

## Estimativa de volume florestal com imagem landsat 5

Elias Fernando Berra<sup>1</sup>  
Rudiney Soares Pereira<sup>1</sup>  
Catize Brandelero<sup>1</sup>  
Laura Camila de Godoy Goergen<sup>1</sup>  
Luana Dessbesell<sup>1</sup>  
Mateus Sabadi Schuh<sup>1</sup>  
Lucas Alexandre Kervald<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Prédio 42, sala 3328, cep 97105900,  
Santa Maria, RS, Brasil.  
{eliasberra, mateuschuh, lauragoergen, catizebrandelero}@yahoo.com.br  
{rudiney.s.pereira, luana.dessbesell}@gmail.com  
lucaskervald@hotmail.com

**Abstract.** The arboreal volume estimation studies can be made in faster and economic way by indirect methods, such as the techniques of remote sensing. In this context, this work objective to develop estimating models of arboreal volume for orbital images based on forest inventory data from Rio Grande do Sul state. In the Landsat 5 scene was converted the digital number to radiance and to reflectance, making possible associate a biophysics variable to a digital one. The sample units from the inventory went allocated on the image, whose areas had gotten the digital variable information used like independents on the statistical tests: B1 (0,45 - 0,52  $\mu\text{m}$ ), B2 (0,52 - 0,60  $\mu\text{m}$ ), B3 (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ), B4 (0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$ ), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and RAZÃO (Reason between bands). The dependent variable was the log volume ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ). The stepwise variable selection method returned one linear model with the RAZÃO index as significant to explain the variation in volume. Finally, the selected model was implemented in the software SPRING, generating a numerical grid whose values of pixels represent the estimated volume in  $\text{m}^3/\text{ha}$  and volume thematic maps for *Eucalyptus* sp. per production units.

**Palavras-chave:** volume ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ), reflectance, image processing, landsat 5, volume ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ), reflectância, processamento de imagem, landsat 5.

### 1. Introdução

Os estudos de determinação de volume podem ser realizados por métodos diretos e indiretos. Pelo método direto, as árvores são cortadas e seus componentes medidos, e pelo método indireto podem ser utilizadas técnicas de sensoriamento remoto para realizar as estimativas. Segundo Souza e Ponzoni (1998), o fundamento é associar o volume de madeira aos dados de reflectância provenientes de imagens de satélite para obter as estimativas.

Uma estimativa de volume e biomassa florestal facilita a determinação do estoque de carbono. É necessário citar os registros do Protocolo de Kyoto que criaram as demandas para se conhecer os estoques de carbono e a sua dinâmica bem como, o aperfeiçoamento dos métodos de levantamentos que abrangessem os processos de verificação, conhecimento no tempo e no espaço e a cobertura em grandes áreas a custos aceitáveis (IPCC, 2003; Krankina et al., 2004; Patenaude et al., 2005).

O sensoriamento remoto possibilitou de forma efetiva, a estimativa de parâmetros biofísicos como o volume, a biomassa e carbono de áreas florestais (Rosenqvist et al., 2003). Em 2003, no Japão, ocorreu o IPCC GPG (*Intergovernmental Panel on Climate Change, Goodà Practice Guidance*) onde ficou evidenciado que os métodos utilizados em sensoriamento remoto são especialmente aplicáveis à verificação em extensas áreas.

Estimativas de parâmetros biofísicos, como volume florestal, não são aconselhadas serem feitas diretamente na imagem orbital sem antes minimizar os efeitos da interferência atmosférica. De acordo com INPE (2010), um procedimento bastante comum entre os

usuários de dados orbitais é a conversão dos números digitais (ND) das imagens em valores físicos como radiância e/ou reflectância (aparente ou de superfície).

A reflectância de alvos da superfície terrestre é um parâmetro intrínseco dos objetos sensorizados e, assim, 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 (Gürtler et al., 2005). Esses autores criaram uma planilha eletrônica com ênfase no método DOS (*Dark Object Saturation*) a fim de automatizar transformação dos números digitais das imagens TM e ETM+ dos satélites Landsat 5 e 7 em valores de reflectância.

Na imagem, os alvos podem ser caracterizados pela reflectância em cada uma das bandas espectrais ou através de índices. Para o estudo de vegetação, segundo Ponzoni e Shimabukuru (2007), o índice de vegetação é uma das transformações radiométricas amplamente utilizadas em várias aplicações.

O Índice de Vegetação da razão simples (*Simple Ratio* – SR) foi definido por Jordan (1969) sendo obtido pela divisão da reflectância referente à região do infravermelho próximo pela região do vermelho do espectro eletromagnético. Já o índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI), proposto por Kriegler et al. (1969) e Rouse et al. (1973), é obtido pela divisão da diferença das reflectâncias entre o infravermelho próximo e o vermelho pela soma entre as reflectâncias do infravermelho próximo e vermelho.

Assim, pretende-se estimar volume arbóreo, utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto e imagem do satélite LandSat 5, aliados aos dados de campo obtidos por inventário florestal em povoamentos de *Eucalyptus* sp.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo localiza-se na região demarcada pelo retângulo da Figura 1. Quanto aos aplicativos computacionais foram utilizados: SPRING 5.0 e 5.1; OpenOffice BASE 3.1; Microsoft word; Microsoft Excel; Microsoft word pad; Microsoft Office Picture manager; InkScape; SAS. Foram utilizadas as seguintes imagens: LandSat 5 TM – 23/06/2000 – 221/081; Carta topográfica Barra do Ribeiro – Folha SH-22-Y-B-II-4. Quanto aos dados de volume florestal foram selecionados no banco de dados do Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul de 2000 (IFCRS-2000) os resultados para florestas plantadas, gênero *Eucalyptus*.

A imagem LandSat 5 foi georreferenciada no SPRING a partir da carta topográfica Barra do Ribeiro. Da cena definiu-se a área útil a ser trabalhada. Para tal, criou-se um retângulo sobre a cena, aleatoriamente, abrangendo as Unidades Amostrais (U.A.) selecionadas, Figura 1, para servir como máscara no processo de recorte de plano de informação no SPRING.

Para associar os dados inventariados (m<sup>3</sup>/ha) com a reflectância e os índices da imagem realizou-se a conversão dos níveis de cinza dos pixels para reflectância através da planilha eletrônica de Gürtler et al. (2005). Esta planilha forneceu as equações de transformações dos níveis digitais em reflectância, as quais foram utilizadas no SPRING sobre a imagem selecionada.

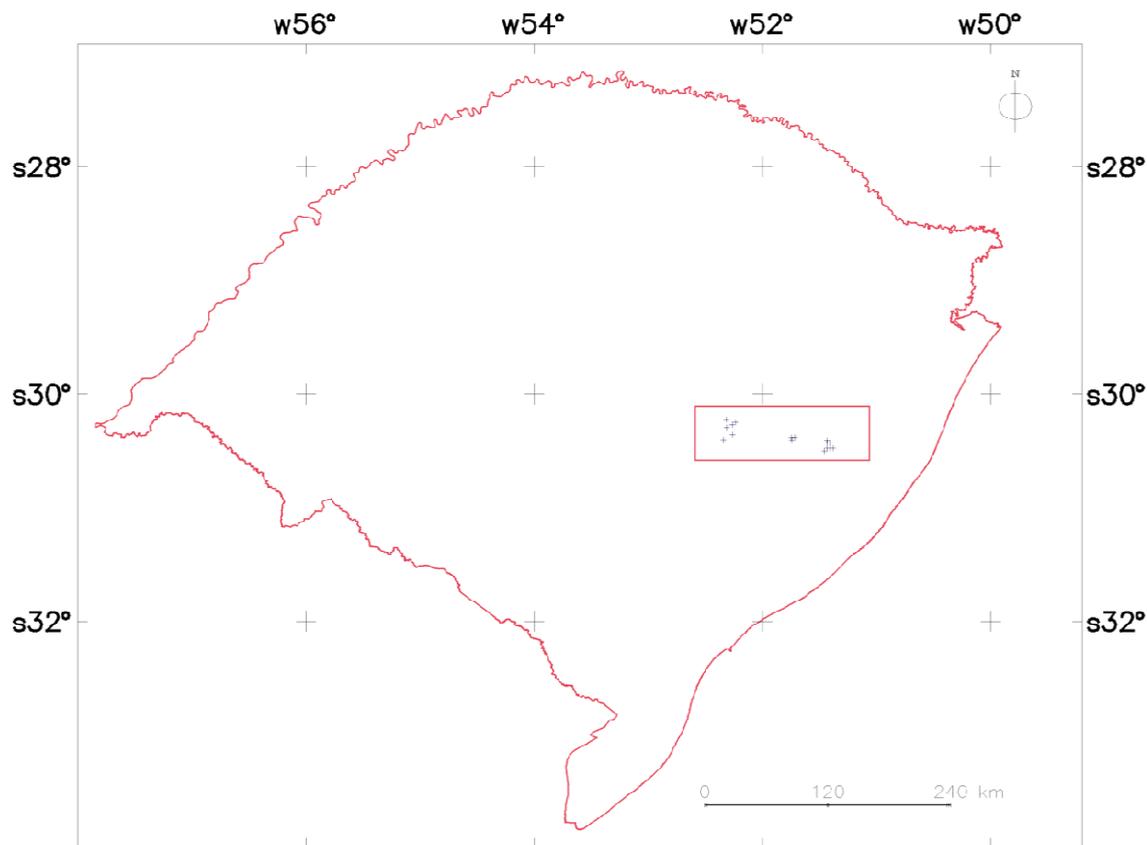


Figura 1: Área de estudo, demonstrando a localização das unidades amostrais no retângulo a leste do RS. A área total compreendeu o retângulo demarcado.

### 3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentadas 16 U.A. medidas entre os meses de maio a julho de 2000 oriundas do IFCRS-2000, as quais coincidem com a área imageada pelo sensor TM do Landsat 5 na data de passagem de 23/06/2000 na órbita 221 ponto 081.

Da imagem e de seu arquivo descritor selecionaram-se as seguintes informações para servir de entrada na planilha eletrônica arquitetada por Gürtler et al. (2005); Histograma de frequência da banda= 1; Sensor= TM; Data= 23/06/2000; Ângulo de elevação solar= 25,4543°;

Estes parâmetros retornaram as seguintes equações para transformação de ND em reflectância com correção atmosférica da imagem nas quatro bandas escolhidas;

$$\text{Banda 1} = 1,0000000360 \times \text{ND} - 27,9999999391$$

$$\text{Banda 2} = 0,9999999823 \times \text{ND} - 10,0000000028$$

$$\text{Banda 3} = 1,0000000013 \times \text{ND} - 09,0000000118$$

$$\text{Banda 4} = 0,9999999433 \times \text{ND} - 04,0000000319$$

Onde ND= Nível Digital da banda em questão.

No SPRING, a partir do centro da U.A. foi delimitada uma área circular com raio de 13,84 m, que foi a dimensão das U.A. adotada no IFCRS-2000 para plantios florestais exóticos. Para a leitura das variáveis digitais, considerou-se os pixels integrantes da área na U.A., anotando-se a média aritmética destas leituras, Tabela 1.

Tabela 1: Valores de reflectância nas quatro bandas e dos índices NDVI e RAZÃO em cada U.A com suas respectivas correlações com o volume observado.

NPAR	Vc/c(m <sup>3</sup> /ha)	B1	B2	B3	B4	NDVI	RAZÃO
2017	135,43	13,50	4,00	2,50	41,50	240,56	16,60
2020	477,63	15,00	4,00	2,00	46,30	244,48	23,15
2023	675,64	12,50	3,50	1,50	35,50	244,70	23,66
2025	296,20	14,00	4,00	2,50	37,50	239,12	15,00
2036	261,05	13,00	4,00	2,50	42,50	240,88	17,00
2044	666,42	12,00	4,00	1,50	34,50	244,41	23,00
2045	687,20	14,00	5,50	3,00	53,00	241,39	17,66
2049	654,66	14,00	4,00	3,00	42,00	238,06	14,00
2052	643,90	12,00	4,00	2,00	42,00	243,45	21,00
2053	233,58	17,00	5,00	3,50	34,50	231,60	09,85
2058	183,17	16,00	6,00	4,00	42,00	232,91	10,50
2059	378,20	18,00	6,00	5,00	45,00	229,60	9,00
2067	244,89	13,00	4,00	2,00	39,00	242,60	19,50
2068	583,22	14,00	4,50	2,00	37,00	241,97	18,50
2069	504,10	14,50	4,50	2,50	42,50	240,88	17,00
2073	377,40	13,00	5,50	2,50	36,00	238,50	14,40
Correlação entre volume e as variáveis digitais							
r		-0,38 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,49*	0,54*
Probabilidade		0,14	0,37	0,13	0,62	0,04	0,02

NPAR=Número da parcela; Vc/c(m<sup>3</sup>/ha)= Volume com casca estimado por hectare (Volume das toras); B1, B2, B3 e B4= Reflectância, em ND, nas bandas 1, 2, 3 e 4 respectivamente; NDVI= Índice de Vegetação por Diferença Normalizada [(B4-B3)/(B4+B3)\*127]+128]; RAZÃO= Razão entre as bandas 4 e 3 (B4/B3). ns = Não significativo a  $\alpha=5\%$ ; \*Significativo a  $\alpha=5\%$

A fim de testar se as variáveis independentes (B1, B2, B3, B4, NDVI e RAZÃO) conseguiriam explicar a variabilidade em volume observado realizou-se uma análise de correlação e uma *Stepwise* (Tabela 1 e Tabela 2).

Tabela 2: Modelo de regressão testado e ajustado para estimar a variável volume arbóreo na cena LANDSAT 5 (VOL=  $\beta_0 + \beta_1(B1) + \beta_2(B2) + \beta_3(B3) + \beta_4(B4) + \beta_5(NDVI) + \beta_1(RAZAO)$ ).

N	Modelo de Regressão	R <sup>2</sup> do modelo	F	Pr > F	R <sup>2</sup> <sub>Ajust</sub>	S <sub>yx</sub>	S <sub>yx</sub> (%)
1	46,2 + 23,2x(RAZÃO)	0,2966	5,90*	0,0292	0,25	170,90	39,04

Em que: \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

A variável dependente, volume, apresenta as maiores correlações positivas com as variáveis espectrais RAZÃO de bandas (r=0,54) e NDVI (r=0,49) (Tabela 1). Já as variáveis B1, B2, B3 e B4, individualmente não apresentaram correlações significativas dentro do intervalo de confiança de 95%. Por sua vez, as correlações significativas estão associadas a faixas que registram no comprimento de onda do infravermelho (alta reflectância para vegetação – B4) e vermelho (baixa reflectância para vegetação – B3), por meio dos índices que utilizam esta relação: NDVI e RAZÃO.

As baixas correlações com as variáveis azul (B1) e verde (B2), podem ser explicadas, segundo Jensen (2009), por causa do comportamento espectral da vegetação na região do azul (0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$ ), onde ocorre a absorção por todos os pigmentos, tendo-se assim valores muito baixos de reflectância nesta faixa espectral. No verde (0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$ ) a absorção é ainda menor, ocorrendo um pico de reflectância em torno de 0,55  $\mu\text{m}$ , nos sensibilizando com a coloração esverdeada da maioria das folhas.

A seleção *Stepwise*, Tabela 2, retornou apenas o índice RAZÃO entre bandas explicando 29% da variação dos dados observados para volume. O modelo apresenta um coeficiente de determinação igual a 0,25 e um coeficiente de variação (CV) de 39%. De acordo com Storck et al. (2006), um CV maior que 30% indica uma precisão muito baixa para o experimento.

Maciel (2007) realizou trabalho semelhante em floresta primária na Amazônia com imagens ETM+ do Landsat 7 e observou altas correlações negativas do índice NDVI com volume ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ), apresentando valor de -0,95. MATOS (2008) realizou trabalho parecido em Floresta Ombrófila Densa de terra firme na Amazônia Central utilizando o satélite IKONOS II, sendo que a autora encontrou as maiores correlações com a banda 4 e com o índice NDVI, sendo que as correlações foram negativas.

Em trabalhos realizados por Thenkabail (2004) e Thenkabail et al. (2004) apud Watzlawick et al. (2009), para modelar e quantificar biomassa de árvores e arbustos, no sul de Camarões, África, em Floresta Tropical úmida utilizando satélites de banda larga, entre eles o IKONOS II, eles concluíram que os sensores comparados possuem séria limitação na modelagem da biomassa, conseguindo explicar somente 13-60% da variabilidade da biomassa das florestas primárias e observou que os melhores resultados foram obtidos com o satélite Hyperion (hiperespectral), o qual explicou a variabilidade da biomassa de 36-83% maiores que os outros satélites (IKONOS II, ETM+, ALI).

Bernardes (1996) realizou sua dissertação tentando correlacionar índices de vegetação com dados biofísicos coletados a campo. A pesquisa desenvolveu-se na Floresta Nacional do Tapajós, PA, em comunidades vegetais de floresta natural primária e vegetação secundária. As variáveis digitais foram obtidas através do processamento das imagens TM do LandSat 5. O autor não encontrou correlação significativa para o índice NDVI explicando a variabilidade dos estágios de sucessão natural, nem explicando a variação da biomassa observada.

Resultados de teste de metodologia utilizando-se imagens do satélite IKONOS II para estimar biomassa e carbono orgânico em Floresta com Araucária no Paraná foram apresentados por Watzlawick et al. (2009). Os autores encontraram a maior correlação na banda do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (MS-4), possuindo valores de correlação de -0,80 com relação à variável biomassa arbórea, já a variável RAZÃO de bandas (MS-4/MS-3) apresentou uma correlação de -0,71 à variável biomassa arbórea e a variável NDVI correlacionou-se com um valor de -0,74 para a biomassa arbórea.

Utilizando a equação ajustada e selecionada (Tabela 2) foram geradas novas imagens e grades numéricas, em que cada pixel passou a representar o volume com casca arbóreo estimado por hectare, Figura 2. Assim, pode-se ler diretamente sobre a imagem o valor estimado em volume arbóreo, onde cada pixel representa uma área de 900 $\text{m}^2$ . Ou ainda, confeccionar mapas temáticos de volume nas unidades de produção de *Eucalyptus* sp.

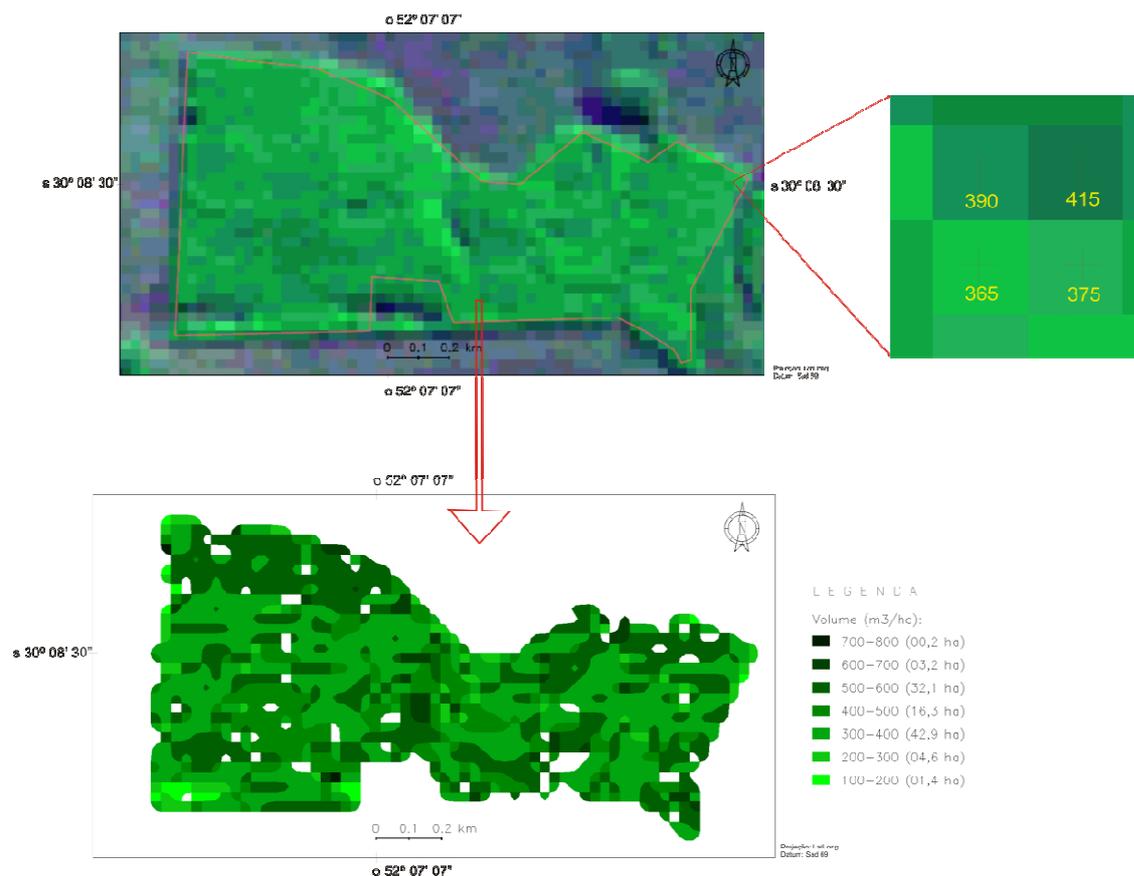


Figura 2: Imagem sintética (B1-Azul; B3-Vermelho; B4-Verde), acima, com grade numérica, a direita, representando os valores de volume estimado (m³/ha) no pixel e, abaixo, mapa temático de volume estimado em uma unidade de produção de *Eucalyptus sp.*

#### 4. Conclusões

O método *Stepwise* selecionou apenas o índice RAZÃO entre bandas como variável explicativa do volume. O modelo selecionado,  $r^2=0,29$ , pode ser aplicado para plantações florestais do gênero *Eucalyptus sp.*, desde que observada a metodologia e materiais aqui utilizados.

A baixa precisão do modelo pode ser explicada pelas seguintes causas:

- Superestimativas ou subestimativas dos volumes calculados no IFCRS-2000;
- Características dos povoamentos: as 16 U.A. aqui utilizadas continham várias espécies de *Eucalyptus sp.* com diferentes idades, densidades, preparos de solo, formas de manejo, etc. Onde todos esses fatores podem influenciar na resposta espectral da vegetação;
- Georreferência: melhores resultados de georreferência da imagem seriam, provavelmente, obtidos se fossem utilizados pontos de controle tomados com aparelho GPS de precisão;
- Tamanho das U.A.: a área da U.A. levantada no IFCRS-2000 para exóticas possuía 600 m² e forma circular. Já o pixel da imagem TM do LandSat 5 representa uma área quadrada de 900 m². Assim, a U.A. poderia estar contida em único pixel, ou distribuída em até 4 pixels;

Como sugestão para construir modelos matemáticos com maior precisão poderia ser utilizada imagens com melhor resolução espacial, ou, no caso das imagens TM poderia se aumentar o tamanho das U.A. E, por fim, outros modelos matemáticos poderiam ser testados além do linear e logarítmico, para obter uma equação melhor ajustada.

#### Agradecimentos

Ao PIBIC/CNPq da Universidade Federal de Santa Maria.

## Referências Bibliográficas

Bernardes, S. Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estádios sucessionais na área de influência da floresta nacional do tapajós-estado do Pará. 1996. 97p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos campos. 1996.

Gürtler, S., Epiphanyo, J.C.N., Barreto Luiz, A.J., Formaggio, A.R. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ LANDSAT. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.57, p.162-167, 2005.

Jensen, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 609p.

Jordan, C. F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, v.50, p.663-666, 1969.

Krankina, O. N., Harmon, M. E., Cohen, W. B., Oetter, D. R., Zyrina, O., Duane, M. V. Carbon stores, sinks, and sources in forests of North-western Russia: Can we reconcile forest inventories with remote sensing results? **Climatic Change**, v.67, p. 257-272, 2004.

Kriegler, F. J., Malila, W. A., Nalepka, R. F., & Richardson, W. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. In: Sixth International Symposium on Remotes Sensing of Environment, 6., 1969, Michigan, USA. **Proceedings...**Michigan: University of Michigan, 1969. Proceedings, p.97–131. Disponível em: < <http://adsabs.harvard.edu/abs/1969rse..conf..97K>>. Acesso em: 04 mai. 2010.

Maciel, M. N. M., Bastos, P.C.O., Watrin, O.S. Estimativa de parâmetros estruturais de uma floresta primária no município de Paragominas - Pará, através de dados orbitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. V.13, p. 1725-1732. Disponível em: < <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.17.28.56/doc/1725-1732.pdf>>. Acesso em:12 mar. 2010.

Matos, F.D.A., Kichner, F.F. Estimativa de biomassa da floresta ombrófila densa de terra firme na amazônia central com o satélite IKONOS II. **Floresta**, v.38, p.35-46, 2008.

Patenaude, G. L., Milne, R., Dawson, T. P. Synthesis of remote sensing approaches for forest carbon estimation: Reporting to the Kyoto Protocol. **Environmental Science and Policy**, v.8, p.161–178, 2005.

Ponzoni, F.J., Shimabukuru, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira, 2007. 150p.

Rosenqvist, Å., Milne, A., Lucas, R., Imhoff, M., Dobson, C.. A review of remote sensing technology in support of the Kyoto protocol. **Environmental Science and Policy**, v.6, p.441–455, 2003.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W.. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ETRS Symposium, 3., 1973, Washington D.C., USA. **Proceedings...** Washington D.C.: NASA SP-351, 1973. p.309-317. Disponível em <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1974NASSP.351..309R>>. Acesso em: 03 abr. 2010.

Sousa, C. L., Ponzoni, F. J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/Landsat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de *Pinus* spp. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos. **Anais....** São José dos Campos: INPE, 1998. Artigos, v.13, p. 1725-1732. Disponível em: < <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/dpi.inpe.br/deise/1999/02.11.10.35>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

Storck, L., Garcia, D.C., Lopes, S.J., Valduino, E. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: UFSM, 2006. 198p.

Watzlawick, L.F., Kirchner, F.F., Sanquetta, C.R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucaria utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, v. 19, p.169-181, 2009.