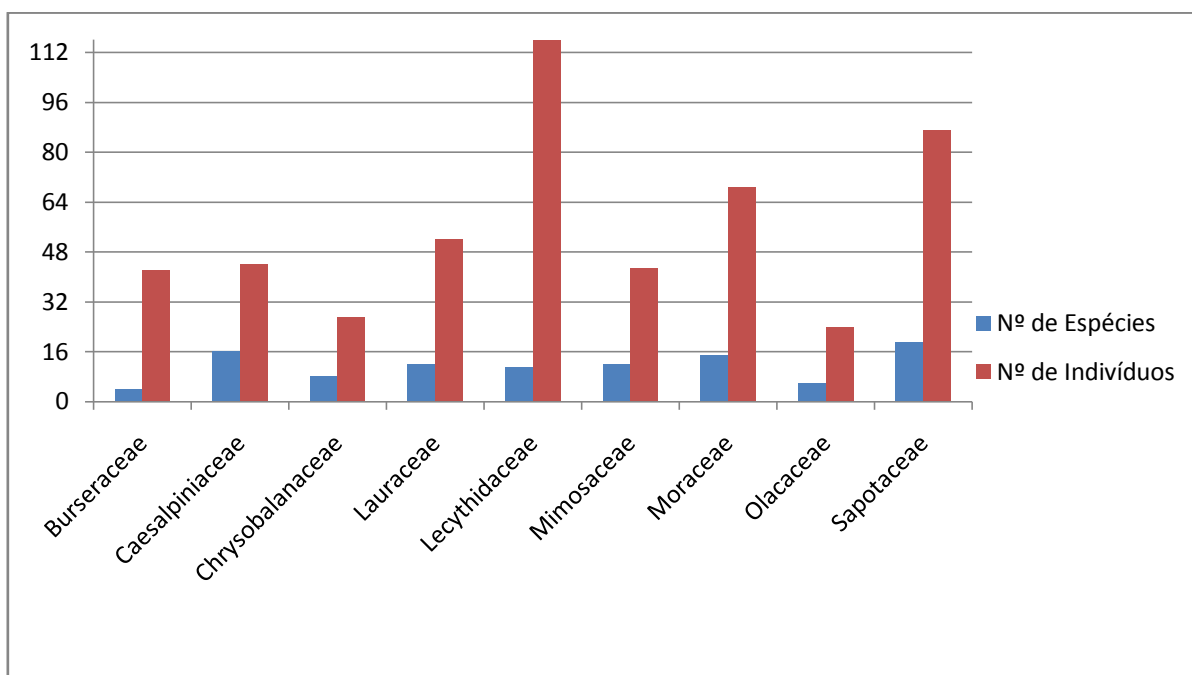
### 5.2.1 Comunidade Vegetal do Platô

Tello (1995) descreve que ocorre fenômeno de raridade, endemismo e abundância de espécies, comensalismo, parasitismo, epifitismo e outras formas de coexistência social acham-se presentes nesta comunidade. A comunidade vegetal desenvolve-se geralmente sobre solos pobres em nutrientes, porém bem estruturados que permitem a regulação dos ciclos biológicos e a conservação dos elementos minerais para a nutrição vegetal ainda em períodos de verão prolongados.

Em relação a diversidade florística, a curva espécie-área para essa comunidade estimou-se 211,8 espécies, a um nível de 5% de probabilidade e prévio cumprimento das condicionantes de regressão. Os grupos taxonômicos para a comunidade vegetal foi de 745 indivíduos com DAP igual ou superior a 10 cm, está distribuído em 48 famílias, 134 gêneros e 192 espécies.

As espécies mais abundantes na comunidade vegetal do platô foram: *Eschweilera coriacea*, *Protium apiculatum*, *Pouteria decortivans*, *Brosimum rubescens* e *Heisteria densifrons* representam juntas cerca de 62% da abundância relativa total. O platô apresenta 70,9% do número total.

Para a análise das famílias por número de espécies e indivíduos na comunidade de platô observe o Gráfico 1.



**Gráfico 1: Relação de Famílias por N° de espécies e N° de indivíduos na comunidade de platô.**

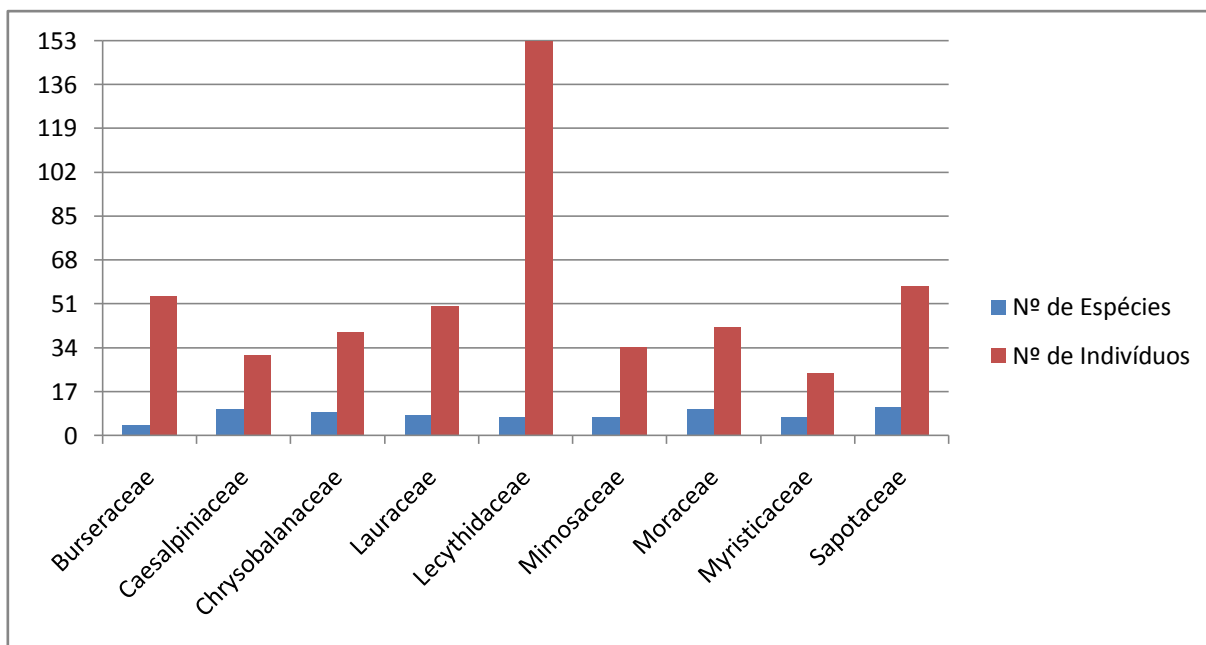
### 5.2.2 Comunidade Vegetal de Declive (Vertente)

Fisionomicamente, não apresenta uma paisagem uniforme pela permanente queda de árvores como consequência de vários fatores como: a erosão, o vento, a chuva, inclinação do terreno, etc. A biomassa é média, as árvores com porte mais fino que a do platô, razoável penetração de luz, alta diversidade de espécies, um elevado número das mesmas compartilham condições de habitat tanto do platô quanto da campinarana, assentada sobre solo argilo-arenoso, podendo ser considerada como área de evolução morfogenética da campinarana para o platô (TELLO, 1995).

Em relação a diversidade florística, a curva espécie-área para essa comunidade estimou-se 141,8 espécies, a um nível de 5% de probabilidade e prévio cumprimento das condicionantes de regressão. Os grupos taxonômicos para a comunidade vegetal foi de 719 indivíduos com DAP igual ou superior a 10 cm, está distribuído em 44 famílias, 103 gêneros e 141 espécies.

As espécies mais abundantes na comunidade vegetal de declive (vertente) foram: *Eschweilera coriacea*, *Protium apiculatum*, *Oenocarpus bacaba* e *Eschweilera atropetiolata* representam juntas cerca de 74% da abundância relativa total.

Para a análise das famílias por número de espécies e indivíduos na comunidade de declive observe o Gráfico 2.



**Gráfico 2: Relação de Famílias por N° de espécies e N° de indivíduos na comunidade de declive.**

### 5.2.3 Comunidade Vegetal da Campinarana

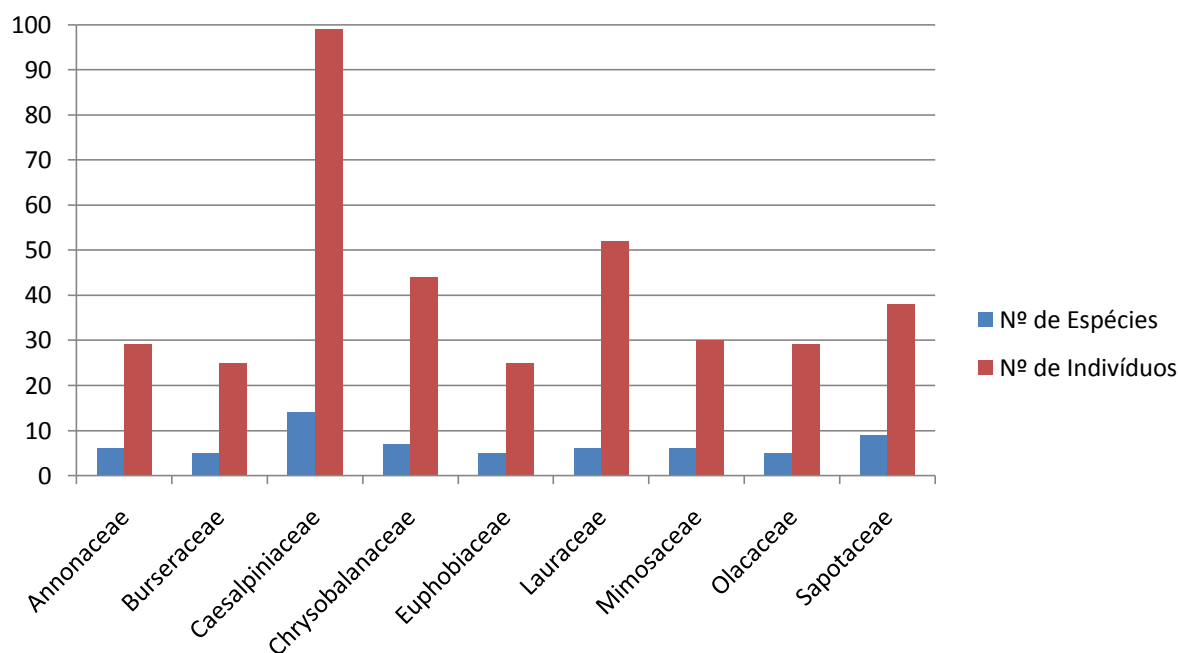
A vegetação da campinarana é relativamente contínua, embora permitindo a chegada da radiação solar direta ao solo, não ocorrem espaços abertos, a biomassa é moderada. A alta diversidade e baixa dominância estão correlacionadas com um aumento na ocorrência de plantas especializadas (ANDERSON, 1978 *apud* TELLO, 1995).

As árvores e arbustos apresentam galhos tortuosos, folhas coriáceas e esclerófilas. Os solos associados a esta comunidade são Podzóis de areia lavada, porém a espessa camada de serrapilheira contínua faz com que a drenagem seja mais lenta. Essa comunidade é rica em epífitas (briófitas), tanto no solo, como nas árvores: Araceae, Bromeliaceae, Orchidaceae, Cyclanthaceae são comuns nestas áreas (TELLO, 1995).

Em relação a diversidade florística, a curva espécie-área para essa comunidade estimou-se 109,8 espécies, a um nível de 5% de probabilidade e prévio cumprimento das condicionantes de regressão. Os grupos taxonômicos para a comunidade vegetal foi de 583 indivíduos com DAP igual ou superior a 10 cm, está distribuído em 37 famílias, 83 gêneros e 113 espécies.

As espécies mais abundantes na comunidade vegetal de campinarana foram: *Bocoa alterna*, *Ocotea cymbarum*, *Qualea paraensis*, *Catostemma sclerophyllum*, *Scleronema micranthum* e *Alchorhiopsis floribunda* representam juntas cerca de 75,6% da abundância relativa total.

Para a análise das famílias por número de espécies e indivíduos na comunidade de campinarana observe o Gráfico 3.



**Gráfico 3: Relação de Famílias por Nº de espécies e Nº de indivíduos na comunidade de campinarana.**

#### 5.2.4 Comunidade Vegetal de Baixo

Tello (1995) descreve essa comunidade vegetal sendo não uniforme fisionomicamente, apresentando biomassa com presença de muitas lenticelas, epífitas e cipós em grande número. Apresenta muitas espécies gregárias, acredita-se pela interação com a fauna. Observa-se uma grande variedade de habitats e

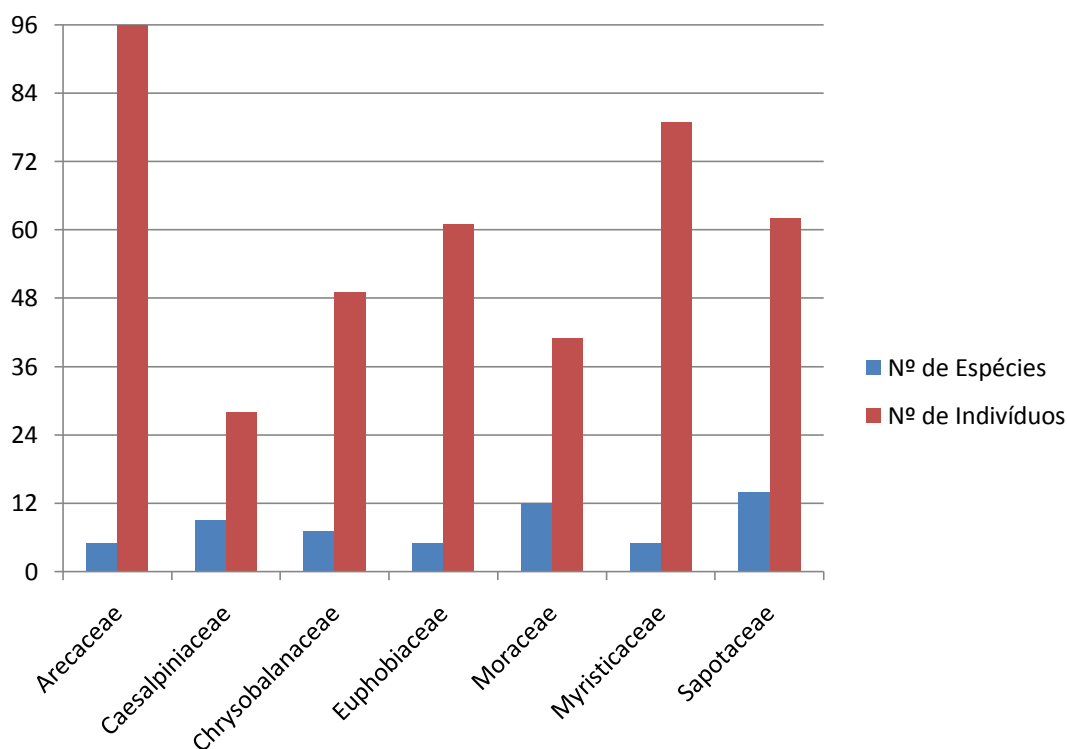


consequentemente as adaptações ecológicas são asseguradas, os solos são mais ou menos gleizados e também arenosos.

Em relação a diversidade florística, a curva espécie-área para essa comunidade estimou-se 112,8 espécies, a um nível de 5% de probabilidade e prévio cumprimento das condicionantes de regressão. Os grupos taxonômicos para a comunidade vegetal foi de 665 indivíduos com DAP igual ou superior a 10 cm, está distribuído em 33 famílias, 88 gêneros e 118 espécies.

As espécies mais abundantes na comunidade vegetal de baixo foram: *Jessenia bataua*, *Conceveiba guianensis*, *Iryanthera ulei*, *Iryanthera laevis*, *Vitex calothyrsa* e *Scleronema micrathum* representam juntas cerca de 76,8% da abundância relativa total.

Para a análise das famílias por número de espécies e indivíduos na comunidade de baixo observe o Gráfico 4.



**Gráfico 4 Relação de Famílias por Nº de espécies e Nº de indivíduos na comunidade de baixo.**

## 6. CONCLUSÕES

Com relação ao pré-processamento e correção atmosférica, os parâmetros descritos por Correia (2009), para se obter uma melhor correção atmosférica. A correção atmosférica realizada com o aplicativo FLAASH foi considerada adequada.

As características das curvas espectrais das comunidades presentes nas topossequências são muito similares entre si, porém, sua posição na topossequência influencia na resposta do alvo na região do infravermelho próximo, relacionada a absorção de água devido a drenagem em casa tipologia de relevo, influenciando na quantidade de água presente nas folhas, assim como a variabilidade de espécies, pois apresentam estruturas de dossel e quantidade de pigmentos.

A Reserva Florestal Ducke é uma área de preservação onde é realizada vários experimentos e acompanhamentos de estudos voltados para vegetação. O estudo realizado por Tello (1995) foi de fundamental importância, pois contribuiu para a descrição das comunidades presentes nas topossequências e suas características.

Pode-se concluir que a utilização do sensor Hyperion, para a discriminação de comunidades vegetais, é eficiente, para potencializar pode-se realizar técnicas de mistura espectral, tendo assim melhores resultados na classificação.

O sensoriamento remoto por meio de imagens hiperespectrais é eficiente para a caracterização espectral de alvos.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEVATO, S.R. **Memória central do projeto Radambrasil**. Revista Brasileira de Cartografia. Rio de Janeiro, n. 25; 31-36p. 1979.
- ANDERSON, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**. Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. 243 f. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos - SP. 2004.
- AYRES, J. M. **As matas de várzeas do Mamirauá**. Programa do Trópico Úmido MCT/CNPQ - Sociedade Civil Mamirauá, Brasília - DF. 123 p. 1993.
- BISPO, P. da C. **Dados geomorfométricos como subsídio ao mapeamento da vegetação**. Dissertação em Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos - São Paulo. 2007.
- BAPTISTA, G.M.M. **Sensoriamento remoto hiperespectral: o novo paradigma nos estudos do solos tropicais**. Brasília, Universa, 212p. 2006.
- BISSO, A. B. A. **Dados do sensor Hyperion/EO-1 para análise das áreas da mata atlântica e de bananas no nordeste do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado, curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - UFRGS. Porto Alegre - RS. 85 p. 2010.
- BOCKOR, I. **Aplicación de un método de clasificación numérica para diferenciar tipos de bosque**. Rev. For. Venez. 28, 23-37 p. 1978.
- BRAGA, P. I. S. **Subdivisão Fitogeográfica, Tipos de Vegetação, Conservação e Inventário Florístico da Floresta Amazônica**. Acta Amazonica 9(4), 53-80 p. 1979.
- CARDOSO, M.; NOBRE, C. A.; SAMAPAI, G.; HIROTA, M.; VALERIANO, D. M.; CÂMARA, G. **Long-term potential for tropical-forest degradation due to deforestation and fires in the Brazilian Amazon**. Biologia, v. 64, n. 3, 433-437 p. 2009.
- CHAMBERS, J. Q.; ASNER, G. P.; MORTON, D. C.; ANDERSON, L. O.; SAATCHI, S. S.; ESPÍRITO-SANTO, F. D. B.; PALACE, M.; SOUZA JR., C. **Regional ecosystem structure and function: ecological insights from remote sensing of tropical forests**. Elsevier, Trends in Ecology and Evolution, Vol. 22, N. 8, 414-423 p. 2007.

- CORREIA, M. R. D. **Sensoriamento Remoto Hiperespectral: Avaliação do sensor R95/HSS para a espacialização e caracterização de solos no município de Manaus.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências. 128 p. 2009.
- COSTA, J. A. L. da. **Avaliação de dados de radar do sensor SAR-R99B no mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Central, Município de Manaus, AM.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais/ Universidade Federal do Amazonas. 113 p. 2011.
- CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Instituto de Geociências, INICAMP, Campinas, 170 p. 1999.
- DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C.; ARTAXO NETTO, P. E.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F.; BUSTAMANTE, M. M.; COE, M. T.; DEFRIES, R. S.; KELER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J. W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA, C. M.; WOFSY, S. C. **The Amazon basin in transition** *Nature*. v. 418, n. 7381, 321-328 p. 2012.
- EITEN, G. **Classificação da vegetação do Brasil.** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico, Brasília, 305 p. 1983.
- ESPIRITO-SANTO, R. L. do. **Caracterização e mapeamento da vegetação e uso do solo da Reserva Extrativista do Baixo Juruá, Amazonas.** Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 96 p. 2007.
- FEARNSIDE, P. M. **Global warming in Amazonia: impacts and mitigation.** *Acta Amazonica*, v. 39, n. 4, 1003-1012 p. 2009.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** 3ed. ampl. e atual. São Paulo - Oficina de textos. 128p. 2011.
- FUJISAKA, S.; CASTILLA, C.; ESCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E. J.; THOMAS, R.; FISHER, M. **The effects of forest conversion on annual crops and pasture: estimates of carbon emissions and plant species loss in Brazilian Amazon colony.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v. 69, n. 1, 17-26 p. 1998.
- GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; TISOT, D. A.; **Descriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor Hyperion/EO-1,** *Revista Brasileira de Cartografia*. No. 57/01, 2005.
- GALVÃO, L. S.; BREUNIG, F. M.; SANTOS, J. R.; MOURA, Y. M. **Anisotropia de índices hiperespectrais em florestas tropicais.** *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu - PR*, 8 p. 2013.

- GATES, D. M. **Physical and physiological properties of plants.** In: Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry. Washington: National Academy of Sciences, 164-223p. 1970.
- GOEL, N. S. **Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data.** Remote Sensing Reviews, v. 4. 1 -12 p, 1988.
- GÜRTLER, S.; EPIPHANIO, J. C. N., LUIZ, A. J. B.; FORMAGGIO, A. R. **Planilha eletrônica para cálculo de reflectância em imagens TM e ETM+ LANDSAT.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 57, 162-167 p. 2005.
- GUYOT, M.; GUYON, D.; RIOM, J. **Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review.** Geocarto International, 4, 3-18 p. 1989.
- HAN, T.; GOODENOUGH, D. G.; DYK, A.; LOVE, J. **Detection and correction of abnormal pixels in Hyperion images.** In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. Toronto, Canada. Proceedings... IEEE International. 1327 - 1330 p. 2002.
- HARGROVE, W. W.; LUXMOORE, R. J. **A spatial clustering technique for the identification of customizable ecoregions.** Acesso em:
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; JARDIM, F. **Tamanho da Parcela amostral para Inventários Florestais.** Acta Amazonia, 12(1), 91-103 p. 1982.
- HILL, R. A. & FOODY, G. M. **Separability of tropical rain-forest types in the Tambopata-Candamo reserved zone, Peru.** International Journal of Remote Sensing, 15, 2687-2693 p. 1994.
- HOPKINS, M. J. G. **Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil.** Rev. Rodriguésia 56 (86), 9-25 p. 2005.
- HUETE, A.R.; JACKSON, R. D.; POST, D. F. **Spectral response of a plant canopy with different soil background.** Remote Sensing of Environment, v. 7, n. 1, 37-53 p. 1985.
- INFOGEO, n.33, 2004.
- KNIPLING, E. **Physical and physiological basis for the reflectance visible and near infrared radiation from vegetation.** Remote Sensing of Environment, v. 1, n. 3, 155-159 p. 1970.
- KOCH, A.; HEIPKE, C.; LOHMANN, P. **Bewertng von SRTM geländemodellen - Methodik und Ergebnisse.** Photogrammetrie Fernerkudung Geoinformation, v.6, 389-398 p. 2002.

- LINN, R. de M. **Avaliação de modelos de mistura spectral MESMA e SMA aplicados aos dados hiperespectrais Hyperion/EO-1 adquiridos na planície costeira do estado do Rio Grande do Sul.** 140 f. Dissertação Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Centro de Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008.
- MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 262 p. 2001.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologia de aplicação.** 2 ed. Viçosa: UFV, 307 p. 2003.
- NOBRE, C. A.; OLIVEIRA, G. S.; VELASQUEZ, L. F. S. **Mudanças climáticas e Amazônia.** Ciência e Cultura, v. 59, n. 3, 22-27 p. 2007.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** 3 ed. São Paulo: Blucher, 362 p. 2008.
- O'BRIEN, M. J.; O'BRIEN, C. M. **Ecologia e modelagem de florestas tropicais.** Belém: FCAP, 400 p. 1995.
- OLIVEIRA, G. S.; NOBRE, C. A.; COSTA, M. H.; PRAKKIS, S.; SOARES FILHO, B. S.; CARDOSO, M. F. **Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion.** Geophysical Research Letters, v. 34, n. L17709, 1-7 p. 2007.
- PAGANO, S. N. & LEITÃO FILHO, D. de F. **Composição florística do estado arbóreo da mata mesófila semidecídua, no município de Rio Claro (Estrato de São Paulo).** Revista Brasil. Bot, 10, 49-61 p. 1987.
- PANDYA, M. R.; SINGH, R. P.; MURALI, K. R.; BABU, P. N.; KIRANKUMAR, A. S.; DADHWAL, V. K. **Bandpass solar exoatmospheric irradiance and Rayleigh optical thickness of sensors on board Indian Remote Sensing Satellites-1B, -1C, -1D, and P4.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40, 3, 714-718 p. 2002.
- PIC, A.; RENNÓ, C. D.; PINHEIRO, T. F.; SOARES, J. V. **Avaliação da influência da vegetação nos dados SRTM para a região amazônica.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 6929-6931 p. 2007.
- PIRES, J. M. **A diversificação florística da mata Amazônica.** In: XXV Cong. Nac. Bot., Mossoró, RN, 241-243 p. 1974.

- PIRES, J. M. & P RANCE, G. T. **The vegetation types of the Brazilian Amazon**. In: Key Environments: Amazonia, Oxford, 109-145 p. 1985.
- PONZONI, F. J. **Comportamento espectral da vegetação**. In: Meneses, P. R.; Madeira Netto, J. S. (Org.) **Sensoriamento Remoto: Reflectância de alvos naturais**. Brasília: Universidade de Brasília, Embrapa Cerrados, 262 p. 2001.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. Ed. Arêntese. edição 2010. 127 p. 2009.
- PORTILLO, J. E. **Sensoriamento remoto e SIG na análise da Cotonicultura nos municípios de Campo Verde e Primavera do Leste - MT**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - São Paulo, 2007.
- RICHARDS, A. R. & JIA, X. **Remote sensing digital analysis: an introduction**. 3th. Berlin: Springer - Verlag, 340 p. 1998.
- ROBINOVE, C. J. **Computation with physical values from Landsat digital data**. Photogramm. Eng. Remote Sensing, vol. 48, 781-784 p. 1982.
- RODRIGUES, W. A. & VALLE, R. **Ocorrência de troncos ôcos em mata de baixo da região de Manaus, Am.** (estudo preliminar). Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Novaser. Bot. 16, 2-8 p. 1964.
- RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. **Optimization of soil-adjusted vegetation indices**. Remote Sensing of Environment, v. 55, 95-107 p. 1996.
- ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Urbelândia, EDUFU, 2007. 248p.
- RUDORFF, C. de M. **Estudo da composição das águas da planície Amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrômetro de campo visando a compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos**. Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. 140 f. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos - SP. 2006.
- SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 3 ed. São Paulo: Editora Hucitec, 308 p. 1999.
- SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: models and methods for image processing**. v. 3, London: Academic Press. 2006.
- SINGH, A. **Digital change detection techniques using remotely sensed data**. International Journal of Remote Sensing, v. 10, n. 6, 989-1003 p. 1989.

- SKIDMORE, A. **Environmental modelling with GIS and Remote Sensing**. London: Taylor & Francis, 2002.
- SONG, C.; WOODCOCK, C. E.; SETO, K. C.; PAX-LENNEY, M.; MACOMBER, S. A. **Classification and chance detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects?** *Remote Sensing of Environment*, 75, 230-244 p. 2001.
- SOUZA, E. M. F. de R.; VICENS, R. S.; CRUZ, C. B. M. **Processamento digital de imagem hiperespectral do sensor Hyperion**. *Resvista Brasileira de Cartografia*, N° 65/5, 895-906 p. 2013.
- TEIXEIRA, C. G. **Validação do modelo linear de mistura espectral em imagens ASTER/TERRA a partir de dados IKONOS**. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 127p. 2005.
- TIVY, J. **Biogeography: a study of plants in the ecosphere**. 3 ed. England: Longman Group UK, 452 p. 1995.
- TELLO, J. C. R. **Aspectos fitossociológicos das comunidades vegetais de uma topossequencia da Reserva Florestal Ducke do INPA, Manaus - Am**. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 301 p. 1995.
- TOSI, J. A. **Bases ecológicas para la clasificación y levantamieno del mapa de tipos de bosque em Colombia**. Bogotá, Proyecto de Investigación y Desarrollo Industrial Florestal, 30 p. 1970.
- TUOMISTO, H.; LINNA, A.; KALLIOLA, R. **Use of diitally processed satellite images in studies of tropical rain forest vegetation**. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 1595-1610 p. 1994.
- UNGAR, S.G.; PEARLMAN, J.S.; MENDENHALL, J.A.; REUTER, D. **Overview of the Earth Observing one (EO-1) mission**. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 41, n.6, 1149-1159 p. 2003.
- USGS, United States Geological Survey. Acessado em: 15 de maio de 2013. Disponível em: <<http://eol.usgs.gov/hyperion.php>>