



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DO SENSOR HRC NA  
ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR,  
NA ÁREA DA FLONA MÁRIO XAVIER,  
SEROPÉDICA, RJ.**

**PEDRO GUILLON ERVILHA**

**Orientador**

**Marcio Rocha Francelino**

Seropédica, RJ  
Dezembro de 2008

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DO SENSOR HRC NA ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE  
ÁREA FOLIAR, NA ÁREA DA FLONA MÁRIO XAVIER, SEROPÉDICA, RJ.**

**PEDRO GUILLON ERVILHA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**Sob Orientação do Professor**

**MÁRCIO ROCHA FRANCELINO**

Seropédica, RJ  
Dezembro de 2008.

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DO SENSOR HRC NA ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE  
ÁREA FOLIAR, NA ÁREA DA FLONA MÁRIO XAVIER, SEROPÉDICA, RJ.**

**PEDRO GUILLON ERVILHA**

APROVADA EM: 19/12/2008

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Márcio Rocha Francelino  
DS/IF/UFRRJ  
(Orientador)

---

Prof. Hugo Barbosa Amorin  
DS/IF/UFRRJ  
(Membro Titular)

---

Eng. Florestal Estevão Machado Cidade de Rezende  
(Membro Titular)

## RESUMO

A vegetação é um dos recursos naturais que apresenta grande dinâmica. A disponibilidade de dados de Sensoriamento Remoto coletados em nível orbital, proporcionada pelos sensores colocados a bordo de satélites, permite o monitoramento de mudanças naturais e/ou antrópicas ocorridas na vegetação. Em uma escala global, mudanças na cobertura florestal tem-se mostrado historicamente importantes, atualmente devido sobretudo ao aquecimento global e aos estoques de carbono. Testou-se neste trabalho a utilização do sensor HCR (High Resolution Câmera) na determinação do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), assim como na estimativa do IAF (Índice de Área Foliar) em diferentes fitofisionomias na área da FLONA Mário Xavier, Seropédica, RJ. Este sensor foi escolhido devido a sua gratuidade e alta resolução, além da incipiência de estudos que avaliem sua performance na análise da cobertura florestal, visto que esta é uma tecnologia recente. Fotografias-hemisféricas foram utilizadas na obtenção do IAF para validação dos dados, encontrando-se baixa correlação entre estes, devido à baixa acurácia dos métodos de referenciamento das parcelas e alto grau de abertura do dossel, expondo o sub-bosque e comprometendo a leitura da composição do dossel pelo sensor orbital.

Palavras chaves: Sensoriamento remoto, Fotografia-hemisférica, NDVI, classificação automatizada

## **ABSTRACT**

Vegetation is one of the natural resources that presents great dynamics. Availability of remote sensing data collected in orbit level due to sensors satellites allow monitoring natural and antropic changes in vegetation. In a global scale, forest cover changes have shown historical importance, principally nowadays due to global warming and carbon stocks. At the present work it was tested utilize of Sensor HCR for determination of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), as well as estimating IAF (Leaf Area Index) in different physiognomies on FLONA Mário Xavier, Seropédica, RJ. This sensor was chosen due to its price free apealing, high resolution and lack of studies that evaluate its performance analysing forest cover because this is a recent tecnologia. Hemispherical pictures were used to obtain IAF utilized as comparison parameter. It was found low correlation between IAF and NVDI due to low accuracy of plot referencing methods and high degree of canopy openness, exposing low forest layer and compromising composition reading of higher canopy by the orbit sensor.

**Key-words:** Remote sensing, Hemispherical-pictures, NDVI, automotized classification

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1. Índice de Vegetação .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 Índice de área foliar.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2.1 Métodos Diretos.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2.2 Métodos Indiretos.....</b>	<b>5</b>
<b>3.3 Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2.2 Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC - High Resolution Camera).....</b>	<b>6</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>7</b>
<b>4.1. Área de estudo.....</b>	<b>7</b>
<b>4.2 Processamento Digital das Imagens.....</b>	<b>8</b>
<b>4.2.1 Índice de Vegetação.....</b>	<b>9</b>
<b>4.2.2 Índice de Área Foliar.....</b>	<b>10</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSAO.....</b>	<b>17</b>
<b>6. CONCLUSAO.....</b>	<b>25</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>26</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo.....	<b>07</b>
<b>Figura 2.</b> Imagem HRG juntamente com o limite da FLONA.....	<b>08</b>
<b>Figura 3.</b> Imagem do CCD em composição com as bandas 2, 3 e 4.....	<b>09</b>
<b>Figura 4.</b> Parcela referente aos pontos A e B.....	<b>11</b>
<b>Figura 5.</b> Parcela referente aos pontos C e D.....	<b>12</b>
<b>Figura 6.</b> Parcela referente aos pontos E e F.....	<b>13</b>
<b>Figura 7.</b> Parcela referente aos pontos G e H.....	<b>14</b>
<b>Figura 8.</b> Parcela referente aos pontos I e J.....	<b>15</b>
<b>Figura 9.</b> Parcela referente aos pontos K e L.....	<b>16</b>
<b>Figura 10.</b> Imagem gerada com a fusão das imagens dos sensores CCD e HRC.....	<b>17</b>
<b>Figura 11.</b> Detalhe da imagem gerada com a fusão das imagens dos sensores CCD e HRC.....	<b>18</b>
<b>Figura 12.</b> NDVI da imagem do sensor CCD do CBERS referente à área da FLONA.....	<b>19</b>
<b>Figura 13.</b> Histograma indicando distribuição dos valores do NDVI.....	<b>20</b>
<b>Figura 14.</b> Locais fotografados e classes de uso do solo identificado pela classificação automatizada.....	<b>21</b>
<b>Figura 15.</b> Fotos hemisféricas dos pontos A ao F.....	<b>23</b>
<b>Figura 16.</b> Fotos hemisféricas dos pontos G ao L.....	<b>24</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características técnicas dos sensores do satélite CBERS 2B.....	<b>05</b>
<b>Tabela 2.</b> Localização dos pontos fotografados.....	<b>10</b>
<b>Tabela 3.</b> Valores dos números digitais da imagem resultante do NDVI em relação à cobertura do solo.....	<b>20</b>
<b>Tabela 4.</b> Valores comparativos entre os dois métodos indiretos de obtenção do IAF.....	<b>22</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Na busca por melhores resultados no monitoramento e gerenciamento ambiental, tem sido cada vez maior a aplicação do Geoprocessamento e de técnicas de Sensoriamento Remoto. Parte disso se deve ao rápido avanço dos hardwares e softwares, que permitem formas mais eficientes de tratamento digital das imagens, bem como uma disponibilização cada vez maior de imagens orbitais com melhor resolução espacial e a menores custos, quando não de forma gratuita.

Atualmente existem várias séries de satélites com diferentes características, dos quais se podem destacar os mais utilizados no Brasil: LANDSAT, SPOT, CBERS, IKONOS, QUICKBIRD e NOAA. Os satélites das cinco primeiras séries são destinados ao monitoramento e levantamento de informações a cerca da superfície terrestre, em especial dos recursos naturais, enquanto que os satélites NOAA fazem parte dos satélites meteorológicos, destinados principalmente aos estudos climáticos e atmosféricos (FIGUEIREDO, 2005).

Uma das principais aplicações dos dados orbitais no estudo da vegetação é o uso de índices que determinam o nível de cobertura do solo pelas florestas, relacionando-os com o índice de área foliar, estimativa da fitomassa e estimativa da atividade fotossintética ativa (USTIN et al, 1999; GOMES, 2006). Essa relação tem possibilitado o uso desses índices em vários modelos para estudo da fotossíntese, do fluxo do carbono, do balanço da água e de processos relacionados (USTIN *et al.*, 1999).

O índice de vegetação quando obtido por técnicas de sensoriamento remoto, resulta da combinação de valores de reflectância em dois ou mais intervalos de comprimento de onda, possuindo uma relação com a quantidade e o estado da vegetação em uma dada área da superfície terrestre. Em função disto, uma característica inerente aos índices de vegetação é a redução no volume dos dados a ser analisado, pois praticamente toda a informação referente à vegetação fica resumida a somente um valor numérico. Este fato facilita o monitoramento e o estudo do crescimento/desenvolvimento da vegetação, e, também, uma eventual inserção dessa informação em modelos agrometeorológicos-espectrais de estimativa de rendimento de culturas agrícolas (RIZZI, 2004; JUNGES et al, 2007).

Os índices de vegetação são produtos que podem ser obtidos de diferentes maneiras, a partir de equações distintas. Entre os mais utilizados destacam-se: o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) e o Índice de Realce da Vegetação (*Enhanced Vegetation Index* - EVI) (JUNGES et al, 2007).

## **2. OBJETIVOS**

Analisar o NDVI gerado pela reflectância da cobertura florestal, assim como a relação entre os valores de IAF obtidos através do processamento de imagens oriundas do sensor HRC do sistema CBERS-2B, e pelo método da fotografia-hemisférica, para diferentes formações florestais presentes na área da Floresta Nacional Mário Xavier, no município de Seropédica, RJ.

Tendo como objetivos específicos:

- Efetuar fusão de imagens de alta com de baixa resolução geométrica;
- Determinar o índice de área foliar da área selecionada.
- Avaliar a capacidade e possível utilidade desta tecnologia como alternativa para a análise da cobertura vegetal no monitoramento e gerenciamento ambiental.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

Estudos sobre a estrutura, distribuição e evolução temporal das florestas e seus remanescentes, originalmente eram inteiramente baseados em extensivos trabalhos de campo. Com o avanço tecnológico começaram a serem utilizadas fotos aéreas e, posteriormente as imagens de satélite. Ambas permitem uma avaliação mais ampla e rápida da cobertura florestal, necessária tanto para pesquisas como para ações de fiscalização e tomadas de decisão, principalmente no âmbito da legislação ambiental. Além disso, esses dados podem servir de base para uma atuação mais específica, a fim de aprimorar a localização, distribuição e a área de abrangência dos trabalhos de campo.

Segundo LILLESAND & KIEFER (2000), sensoriamento remoto é a ciência e a arte de obter informação sobre objetos, áreas ou fenômenos através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com os próprios. Estes objetos de interesse, como a vegetação, são genericamente denominados de *alvos* (ERBERT, 2001). As informações geradas são obtidas através da interação da radiação eletromagnética emitida por fontes naturais (Sol) ou artificiais (Radar) com estes alvos.

Desta forma, a função de um sensor remoto consiste em captar e medir a quantidade de energia refletida e/ou emitida por alvos, e assim obter informações sobre a natureza e/ou condições destes alvos, de maneira a associá-los com o mundo real (CENTENO, 2004). A reflectância das plantas se dá principalmente pela interação entre a energia solar e os pigmentos contidos nas folhas. A clorofila absorve bem a energia na faixa de comprimento de onda entre 0,45 e 0,67  $\mu\text{m}$ . Porém, há uma forte reflectância da vegetação saudável na faixa do infravermelho (0,7  $\mu\text{m}$ ), resultado da estrutura interna das folhas (LILLESAND & KIEFER, 2000). Por isso, sensores que trabalham nesta faixa de comprimento de onda, conseguem captar alterações ocasionadas por estresse hídrico, ataque de praga ou doença.

Segundo Ponzoni (1993), pelo fato da refletância espectral ser ainda a propriedade mais explorada nas pesquisas em sensoriamento remoto dos recursos naturais, este monitoramento pode ser realizado por meio de um acompanhamento da dinâmica da mesma. Ainda segundo este autor, tem sido desenvolvido modelos de reflectância da vegetação que tentam estabelecer uma conexão lógica entre os parâmetros biofísicos dos dosséis (Índice de Área Foliar-IAF, entre outros) com suas reflectâncias espectrais.

A importância dos parâmetros biofísicos está no fato deles caracterizarem a arquitetura de um dossel, cuja dinâmica é intensa, fato que dificulta seu estudo e descrição (WELLES, 1990; SOUSA et al, 1996). Esses parâmetros apresentam modelos próprios de reflectância que e podem ser determinados através de métodos diretos ou indiretos. A escolha do método a ser utilizado deve considerar fatores como: as características morfológicas dos elementos a serem medidos, a acurácia exigida, a quantidade de material amostrado, o tempo, material e recursos disponíveis (DAUGHTRY, 1990; SOUSA et al, 1996). Outro fator importante é o tipo de imagem orbital a ser utilizada. Nesse contexto, atualmente o mercado possui disponível vários sistemas de satélites que fornecem imagens de diferentes características, com aplicações específicas. A forma de aquisição destas imagens também varia, com destaque para aquelas gratuitas e que apresentam alta resolução espacial, como é o caso das imagens do sensor HRC, do satélite CBERS.

### **3.1. Índices de vegetação**

Segundo Moreira & Shimabukuro (2004), na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação, sendo quase todos obtidos de medidas da reflectância nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Entre esses, o mais utilizado em pesquisas relacionadas à dinâmica da cobertura vegetal, tais como acompanhamento e avaliação de rendimento de culturas e agricultura de precisão é o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) (PONTES, 2005).

Esse índice combina as bandas do vermelho e do infravermelho. Essa combinação permite uma clara distinção das áreas florestadas, pois esse tipo de cobertura é altamente absorvido na faixa correspondente ao vermelho e fortemente refletido na faixa do infravermelho. O contraste entre essas faixas do espectro gera uma nova imagem onde os valores digitais variam entre -1 e 1, encontrando-se a vegetação associada aos valores positivos. Materiais que refletem mais intensamente na porção do vermelho em comparação com o infravermelho próximo (nuvens, água e neve) apresentam NDVI negativo. Solos descobertos e rochas refletem o vermelho e o infravermelho próximo quase na mesma intensidade, por conseguinte, seu NDVI aproxima-se de zero (RIZZI, 2004).

### **3.2. Índice de área foliar**

A variável biofísica, índice de área foliar (IAF) é definida como total de área foliar por área de superfície do terreno (WATSON, 1947), estando diretamente relacionada com a evapotranspiração (ROSENBERG et al., 1983), sendo a principal variável de entrada descritora da vegetação (RUNNING & COUGHLAN, 1988). O IAF também está diretamente relacionado com a capacidade de interceptação da chuva pelo dossel (KERGOAT, 1998).

Vários trabalhos apresentam diferentes métodos para estimar o IAF e outros parâmetros da estrutura da vegetação (BRÉDA, 2003). As técnicas de sensoriamento remoto têm-se mostrado ferramentas viáveis, com resultados mais rápidos e em escala regional, com nível aceitável de exatidão. Uma das formas mais simples de relacionar dados de sensoriamento remoto com IAF é por meio de índices de vegetação (TURNER et al, 1999; XAVIER et al, 2004).

Existem métodos diretos e indiretos para sua obtenção.

#### **3.2.1 Métodos Diretos**

Considerando o IAF, os métodos diretos consistem na obtenção das medidas de interesse (áreas) diretamente das folhas. Normalmente garantem uma acurácia satisfatória, sendo geralmente utilizados para calibração de outros métodos. Porém, são demorados e trabalhosos, dependendo da área abrangida e da vegetação em estudo (GOEL E NORMAN, 1990). Segundo Daughtry (1990), são cinco os métodos diretos para estimativa do IAF: método de contorno da folha; método de comparação com formas e tamanhos padrões; método baseado nas medidas lineares; método baseado na relação entre massa e área foliar e método da planimetria óptica (SOUSA et al, 1996).

### 3.2.2 Métodos Indiretos

Com o desenvolvimento de novas técnicas, surgiram os chamados métodos indiretos, nos quais as áreas são calculadas indiretamente a partir de valores de radiância. São mais rápidos e eficientes que os métodos diretos, porém a acurácia nem sempre é satisfatória, além de exigir uma aparelhagem especial, fator que aumenta seu custo (GOEL E NORMAN, 1990; SOUSA et al, 1996). O princípio é basicamente o mesmo, ou seja, medidas radiométricas que fornecem dados de clareira do dossel são utilizadas para estimar o IAF. Estes métodos indiretos incluem a fotografia hemisférica, o LAI-2000 e os produtos orbitais (SOUSA et al, 1996).

### 3.3 Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

Em 1999 foi lançado o primeiro dos satélites CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite), construído através de um consórcio dos programas espaciais da China e Brasil. Este satélite estava munido de três sensores concebidos para o monitoramento da cobertura vegetal em diferentes escalas. Entre estes, destaca-se o CCD (Charge Coupled Device - Câmera Imageadora de Alta Resolução), com 20 m de resolução, uma banda pancromática e bandas no azul, verde, vermelho, infravermelho próximo (EPIPHANIO, 2005).

O CBERS-2 foi lançado em outubro de 2003 de forma a dar continuidade a coleta de dados ambientais, visto que o seu antecessor tinha apresentado problemas técnicos. Possui os mesmos sensores do CBERS, e tendo sua vida útil prevista para dois anos, ainda está em funcionamento, onde tem sido utilizado nas mais diversas aplicações (MARTINS & SOUZA FILHO *et al.*, 2006).

Em função do sucesso obtido com esses dois primeiros satélites, em 2007 foi lançado o CBERS-2B, o qual, além dos sensores CCD e WFI (Wide Field Imager, com duas bandas – vermelho e infravermelho, com 260 m de resolução espacial), também traz o sensor HRC (High Resolution Camera - Câmera Pancromática de Alta Resolução), com resolução espacial de 2,5 m.

As principais características técnicas dos sensores do CBERS 2B estão sumarizadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características técnicas dos sensores do satélite CBERS 2B

Especificações	CCD	WFI	HRC
Bandas Espectrais ( $\mu\text{m}$ )	0,51 - 0,73 (pan) 0,45 - 0,52 0,52 - 0,59 0,63 - 0,69 0,77 - 0,89	0,63 - 0,69 0,76 - 0,90	0,50 - 0,80 (pan)
Campo de Visada	8,3°	60°	2,1°
Resolução Espacial (m)	20	260	2,7
Res. Temporal (Nadir):	26 dias	3 - 5 dias	130
Res. Temporal (Fora do Nadir):	3 dias (+/- 32°)	-	
Largura da Faixa Imageada	113 km	890 km	27 km

Fonte: (INPE, 2008)

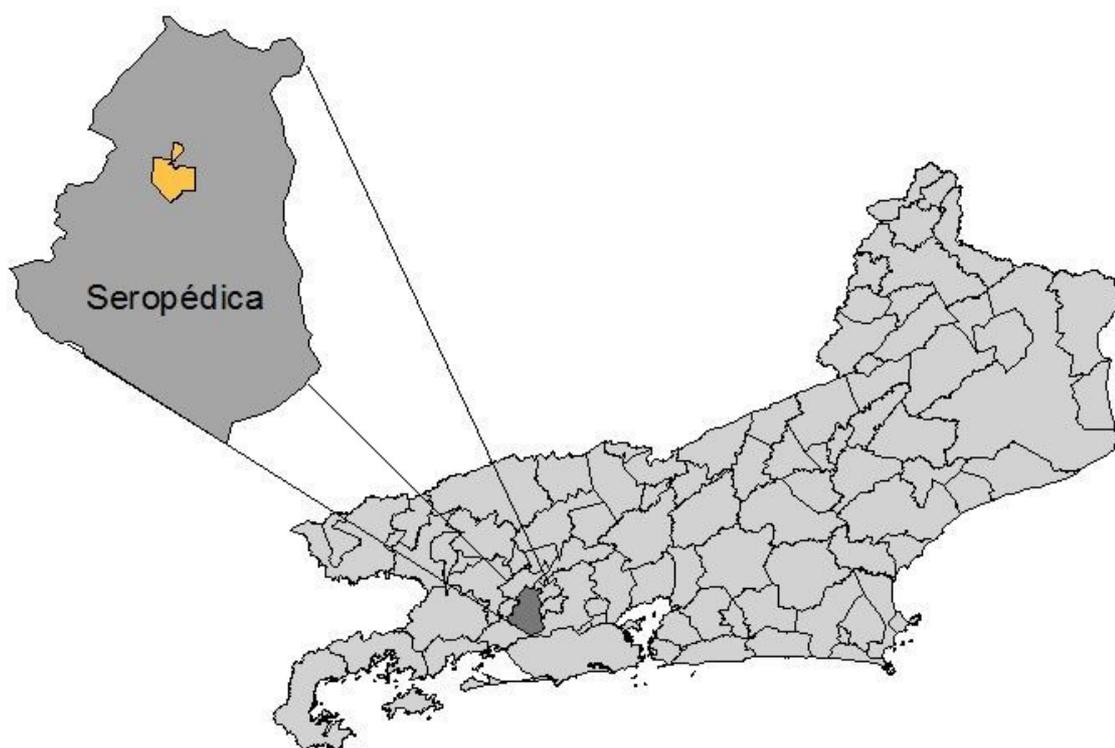
### **3.3.1 Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC - High Resolution Camera)**

A câmera HRC opera numa única faixa espectral, que cobre o visível e parte do infravermelho próximo. Produz imagens que permitem a observação com grande detalhamento dos objetos da superfície. Como sua faixa de cobertura é de 27 km, serão necessários cinco ciclos de 26 dias para que os 113 km padrão da CCD sejam cobertos pela HRC. Assim, a cada 130 dias será possível ter uma cobertura completa do país, para ser correlacionada com aquela obtida pela câmera CCD, que neste período terá coberto o país por cinco vezes (INPE, 2008).

## 4. MATERIAL E MÉTODO

### 4.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Floresta Nacional Mário Xavier, que tem área aproximada de 500 ha, localizando-se no município de Seropédica, RJ.



**Figura 1.** Localização da área de estudo.

A Floresta Nacional Mário Xavier sucedeu a Estação de Experimentação Florestal Engenheiro Agrônomo Mário Xavier que, durante anos, foi uma referência no cenário florestal do Estado do Rio de Janeiro, na produção de mudas de essências nativas. Criada em 8 de outubro de 1986, através do Decreto 93.369, com uma área de 493 ha (SIMÕES, 2007).

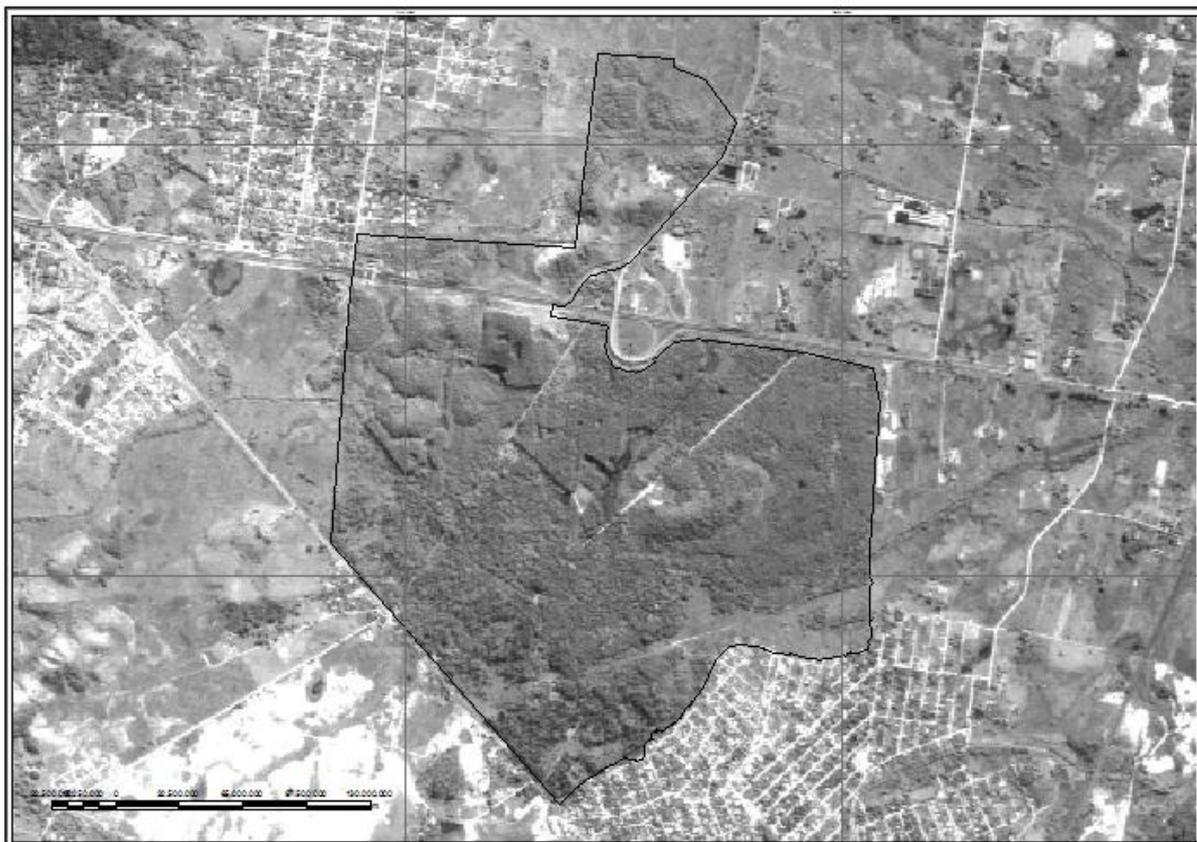
A FLONA Mário Xavier está localizada no triângulo formado pela interseção das rodovias Presidente Dutra e antiga BR467, no Município de Seropédica, RJ, com uma altitude média de 33 m e clima Aw (segundo Köppen), com chuvas concentradas no período de novembro a março e déficit hídrico de julho a setembro, precipitação anual média 1213 mm e temperatura média anual de 24,5°C (SIMÕES, 2007).

No ano de 1946 foram implantados 17 talhões de 1,0 hectare cada, com espécies florestais exóticas e nativas com a finalidade de recomposição de solos degradados e posteriormente formação de um banco de sementes (FERNANDES, 2005). O único remanescente em bom estado de conservação desses plantios é o talhão de sapucaia (*Lecythis pisonis Cambess*), este aparentemente nunca sofreu desbaste e praticamente não apresenta sub-bosque, sendo uma característica bastante peculiar da área (SIMÕES, 2007).

SANTOS (1999) dividiu a vegetação da Floresta Mário Xavier em 11 estratos (tipos de vegetação), utilizando-se como critérios básicos para subdivisão, a estrutura, a composição florística, e a fisionomia da vegetação resultante nas diferentes áreas existentes. Foram definidos os seguintes estratos: Eucaliptos e Nativas, Nativas, Cultivadas e Nativas, Frutíferas, Sapucaia, Arboreto, Pinus, Eucaliptos, Taboa, Bárbara e áreas descampadas.

#### 4.2 Processamento digital das imagens

Foi utilizada uma imagem do sensor HRC do CBERS de órbita 151 e ponto 125, de 28/05/2008 (Figura 2). Esta imagem está no modo pancromático, em tons de cinza que variam de 0 a 255 DN. Para melhorar o contraste da imagem foi aplicado um filtro de passa alta (filtro de convolução). O filtro passa-altas elimina as baixas frequências espaciais na imagem, deixando apenas as altas frequências, normalmente expressas por bordas ou limites entre áreas de diferentes valores de níveis de cinza (CROSTA, 1993). Como regra geral, um filtro passa-altas realça as feições de dimensões menores do que a dimensão da máscara usada. Foi utilizado uma máscara de 3 x 3 pixels, com um valor do pixel central de 8, e o valor de -1 para os pixel exteriores.



**Figura 2.** Imagem HRG juntamente com o limite da FLONA.

Para realizar o ajuste geométrico da imagem foi utilizado o programa ArcMap 9.2 a partir de pontos de controle coletados com o GPS diferencial PORMARK II e pós-processado no programa Ashtech Solution 2.6.

Para a fusão de bandas de imagens do CBERS 2B foi utilizado uma composição colorida de imagens do sensor CCD com as bandas 2 (0,52  $\mu\text{m}$  - 0,59  $\mu\text{m}$ ), 3 (0,63  $\mu\text{m}$  - 0,69

$\mu\text{m}$ ) e 4 ( $0,77 \mu\text{m} - 0,89 \mu\text{m}$ ) (Figura 3), de baixa resolução espacial juntamente com a imagem HRC (alta resolução espacial) da mesma área. Para isso a imagem do CCD foi recortada para o mesmo tamanho da imagem HRC e posteriormente as mesmas foram corrigidas geometricamente utilizando o método de ajuste imagem-imagem. Todos os procedimentos foram realizados no programa ENVI 4.5.

Inicialmente a imagem colorida foi convertida para o sistema HSV e a componente S foi substituída pela imagem de alta resolução (HRC). A nova imagem foi revertida ao sistema RGB numa composição colorida realçada no formato Tiff.



**Figura 3.** Imagem do CCD em composição com as bandas 2, 3 e 4.

#### 4.2.1 Índice de vegetação

Foi utilizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), cuja fórmula é dada por:

$$NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_v)$$

Onde:  $\rho_{ivp}$  = a reflectância no infravermelho próximo;  
 $\rho_v$  = a reflectância no vermelho.

Esse índice foi aplicado na imagem do sensor CCD do CBERS, onde 4 bandas do espectro (3 do visível e 1 do infravermelho próximo) foram combinadas no módulo *Layer Stack* do programa ERDAS 9.1.

#### 4.2.2 Índice de área foliar

Dentro da área da FLONA foram escolhidas áreas revestidas com diferentes formações florestais para este estudo.

Esse índice foi obtido por meio de dois métodos, sendo ambos indiretos. Primeiro utilizando a classificação automatizada da imagem, que foi realizada no programa ENVI 4.5 utilizando o algoritmo K-média, com 10 classes, Threshold de 5% e duas interações. O resultado foi convertido para o formato TIFF.

O segundo método foi através de fotografias digitais esféricas. Estas foram tomadas a cada 10 m dentro das parcelas de 100 × 100 m a uma altura de 0,80 m a 1,50 m, com o auxílio de um tripé de alumínio com bolha de nível. Foi utilizada câmera digital Sony® modelo DSC-W120, equipada com objetiva *Carl Zeiss*, com ampliação × 0,21 e ângulo de visada de 183°. As fotografias foram tiradas em dias nublados para evitar as manchas de luz devido ao sol e os reflexos provocados pelas folhas. Todas as coordenadas dos locais foram levantadas com GPS Garmim Etrex Cx. As fotografias foram tratadas pelo software *Area Measure (AreaMeas)* Ver. 1.01 Rev. 2.

Utilizando os pontos referentes aos locais fotografados, foi gerado um buffer de raio de 30 metros para extrair os dados referentes ao IAF obtido a partir da imagem do HRC.

Os locais fotografados hemisfericamente foram selecionados na tentativa de cobrir as diferentes feições arbóreas presente na área, totalizando 12 pontos (Tabela 3), sempre com duas fotografias por fisionomia.

**Tabela 2.** Localização dos pontos fotografados

PONTOS	E	N
A	632460,70	7485852,80
B	632417,26	7485782,87
C	632503,32	7485946,44
D	632257,33	7486053,77
E	632730,27	7486495,09
F	632694,88	7486546,50
G	633224,78	7486112,76
H	633316,76	7486177,62
I	633045,50	7485515,00
J	633026,59	7485553,12
K	632523,39	7485892,34
L	632551,78	7485908,37

A seguir serão descritos os locais selecionados para esse estudo, todos localizados no interior da FLONA.

## Pontos A e B

Fragmento apresentando dossel predominantemente composto por árvores do gênero *Eucalyptus*, sobressaindo-se a espécie *E. citriodora*. Dossel espaçado, com cerca de 20 a 25 metros de altura, permitindo a entrada abundante de luz. Os indivíduos de eucaliptos apresentam-se bastante espaçados, e pouco sofrendo com a competição de outras espécies arbóreas. Seu sub-bosque é denso e, apesar de apresentar alguns indivíduos arbóreos regenerantes, é dominado por ervas, cipós e lianas lenhosas, espécies que são favorecidas pela entrada de luz (Figura 8).



**Figura 4.** Parcela referente aos pontos A e B.

## Pontos C e D

Este fragmento é considerado um remanescente de mata nativa bem preservado nesta área, com predominância de espécies típicas da Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas. Entretanto, existem diversas espécies frutíferas em sua composição florística, provavelmente fruto da dispersão humana, de aves e da mastofauna, visto que frutos de árvores como o jamelão, goiaba e jabuticaba são muito apreciadas por estas espécies. Esta é a mais preservada das áreas estudadas. Seu dossel é relativamente fechado, estando presentes e bem definidos os estratos arbustivo e arbóreo. Seu sub-bosque denso, devido à regeneração de espécies arbóreas nativas, e o dossel bem fechado permitem pouca entrada de luz, dificultando o crescimento de um estrato herbáceo denso (Figura 10).



**Figura 5.** Parcela referente aos pontos C e D.

## Pontos E e F

Esta área é um remanescente composto predominantemente por *Eucalyptus* sp., visto tratar-se de um povoamento desta espécie. O espaçamento utilizado para as covas foi de 3 x 2 metros. O local apresenta um dossel homogêneo, mesmo havendo muitas falhas e rebrotas. Não há um sub-bosque definido, restando apenas uma vegetação com característica estrutural homogênea, herbácea e abundante (Figura 11).



**Figura 6.** Parcela referente aos pontos E e F.

## Pontos G e H

Este local possui declividade acentuada devido ao relevo predominante desta área da Flona Mário Xavier. A vegetação densa, típica de florestas ombrófilas de encosta, é aparentemente bem conservada. O remanescente apresenta árvores de médio porte e também uma boa quantidade de lianas lenhosas, que se emaranham até as copas mais altas. O crescimento destas lianas é favorecido pela inclinação do relevo na área, o qual permite entrada de luz até o sub-bosque, mesmo a vegetação arbórea sendo densa. Essa característica é típica de encostas devido à estrutura em escada que assume o dossel superior. A entrada de luz até o sub-bosque permite que este seja denso, composto por muitos indivíduos arbóreos regenerantes e lianas lenhosas de pequeno e médio porte. Esta vegetação adensada próxima ao solo bloqueia boa parte da luz, a qual alcança o solo em pequenas quantidades, dificultando o crescimento de espécies herbáceas na área (Figura 12).



**Figura 7.** Parcela referente aos pontos G e H.

## Pontos I e J

Esta área é um talhão com 1 ha de sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess) em espaçamento de 2 x 2 metros. O povoamento possui altura predominante entre 10 e 15 metros. O fato de todos os indivíduos terem sido plantados ao mesmo tempo propiciou uma vegetação homogênea, com copas próximas, formando um dossel homogêneo e fechado. Aparentemente esta espécie possui algum tipo de efeito alelopático sobre outras, considerando que existe apenas o estrato arbóreo nesta área. Entretanto, esta peculiaridade também pode ser decorrente da pouca entrada de luz devido ao dossel bem fechado (Figura 13).



**Figura 8.** Parcela referente aos pontos I e J.

## Pontos K e L

Este local é um talhão de *Pinnus* sp. aparentemente abandonado com aproximadamente 0,2 ha. O dossel superior está a cerca de 18 metros de altura do solo e suas árvores são espaçadas e bem individualizadas. Considerando as características do dossel, existe uma entrada de luz considerável na área. Esta favorece o estabelecimento de espécies herbáceas no sub-bosque, além de espécies trepadeiras, como lianas lenhosas de pequeno porte. Apesar de haver uma regeneração de espécies arbóreas, esta ocorre de forma bem discreta e a paisagem que predomina é aquela composta por espécies herbáceas, arbustivas e trepadeiras, dificultando o livre trânsito pelo sub-bosque desta área.



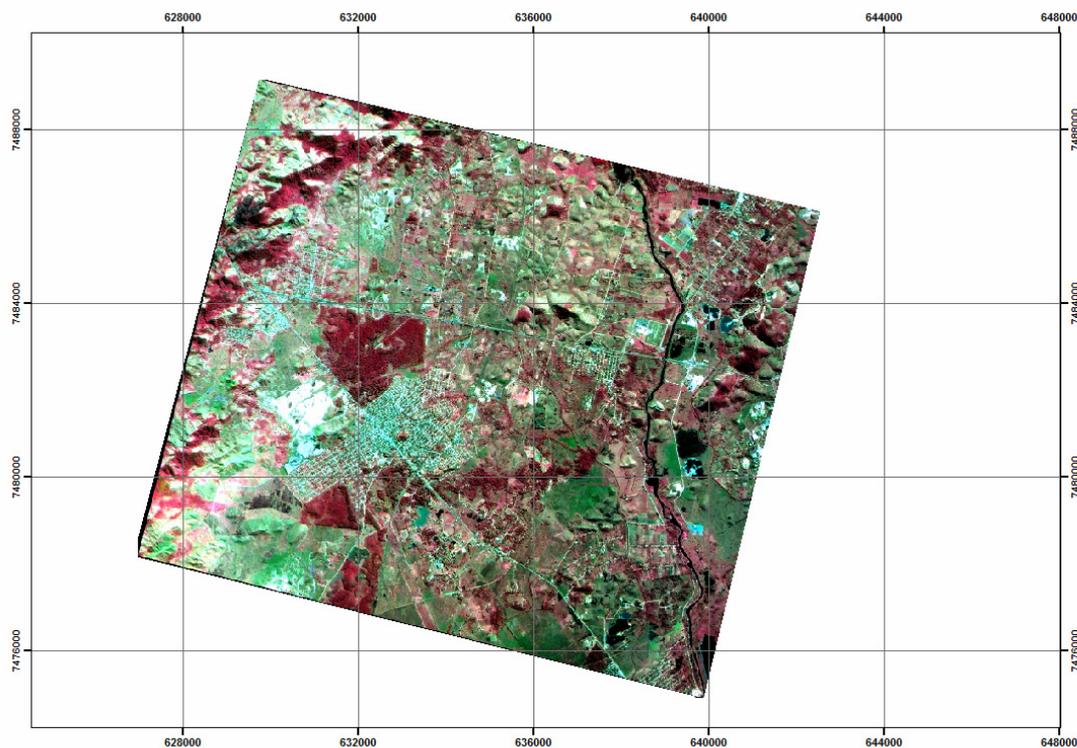
**Figura 9.** Parcela referente aos pontos K e L.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

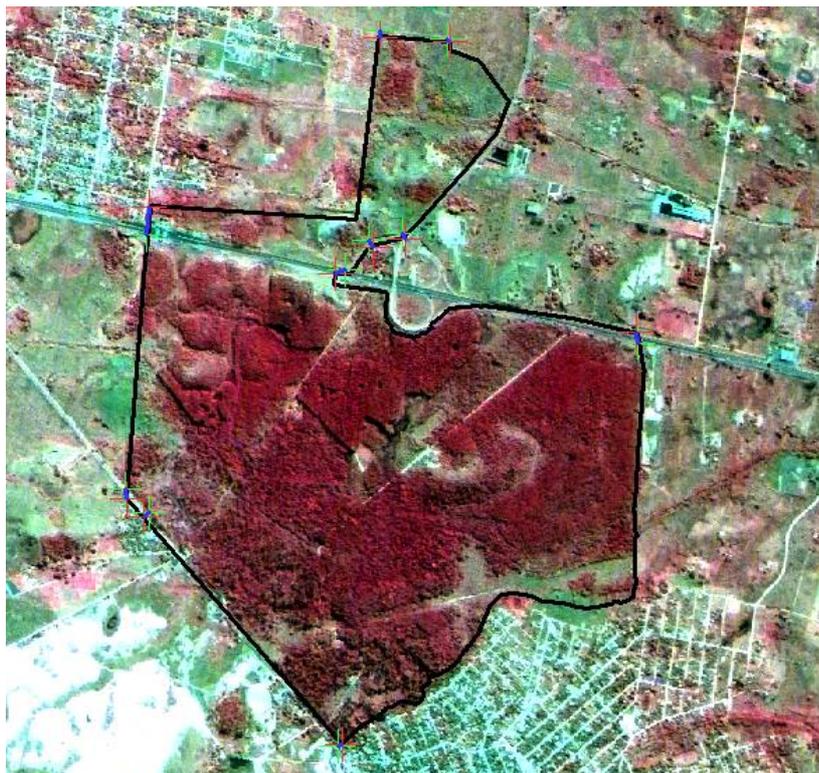
As primeiras cenas do sensor HRC foram disponibilizadas a partir de agosto de 2008 e poucos trabalhos de pesquisa foram realizados utilizando esse tipo de imagem. Portanto, seus parâmetros técnicos ainda estão em fase de avaliação, sendo necessário que a comunidade científica realize pesquisas no sentido de determinar as verdadeiras potencialidades deste sensor.

Devido a sua alta resolução espacial, espera-se que seja utilizada em diversas áreas do conhecimento. Para estudos ambientais, além da resolução espacial e da gratuidade, outro fator relevante é a sua atualização, pois são disponibilizadas imagens recentes, com intervalos de 130 dias, permitindo avaliações em escala temporal de grande alcance quando associadas com o considerável acervo histórico de satélites como o LANDSAT MMS.

Em relação à fusão das imagens foi possível associar a resolução espectral da imagem multiespectral com a alta resolução espacial da imagem do sensor HRC, gerando uma imagem colorida (falsa cor) com as vantagens da resolução de 2,7 metros (Figuras 4 e 5).

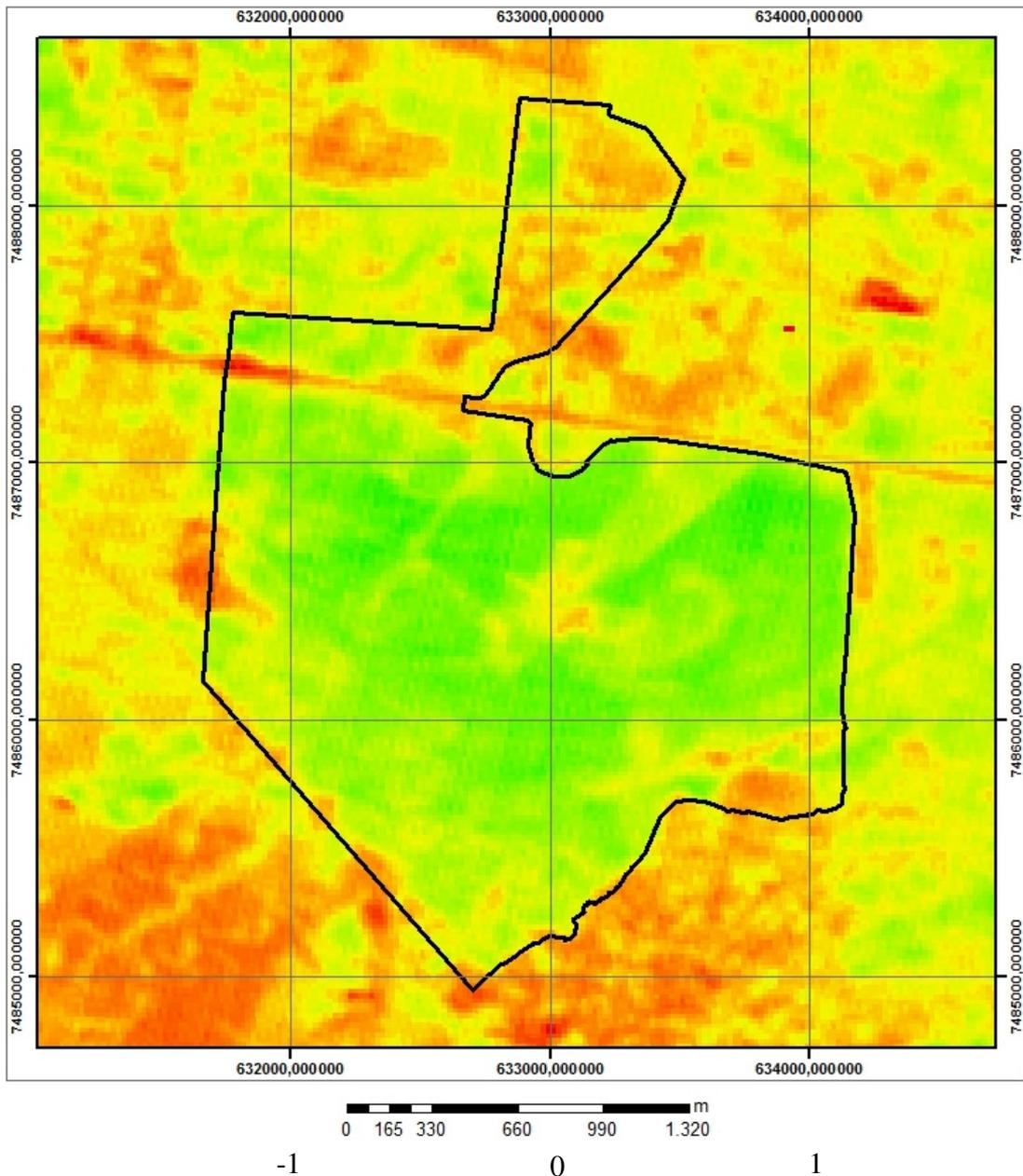


**Figura 10.** Imagem gerada com a fusão das imagens dos sensores CCD e HRC.



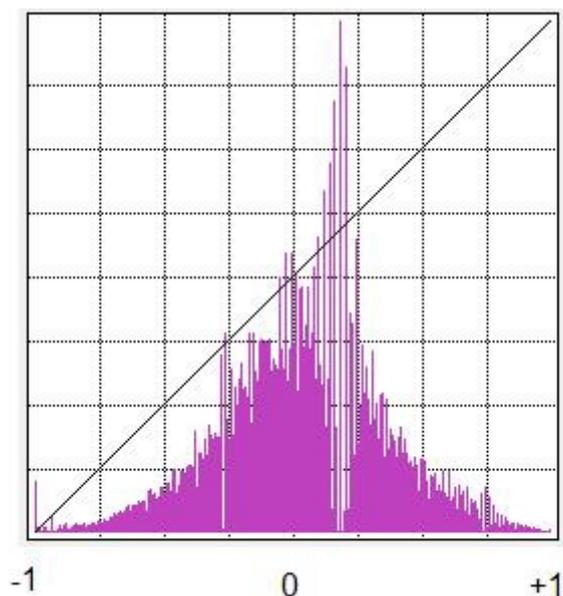
**Figura 11.** Detalhe da imagem gerada com a fusão das imagens dos sensores CCD e HRC.

O índice de vegetação ficou prejudicado tanto pela menor resolução espacial da imagem utilizada (20 m) como por problemas radiométricos da mesma, onde se percebem vários ruídos que afetam a qualidade da imagem. Ainda assim o resultado obtido demonstra diferenciação nos valores referente a cada tipo florestal.



**Figura 12.** NDVI da imagem do sensor CCD do CBERS referente à área da FLONA.

O valor médio do NDVI encontrado foi de 0,2894 (desvio padrão de 0,094) para toda a cena, indicando uma área com cobertura florestal moderada (Figura 7, Tabela 2). Já as áreas de eucalipto o valor médio foi de 0,5384, com valor superior ao da floresta com espécies nativas, que foi de 0,4832. Resultados semelhantes foram encontrados por Poelking *et al.* (2007).

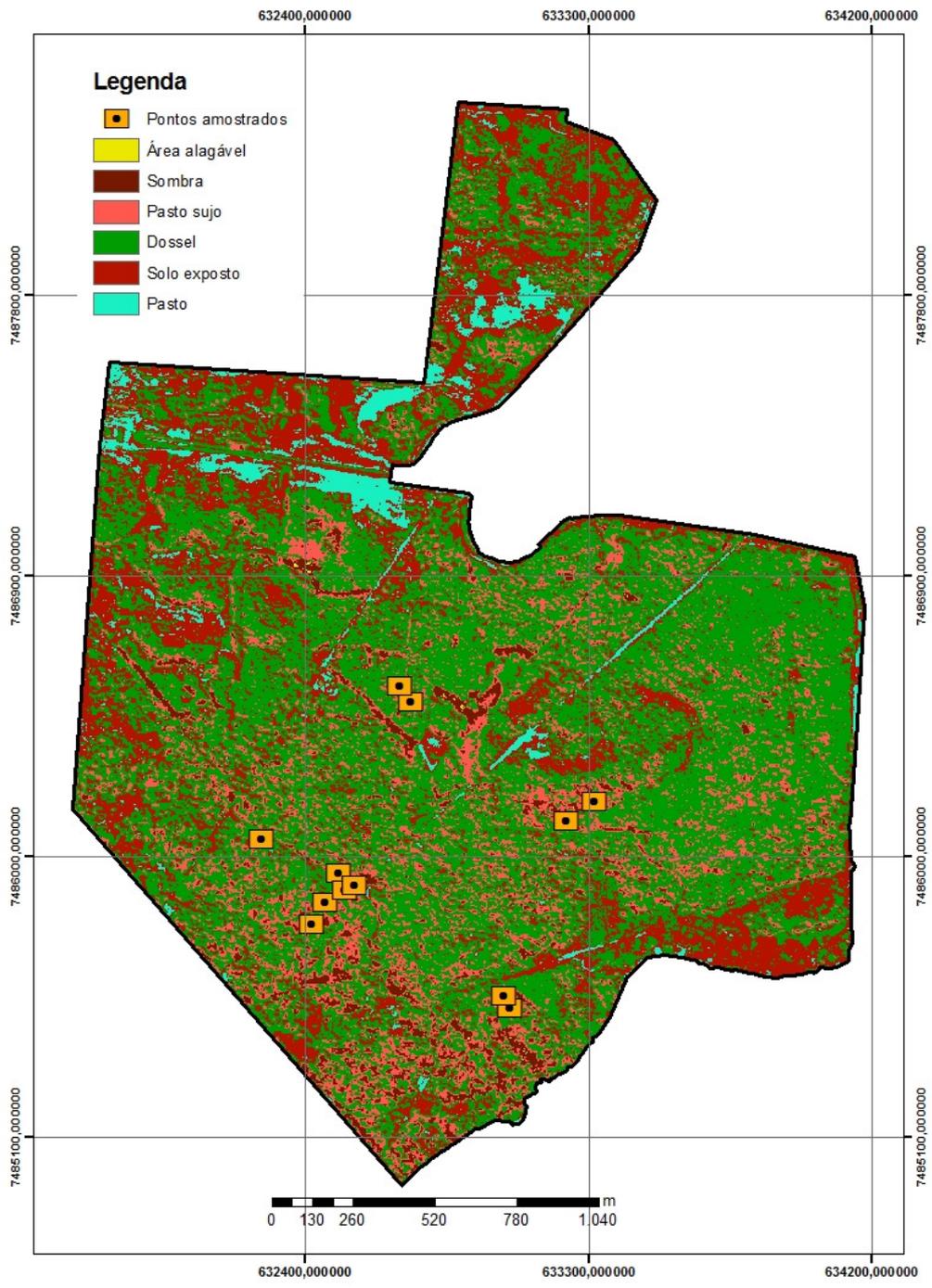


**Figura 13.** Histograma indicando distribuição dos valores do NDVI.

**Tabela 3.** Valores dos números digitais da imagem resultante do NDVI em relação à cobertura do solo.

<b>Classe de cobertura</b>	<b>Valor médio do NDVI</b>
Talhão de Eucalyptus sp	0,5384
Floresta Mista	0,3809
Floresta Nativa	0,4832
Pastagem	0,2351
Toda a área da cena	0,2895

A classificação não-supervisionada identificou seis classes de uso do solo com predomínio de cobertura florestal, aqui definida como dossel (Figura 8). Comparando a imagem resultante com mosaico de imagem IKONOS II, verificou-se grande concordância entre os padrões de ocupação. As classes de solo exposto e pastagem degradada apresentaram forte sobreposição entre elas.



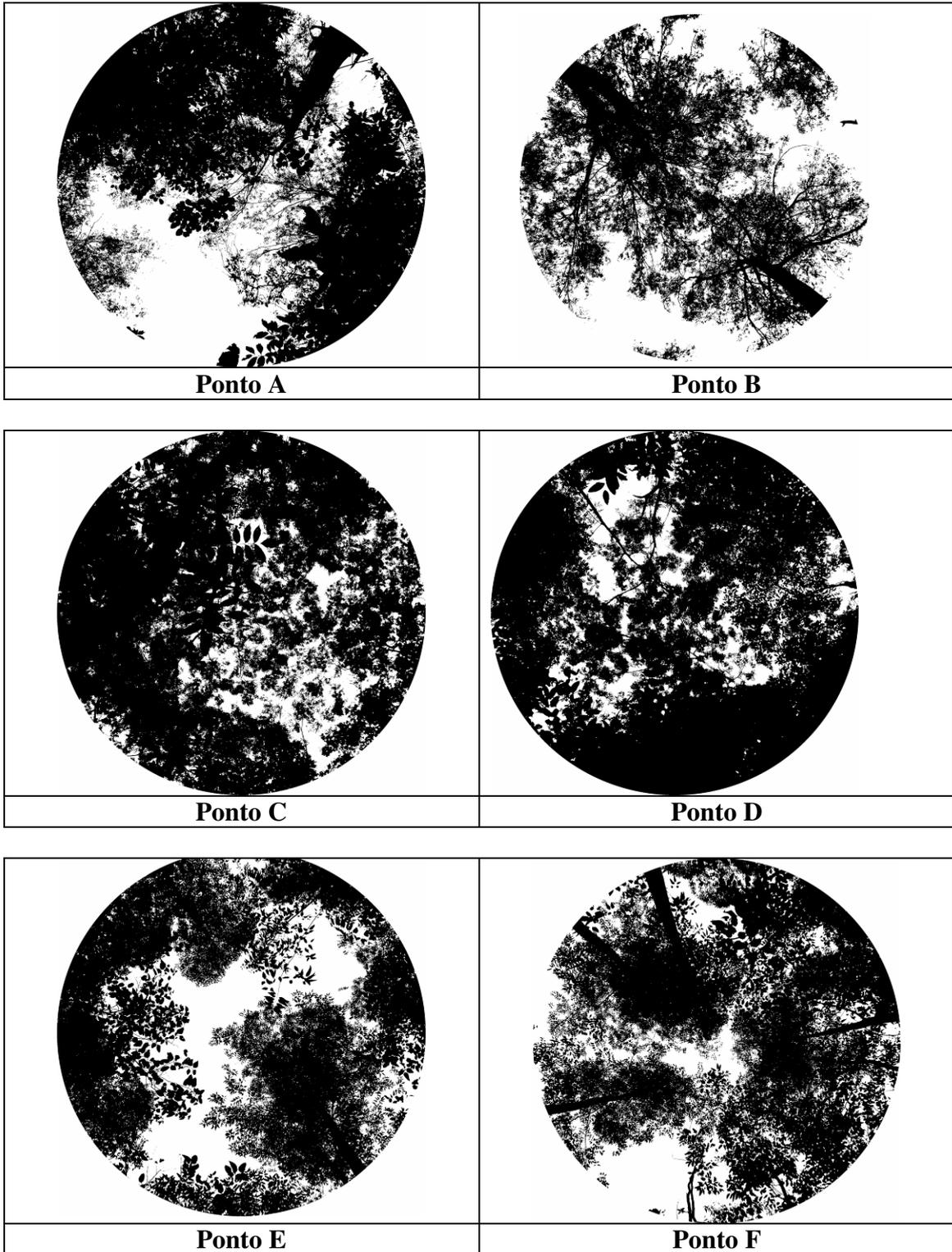
**Figura 14.** Locais fotografados e classes de uso do solo identificado pela classificação automatizada.

Os índices de área foliar (IAF) obtidos através das fotos hemisféricas quando comparados com aqueles gerados pela imagem HRC apresentaram semelhança significativa nos resultados relativos às áreas dos pontos A e B (Floresta Mista) e pontos I e J (Sapucaia) (Tabela 4, Figuras 15 e 16). No caso da sapucaia, este fato pode decorrer da homogeneidade do dossel nessa área. Já na Floresta Mista este resultado surpreende, pois o estrato arbóreo nesta área apresenta-se descontínuo, o que para alguns autores ocasionaria imprecisão na leitura pelo sensor. No geral apresentou correlação no valor de 0,13. A função gerada é  $y = 0,1895x + 55,824$ , porém apresentou  $R^2 = 0,14$ , pois os valores apresentaram-se bastante erráticos.

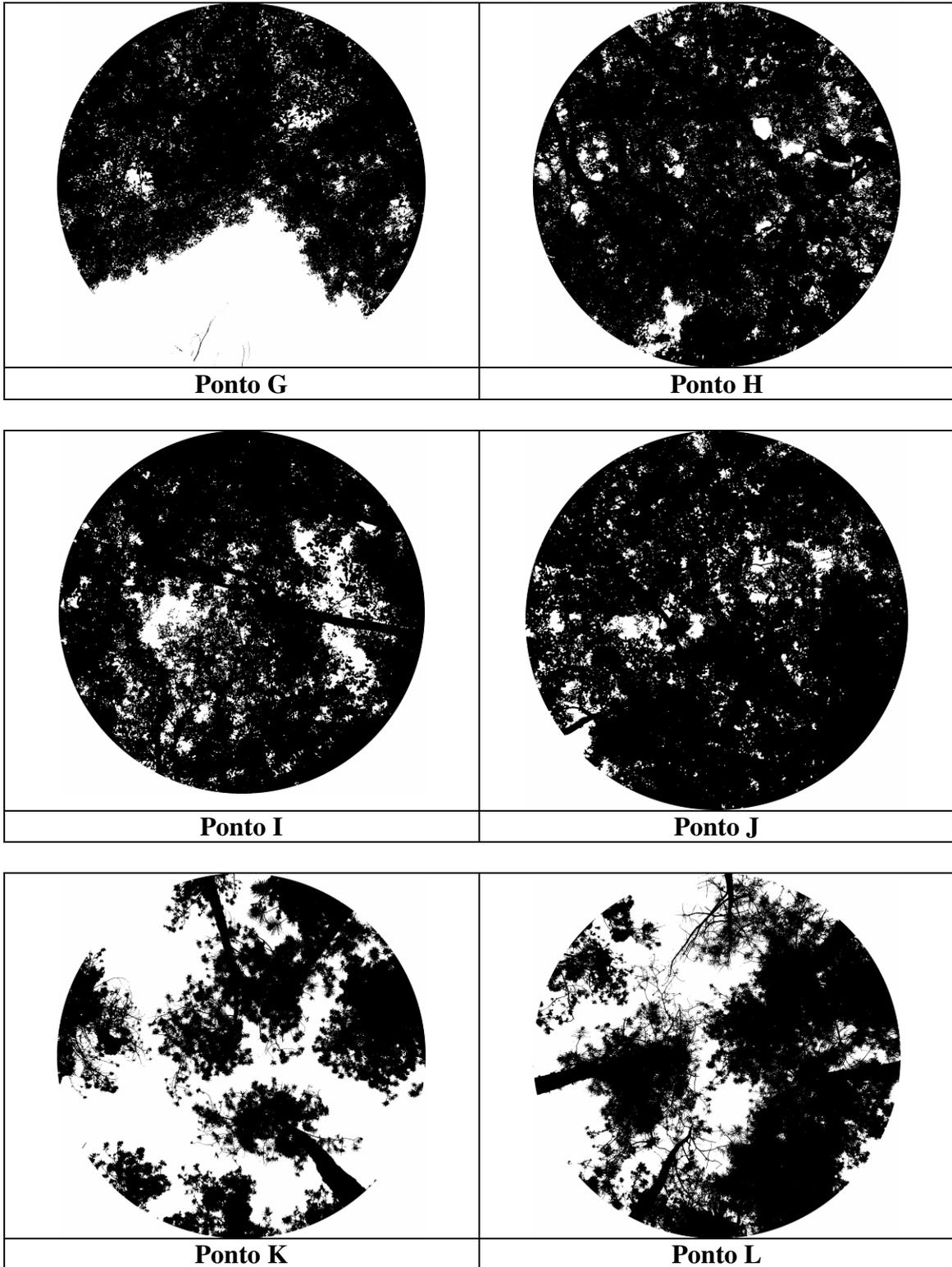
Parte destes valores discrepantes pode ser em função do tipo de equipamento de posicionamento por satélite utilizado, que foi do tipo navegação e que apresenta erro em torno de 40 a 50 metros. Outra possibilidade é a exposição do sub-bosque, que afeta diretamente o IAF gerado pela imagem orbital.

**Tabela 4.** Valores comparativos entre os dois métodos indiretos de obtenção do IAF.

<b>PONTO</b>	<b>IAF-HRC</b>	<b>IAF foto-hemisférica</b>
A	0,51	0,51
B	0,31	0,39
C	0,49	0,63
D	0,69	0,74
E	0,82	0,52
F	0,81	0,53
G	0,49	0,55
H	0,22	0,71
I	0,50	0,58
J	0,73	0,72
K	0,51	0,37
L	0,51	0,49



**Figura 15.** Fotos hemisféricas dos pontos A ao F.



**Figura 16.** Fotos hemisféricas dos pontos G ao L.

## 6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados alcançados, conclui-se uma baixa relação entre os valores de IAF calculados através do sensor HCR e da fotografia-hemisférica. Tendo o resultado mais próximo sido encontrado no talhão de Sapucaia, devido à densa cobertura vegetal formada por suas copas, aumentando a precisão do sensor.

A descontinuidade do dossel de algumas áreas, expondo o sub-bosque, assim como a imprecisão inerente ao método utilizado no georeferenciamento das parcelas, corroboram com a incompatibilidade nos valores do IAF obtidos pelos diferentes métodos.

Na fusão de imagens de alta com de baixa resolução geométrica, obteve-se bom resultado.

O NDVI encontrado para a Floresta Nativa superou o valor encontrado para a Floresta Mista, que possui árvores espaçadas, refletindo assim a realidade em campo. Entretanto, o valor de seu índice foi superado pelo do povoamento de *Eucalyptus* sp, que apresentou a composição de dossel mais integrada e densa dentre as fisionomias florestais avaliadas.

A utilização do sensor HCR na geração de índices de vegetação para análise ambiental mostra-se promissor. No entanto, é indicada a realização de novas pesquisas sobre o tema, recomendando-se o uso de GPS geodésico para determinação da localização das parcelas estudadas. Dentre estas pesquisas, salienta-se a importância de uma, que objetive a compreensão das diferenças nas estimativas do IAF, oriundas da análise das copas por distintas perspectivas. Estreitando a relação entre os resultados dos dois métodos, e aumentando a validade dos mesmos.

Como linha de pesquisa, esta apresenta-se como vasto campo a ser estudado, na medida que a obtenção das informações e estimativas são feitas através de métodos não destrutivos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRÉDA, N.J.J. 2003. **Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies.** *Journal of Experimental Botany* 54 (392): 2403–2417.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais.** Curitiba: Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 2004. 219 p.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** ed. rev. Campinas, IG/UNICAMP, 1993. 170p.

DAUGHTRY, C. S. T. **Direct measurements of canopy structure.** In: Goel, N. S., Norman, J. M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. *Remote sensing reviews*, 5 (1) : 45-60, 1990. cap. 4.

EIPHANIO, J.C.N. **Joint China-Brazil remote sensing satellites.** *GIM Int., Lemmer*, v. 19, n. 2, p. 68-71, 2005.

ERBERT, M. **O Uso da Análise Discriminante Regularizada (RDA) no Reconhecimento de Padrões em Imagens Digitais Hiperespectral de Sensoriamento Remoto.** 2001. Dissertação (Mestrado) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

FERNANDES, M.M.; PEREIRA, M.G.; MAGALHÃES, L.M.S.; CRUZ, A.R.; GIÁCOMO, R.G. **Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa cesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, V.16, n.2, p. 163 – 175.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**, 2005.

Disponível em:  
[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf).

GOEL, N. S., NORMAN, J. M. **Remote sensing and biophysical measurements of soils and vegetation.** In: Goel, N. S., Norman, J. M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. *Remote sensing reviews*, 5 (1) : 1-12, 1990. cap.1.

GOMES, M. F. **Avaliação de Dados RADARSAT-1 e CBERS-2 para Estimativa da Estrutura do Cerrado: uma abordagem utilizando dados alométricos e históricos,** Minas Gerais, 2006.

Site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE.  
<http://www.cbears.inpe.br/pt/programas/cbers1-2.htm> Acessado em 17/12/08.

JUNGES, A. H., ALVES, G., FONTANA, D. C., **Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS**, Florianópolis, 2007.

KERGOAT, L. **A model for hydrological equilibrium of leaf area index on a global scale.** *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.212-13, p.268–86, 1998.

LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation.** 4. ed. Nova York: John Wiley and Sons, Inc., 2000. 724 p.

MARTINS E SOUZA FILHO, P.W. et al. **Sensoriamento remoto e recursos naturais da Amazônia.** *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 58, n. 3, p. 37-41, 2006.

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

POELKING, E. L. **Aptidão, evolução e conflitos de uso das terras no município de Itaara, RS.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2007

PONTES, P. P. B. **Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). Goiânia. INPE. p.217 –224. 2005.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, 212 p. 2004.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate: the biological environment.** Washington: John Wiley, 1983. 459 p.

RUNNING, S.W.; COUGHLAN, J.C. **A general model of forest ecosystem processes for regional applications. I - Hydrological balance, canopy gas exchange and primary production processes.** *Ecological Modelling*, Amsterdam, v.42, p.125-54, 1988.

SANTOS, L.A.F. **Floresta Mário Xavier: Uma proposta de planejamento ambiental.** 1999. 299 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais)- Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SIMÕES, M. A. **Relações dendrométricas em Sapucaia (Lecythis pisonis Cambess) na Floresta Nacional Mário Xavier,** Seropédica, RJ. 2007.

SOUSA, C. L., PONZONI, F. J., **Considerações sobre transformação de dados orbitais para estimativas do índice de área foliar (IAF).** São José dos Campos 1996.

TURNER, D.P.; COHEN, W.B.; KENNEDY, R.E.; FASSNACHT, K.S.; BRIGGS, J.M. **Relationships between leaf area index and Landsat TM Spectral Vegetation Indices**

**across three temperate zone sites.** Remote Sensing of Environment, New York, v.70, p.52-68, 1999.

USTIN, S. L., S. JACQUEMOUD, M. O. SMITH, M. M. VERSTRAETE, E Y. GOVAERTS (1999). **Remote Sensing for the Earth Sciences : Manual of Remote Sensing (3rd ed.)**, Chapter Geobotany: Vegetation Mapping for Earth Sciences, pp. 189–248. New York, NY: John Wiley and Sons.

WATSON, D.J. **Comparative physiological studies on growth of field crops. I - Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years.** Annals of Botany, London, v.11, p.41-76, 1947.

WELLES, J. M. **Some indirect methods of estimating canopy structure.** In: Goel, N. S., Norman, J. M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. Remote sensing reviews, 5 (1): 31-43, 1990. cap.3.

XAVIER, A. C., VETTORAZZI, C. A., MACHADO, R. E. **Relação entre índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens ETM+/LANDSAT,** Jaboticabal, 2004.