

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/2: 393-406
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

COMPARAÇÃO DA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL E DO IVDN DOS SENSORES LISS-III/RESOURCESAT-1 E TM/LANDSAT 5 EM POVOAMENTO FLORESTAL

*Comparison of Spectral Reflectance and NDVI from LISS-III/RESOURCESAT-1
and TM/LANDSAT 5 Sensors on Forest Stands*

Elias Fernando Berra¹, Denise Cybis Fontana² & Tatiana Mora Kuplich³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, Brasil
eliasberra@yahoo.com.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Faculdade de Agronomia da UFRGS
Av. Bento Gonçalves, 7712, Porto Alegre, RS, Brasil
dfontana@ufrgs.br

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS
Caixa Postal 5021, CEP 97105970, Santa Maria, RS, Brasil
tatiana.kuplich@inpe.br

Recebido em 03 de Setembro, 2013/ Aceito em 25 de Janeiro, 2014
Received on September 03, 2013/ Accepted on January 25, 2014

RESUMO

Com o encerramento das atividades do Landsat 5, tem-se buscado satélites cujos sensores apresentem características semelhantes aos da série Landsat. Neste contexto, sensores embarcados na série de satélites Indian Remote Sensing satellites (IRS) surgem como opção. O objetivo deste trabalho foi realizar uma comparação das bandas equivalentes e do IVDN do sensor Linear Imaging Self-Scanner III (LISS-III, a bordo do ResourceSat-1) e do sensor Thematic Mapper (TM, a bordo do Landsat 5) com vistas a avaliar a capacidade de integração entre os sensores. A comparação foi baseada em leitura de pixels localizados dentro de talhões florestais de *Pinus elliottii*. Os pixels selecionados foram os coincidentes com coordenadas geográficas medidas durante inventário florestal. Cenas foram adquiridas com uma diferença de 17 dias entre os dois sensores. Destas, os valores de reflectância de superfície foram recuperados e o IVDN calculado. Gráficos de dispersão com curvas de regressão ajustadas e coeficientes de determinação dos dados equivalentes aos dois sensores foram gerados para quantificar as incertezas nestas relações e prover uma avaliação das diferenças entre os sensores. As regressões ajustadas apontaram as bandas do infravermelho médio como as de maior similaridade ($R^2=0,90$ e coeficiente angular de 0,91) e as bandas do verde como tendo a maior diferença ($R^2=0,67$ e coeficiente angular de 0,63). O IVDN, com R^2 de 0,86 e coeficiente angular de 0,92, apresentou as menores diferenças relativas entre os sensores. Conclui-se que o LISS-III é uma alternativa válida aos dados TM, contudo, deve-se ter em mente a ocorrência de diferenças devido às características intrínsecas a cada sensor e área de estudo.

Palavras chave: Intercalibração, Bandas Equivalentes, Dossel Florestal.

ABSTRACT

With the closure of the Landsat 5 satellite activities, many interests has been raised about finding a sensor with similar characteristics to the ones onboard Landsat series. In this context, the sensors onboard the IRS (Indian Remote Sensing) satellites emerged as an option. The aim of this study was to conduct a comparison of equivalent bands and NDVI from LISS-III (Linear Imaging Self Scanner III onboard ResourceSat-1) and TM (Thematic Mapper onboard Landsat 5) sensors with order to assess the capability of integrating sensors. The comparison was made based on pixels located within forest stands of *Pinus elliottii*. The selected pixels were the ones coincident with geographic coordinates measured during a forest inventory. Scenes were acquired with a difference of 17 days between the two sensors. Surface reflectance values were retrieved from them and NDVI was calculated. Scatter plots with adjusted regression curves and coefficients of determination of the equivalent data from the two sensors were generated to quantify the uncertainties and provide an evaluation of the differences between the sensors. The adjusted regressions pointed the medium infrared bands as those of greater similarity ($r^2 = 0.90$ and angular coefficient of 0.91) and green bands as having the lower similarity ($r^2 = 0.67$ and angular coefficient of 0.63). With R^2 of 0.86 and angular coefficient of 0.92 the NDVI showed the lowest relative differences between the sensors. It is concluded that LISS-III is a valid alternative to TM data, however, one should bear in mind the occurrence of differences due to intrinsic characteristics arising from each sensor and study area.

Keywords: Intercalibration, Equivalent Bands, Forest Canopy.

1. INTRODUÇÃO

O sistema Landsat, colocado em órbita pela primeira vez em 1972, contribuiu significativamente para o entendimento do ambiente terrestre (WILLIAMS *et al.*, 2006) com aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento, entre elas a florestal (ROUSE *et al.*, 1973; FRANKLIN, 1986; FOODY *et al.*, 2003; BERRA *et al.*, 2012a). A descontinuidade do programa Landsat a partir da interrupção de aquisição de imagens pelo Landsat 5 em 2011 criou um vazio de informações na série histórica desta plataforma até meados de 2013, quando o novo satélite da série (Landsat 8) começou a operar plenamente (NASA, 2013). Assim, é importante investigar outros dados de satélites que possuam potencial para serem usados como substitutos dos dados Landsat (CHEN *et al.*, 2013; AMBINAKUDIGE *et al.*, 2010).

Em vista disso, surgiu uma demanda por imagens de satélite com características similares às encontradas no Landsat, uma vez que, a comunidade científica está cada vez mais interessada em observações de satélites com resolução espacial moderada (10 a 100 m) (GOWARD *et al.*, 2009; GOWARD *et al.*, 2011). Neste ponto, os satélites da série IRS (*Indian Remote Sensing satellite*) aparecem como uma opção (CHANDER e STENSAAS, 2008; WULDER *et al.*, 2008) e despertam considerável

interesse pela possibilidade de desenvolvimento de um banco de dados com observações comparáveis (GOWARD *et al.*, 2012).

O sensor LISS-III (*Linear Imaging Self-Scanner III*), a bordo do satélite ResourceSat-1, tem sido considerado o sensor que forneceu a melhor combinação com TM/Landsat 5 em virtude de suas características, como as bandas espectrais e acessibilidade aos dados (CHANDER, 2007; TEILET e REN, 2008). Contudo, para possibilitar a integração dos dados ResourceSat-1 nos diversos projetos ao redor do mundo baseados em dados Landsat, uma similaridade viável precisa ser demonstrada (ANDERSON *et al.*, 2011).

Geralmente, trabalhos comparando dados espectrais equivalentes (ou similares) de diferentes sensores utilizam diversos alvos terrestres de forma a abranger um amplo espectro dinâmico (CHANDER *et al.*, 2004; CHANDER *et al.*, 2008; ANDERSON *et al.*, 2011; GOWARD *et al.*, 2012), resultando em análises mais gerais. A delimitação de um único alvo em um estudo deste tipo, entretanto, oportuniza uma observação mais detalhada de sua dinâmica espectral quando observada por diferentes sensores. O que vem a ser oportuno, uma vez que, muitos estudos de processamento e análise de imagens envolvem a análise de um único alvo presente na imagem, de onde se

podem destacar as florestas, cuja avaliação de seus recursos por imagens de satélite vem sendo feita desde a década de 70 (BOYD e DANSON, 2005).

O setor de florestas plantadas tem especial interesse neste tipo de avaliação, uma vez que os plantios demandam um monitoramento frequente para garantir um produto final de alta qualidade e, conseqüentemente, o retorno econômico planejado. A espécie *Pinus elliottii* Engelm., dentre as do gênero, tem sido uma das mais utilizadas em plantios comerciais no Brasil (FLORIANO, 2004), sendo fonte de suprimento de madeira das cadeias produtivas de importantes segmentos industriais como os de celulose e papel (CÂMARA SETORIAL DE SILVICULTURA, 2009).

O presente estudo tem como objetivo realizar a comparação de dados do sensor LISS-III com dados do sensor TM, baseando-se em observações de reflectância de superfície e de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) de um dossel de *Pinus elliottii* Engelm.. Com isso, pretende-se observar o potencial de integração e a similaridade entre os dados dos sensores LISSIII e TM, num âmbito florestal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As imagens TM/Landsat-5 e LISS-III/ResourceSat-1 foram adquiridas para cobrir uma área de estudo de aproximadamente 12.000 ha correspondente a um plantio comercial de *Pinus elliottii*, o qual está localizado entre as coordenadas (32°41'36"S; 52°32'27"O) e (32°32'33"S; 52°23'04"O) ocupando uma estreita faixa da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, ao sul do município de Rio Grande, conforme Figura 1.

O clima da região, segundo o sistema de classificação de Köppen-Geiger é subtropical úmido do tipo Cfa. O município de Rio Grande apresenta a temperatura do ar média de 23,1°C no verão e de 13,4°C no inverno e uma precipitação pluvial média anual de 1.155 mm (CEMETRS, 2012). O relevo da área apresenta-se bastante plano em toda a extensão (EMBRAPA, 1990), elevando-se apenas alguns metros acima do nível do mar (WEBER *et al.*, 2004). O solo onde são efetuados os plantios de *P. elliottii* é do tipo Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 1990).

A escolha desta área de estudo deveu-

se ao fato deste povoamento apresentar um inventário florestal, cujas unidades amostrais (UA) possuíam coordenadas geográficas conhecidas. Desta forma, ao invés de escolher arbitrariamente quais pixels das imagens seriam comparados, os pixels selecionados foram os coincidentes com a localização da UA, fato essencial para a realização deste estudo (FOODY *et al.*, 2003; GONÇALVES *et al.*, 2010; BERRA *et al.*, 2012a; MOHAMEDAIN *et al.*, 2012).

O inventário florestal foi sistemático com alocação de uma UA a cada 6 hectares. O GPS Garmim Etrex Legend® foi empregado para a localização da UA no sistema de coordenadas UTM *datum* SIRGAS-2000, cuja precisão foi <10 m. A coordenada foi tomada no centro da UA, totalizando 111 amostras.

Após pesquisa das cenas disponíveis para a área de estudo, obteve-se somente uma cena LISS-III sem cobertura de nuvens, cuja data de observação diferiu 17 dias da passagem do Landsat 5. Selecionou-se assim a imagem TM, órbita-ponto 221/83 de 07 de setembro de 2010 e a imagem LISS-III, órbita-ponto 328/103 de 26 de setembro de 2010, cujas faixas imageadas são apresentadas na Figura 1.

A Tabela 1 mostra algumas das

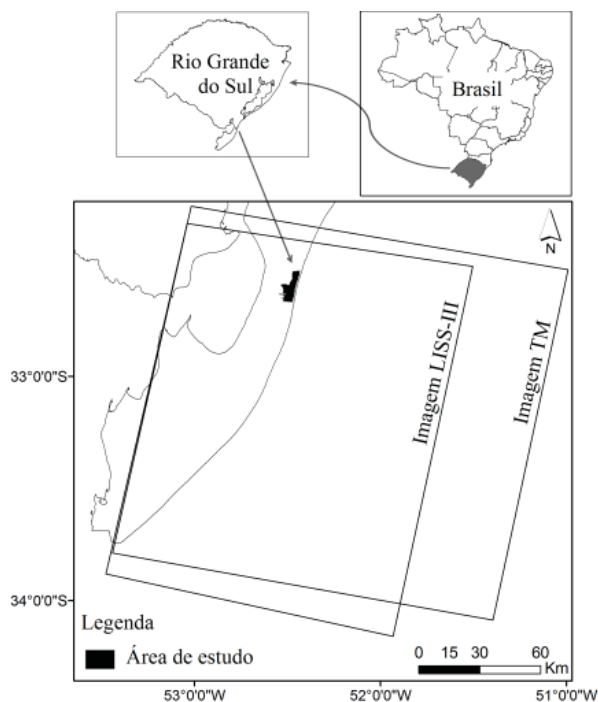


Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo com a sobreposição das imagens TM (órbita-ponto 221/83) e LISS-III (órbita-ponto 328/103).

características compartilhadas pelos dois sensores. Como o sensor LISS-III possui 4 bandas espectrais, foram selecionadas somente as 4 bandas equivalentes do sensor TM para as análises, a fim de possibilitar a comparação dos resultados.

O pré-processamento das imagens originais iniciou pela conversão dos valores de nível digital em valores de radiância espectral, conforme descrito por Chandler *et al.* (2009 a).

Após, as radiâncias espectrais foram convertidas para reflectância de superfície corrigindo tanto os efeitos solares como os atmosféricos. Tal etapa foi realizada utilizando o módulo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) do Envi (ZAKARIA, 2010), o qual provê os meios acurados de compensação dos efeitos atmosféricos considerando a elevação, vapor d'água e aerossol (ADLER-GOLDEN *et al.*, 1999). Como resultado de saída obtiveram-se as imagens de reflectância de superfície em cada banda espectral para os dois sensores.

Essas imagens foram então georreferenciadas a partir de 12 pontos de controle levantados na área de estudo, com um GPS Garmim Etrex Legend®, no mesmo sistema de coordenadas das UA. O interpolador bilinear foi utilizado durante o processo de reamostragem da imagem original. O RMSE (*Root Mean Square Error*) do georreferenciamento foi menor

que 0,5 pixel para as imagens dos dois sensores.

Na área de estudo, o pixel contendo a UA, nos dois sensores, foi identificado e a reflectância das quatro bandas espectrais equivalentes extraída para as comparações. Além disso, as bandas do infravermelho próximo e do vermelho foram utilizadas para o cálculo de um dos índices de vegetação amplamente utilizados em avaliações florestais, o IVDN, descrito por Rouse *et al.* (1973). Portanto, a comparação foi realizada somente com um alvo, ou seja, a resposta do dossel nas 111 UAs dos plantios de *Pinus elliotti*. A comparação envolveu análise de regressão linear e análise de variância (ANOVA) (CHANDER *et al.*, 2008; CHEN *et al.*, 2013).

Em cada gráfico de dispersão, a reflectância de uma banda do sensor TM foi comparada com a reflectância da banda equivalente do sensor LISS-III. Também o IVDN do sensor TM foi comparado com o IVDN do sensor LISS-III. Um ajuste por mínimos quadrados foi feito para os dados em cada banda, retornando o ganho e o desvio da comparação como os coeficientes da equação linear, além do coeficiente de determinação (R^2).

ANOVA foi aplicada a 5% de probabilidade, para cada uma das bandas espectrais equivalentes e para os IVDN's equivalentes, considerando-se dois tratamentos (TM e LISS-III), cada um com 111 repetições (UA). O valor de reflectância de superfície e de IVDN referente ao pixel de cada UA foi considerado como uma unidade amostral de um experimento inteiramente casualizado. O objetivo foi identificar a ocorrência de diferenças estatísticas entre os dois tratamentos, que indicariam a semelhança ou diversidade da sensibilidade dos diferentes sensores.

Gráficos representando as diferenças em porcentagem nas observações usando LISS-III em relação aos dados TM foram construídos. A diferença percentual foi calculada conforme a Equação 1 abaixo.

$$\text{Diferença (\%)} = \frac{(\text{LISS III-TM})}{\text{TM}} \times 100 \quad (1)$$

Por fim, gráficos de precipitação pluvial foram desenhados. Como o teor de umidade da classe de fundo (neste caso a serapilheira) influencia na quantidade de energia refletida

Tabela 1: Características do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT 5 e do sensor LISS-III a bordo do satélite resourcesat-1

Banda	TM	LISS-III
	Resolução espectral (μm)	
2	0,52 - 0,60	0,52-0,59
3	0,63 - 0,69	0,62-0,68
4	0,76 - 0,90	0,77-0,86
5	1,55 - 1,75	1,55-1,70
	Resolução espacial (m)	
	30	23,5
	Resolução radiométrica (bits)	
	8	7
	Resolução temporal (dias)	
	16	24
	Largura das faixas imageadas (Km)	
	185	141

Fonte: Chander *et al.* (2008) e NASA (2013).

(HUETE, 1988; JACKSON e HUETE, 1991) e, sabendo que este teor é influenciado pela ocorrência de chuvas, foram investigados junto às estações de monitoramento da Agência Nacional das Águas (ANA, 2013) a ocorrência deste evento meteorológico nos dias precedentes à passagem do Landsat 5 (07/09/2010) e do ResourceSat-1 (26/09/2010). Duas estações foram localizadas à aproximadamente 25 km a noroeste da área de estudo, Estação Granja Cerrito (32°24'20"S; 52°33'28.01"O) e Estação Granja Santa Maria (32°20'57"S; 52°32'21"O), cujos dados foram utilizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra que as bandas das imagens multiespectrais que apresentaram uma maior amplitude são as correspondentes às bandas do infravermelho médio (IVM) (B5), seguido da banda do infravermelho próximo (IVP) (B4), enquanto a banda do verde (B2) apresenta a menor amplitude. Esses resultados corroboram com resultados encontrados por Orué (2002) trabalhando com ETM+/Landsat 7 em povoamentos de *Pinus* spp. na província de Misiones, Argentina (26°12'S; 54°19'O). Já o coeficiente de variação (CV) foi maior para as bandas do vermelho (B3) e menor para as bandas do IVP (B4). As bandas do LISS-III apresentaram uma menor variabilidade comparada com as do TM. Quanto ao índice de vegetação, o CV revelou que o IVDN de ambos os sensores apresentaram uma variabilidade bastante similar, uma vez que a diferença entre os CV's foi de 0,44%.

Os valores médios das reflectâncias espectrais (Tabela 2) são característicos de coberturas vegetais (para uma vegetação verde e sadia), uma vez que se observa baixa reflectância no visível (vermelho absorvendo mais que o verde), um aumento da reflectância no IVP e um novo decréscimo da reflectância no IVM. Este resultado indica que a recuperação dos valores de reflectância a partir dos ND das imagens originais foi coerente. Há uma diferença mais acentuada de magnitude na banda do IVP (B4), o que explica o valor médio de IVDN mais elevado do TM.

Os resultados das comparações das bandas e IVDN's equivalentes com a respectiva regressão ajustada são apresentados na Figura 2.

Na banda do verde (Figura 2 a) a maioria dos pontos se localiza abaixo da linha 1:1. A diferença aumentou à medida que os valores de reflectância crescem, com a inclinação da reta de regressão (0,63). No gráfico das diferenças percentuais, Figura 2 (b), predominam valores negativos, indicando que o sensor LISS-III recuperou menor reflectância do que o TM (em média 14,7% menos). Pela ANOVA (Tabela 3), as reflectâncias observadas na banda 2 são estatisticamente diferentes entre os dois sensores.

A Figura 2 (c) resume os resultados da comparação da reflectância para a banda do vermelho (banda 3). Em média o LISS-III detectou 6,3% mais reflectância que o TM. Nota-se que os valores mais baixos de reflectâncias estão acima da linha 1:1 e, à medida que as reflectâncias vão aumentando, os dados tendem a aparecer abaixo da linha 1:1. Esta tendência é mensurada pela inclinação da reta de regressão (0,73). No gráfico das diferenças percentuais os pontos ora se localizam acima e ora abaixo da diferença zero (Figura 2 d). Esse comportamento explica o resultado da ANOVA (Tabela 3), onde as reflectâncias detectadas pelo TM não foram estatisticamente diferentes das detectadas pelo LISS-III na banda do vermelho.

Para a banda do IVP (Banda 4), mostrada na Figura 2 (e), todos os pontos estão abaixo da linha 1:1. Em média, o sensor LISS-III detectou 18,3% menos reflectância que o TM, o que pode ser observado nas diferenças percentuais sempre negativas (Figura 2 f). A inclinação da linha de regressão para a banda 4 foi 0,70 e a ANOVA (Tabela 3), confirmou que as reflectâncias observadas na banda 4 são estatisticamente diferentes para os dois sensores.

Na banda do IVM (Banda 5) a maioria dos pontos, apesar de muito próximos, mostravam valores acima da linha 1:1 (Figura 2 g). O sensor LISS-III estimou em média 18,4% mais reflectância do que o TM, como pode ser também visualizado no gráfico das diferenças percentuais (Figura 2 h). Nesta banda houve tendência semelhante à verificada nas bandas 2 e 3, sendo a inclinação da regressão de 0,91. Para a banda 5 as reflectâncias foram estatisticamente diferentes conforme a ANOVA (Tabela 3).

Para o índice de vegetação IVDN, os pontos mantiveram-se próximos, com a predominância destes abaixo da linha 1:1 (Figura

2 i). O maior valor encontrado da inclinação da reta de regressão (0,92), em comparação às bandas espectrais, indica que esta equação é a mais próxima da linha 1:1. O R^2 apresentou o mesmo valor da banda do IVP, contudo as diferenças relativas encontradas com o IVDN foram menores do que as das bandas individuais. Em média os valores de IVDN calculados com TM foram 4,6% maiores que os calculados pelo LISS-III (Figura 2 j). A ANOVA apontou que os IVDN's calculados pelos dois sensores são diferentes (Tabela 3).

O gráfico das diferenças relativas do IVDN (Figura 2 j) e os valores do CV (Tabela 3) indicam que a álgebra deste índice conseguiu diminuir a magnitude das diferenças presentes nas bandas espectrais do vermelho (Figura 2 d) e do IVP (Figura 2 f), as quais compõem a fórmula deste. O que pode ser explicado pelo fato de que as combinações algébricas dos índices de vegetação, segundo Gilabert *et al.* (2002), são designadas para minimizar o efeito de influências externas na resposta espectral do dossel da vegetação tais como mudanças na irradiância solar devido aos efeitos atmosféricos ou variações nas propriedades ópticas da classe de fundo (*soil background*). Com isso, melhorando o sinal da vegetação (JACKSON e HUETE, 1991).

Os coeficientes angulares menores que

1 em todas as bandas espectrais e no IVDN indicaram que, a medida que os valores de reflectância dos plantios foram aumentando, o sensor TM recuperou valores mais elevados de reflectância do que o LISS-III. Ainda na Figura 2, os coeficientes de determinação variando entre 0,67 ($r=0,81$) a 0,90 ($r=0,95$) indicam que, em geral, as bandas equivalentes e o índice de vegetação apresentaram alta similaridade. Isto aponta, inicialmente, uma capacidade viável de integração entre os dados LISS-III e TM, sendo que alguns dados podem ser intercalibrados com maior precisão que outros.

Alguns trabalhos anteriores compararam a resposta dos sensores LISS-III/ResourceSat-1 e TM/Landsat 5 e reportaram a similaridade existente: Chander *et al.* (2008) reportaram valores de R^2 de 0,99 para cada banda, com diferenças na reflectância em todas as bandas de cerca de 13%; Anderson *et al.* (2011) compararam dados dos dois sensores através de valores de IVDN durante três anos. Para o ano de 2005 encontraram um $R^2=0,85$, em 2006 um $R^2=0,81$ e 2007 um $R^2=0,52$. Os autores explicaram que em 2007 houve intensa atividade antrópica na área de estudo; Neri *et al.* (2013) reportaram $R^2=0,65$ entre o IVDN dos dois sensores. Tanto Chander *et al.* (2008) como Anderson *et al.* (2011) e Neri *et al.* (2013) utilizaram diversos tipos de cobertura da terra nas análises.

Tabela 2: estatísticas descritivas da reflectância espectral de superfície das bandas equivalentes e do ivdn dos sensores liss-iii e tm de 111 pixels de um povoamento de *Pinus Elliottii*.

Dado espectral	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude	CV (%)
LISS B2	0,0259	0,0051	0,0197	0,0418	0,0222	19,52
LISS B3	0,0232	0,0092	0,0117	0,0561	0,0444	39,55
LISS B4	0,1900	0,0203	0,1397	0,2349	0,0951	10,66
LISS B5	0,0982	0,0307	0,0628	0,2131	0,1503	31,27
LISS IVDN	0,7798	0,0907	0,4600	0,9000	0,4400	11,63
TM B2	0,0307	0,0065	0,0205	0,0497	0,0292	21,16
TM B3	0,0230	0,0112	0,0078	0,0614	0,0536	48,47
TM B4	0,2332	0,0267	0,1576	0,2905	0,1329	11,46
TM B5	0,0848	0,0320	0,0496	0,2114	0,1618	37,77
TM IVDN	0,8176	0,0915	0,4900	0,9400	0,4500	11,19

Nota: B2 = Referente à banda espectral no verde; B3 = vermelho; B4 = infravermelho próximo; B5 = infravermelho médio; Amplitude = Máximo – Mínimo; CV = Coeficiente de variação.

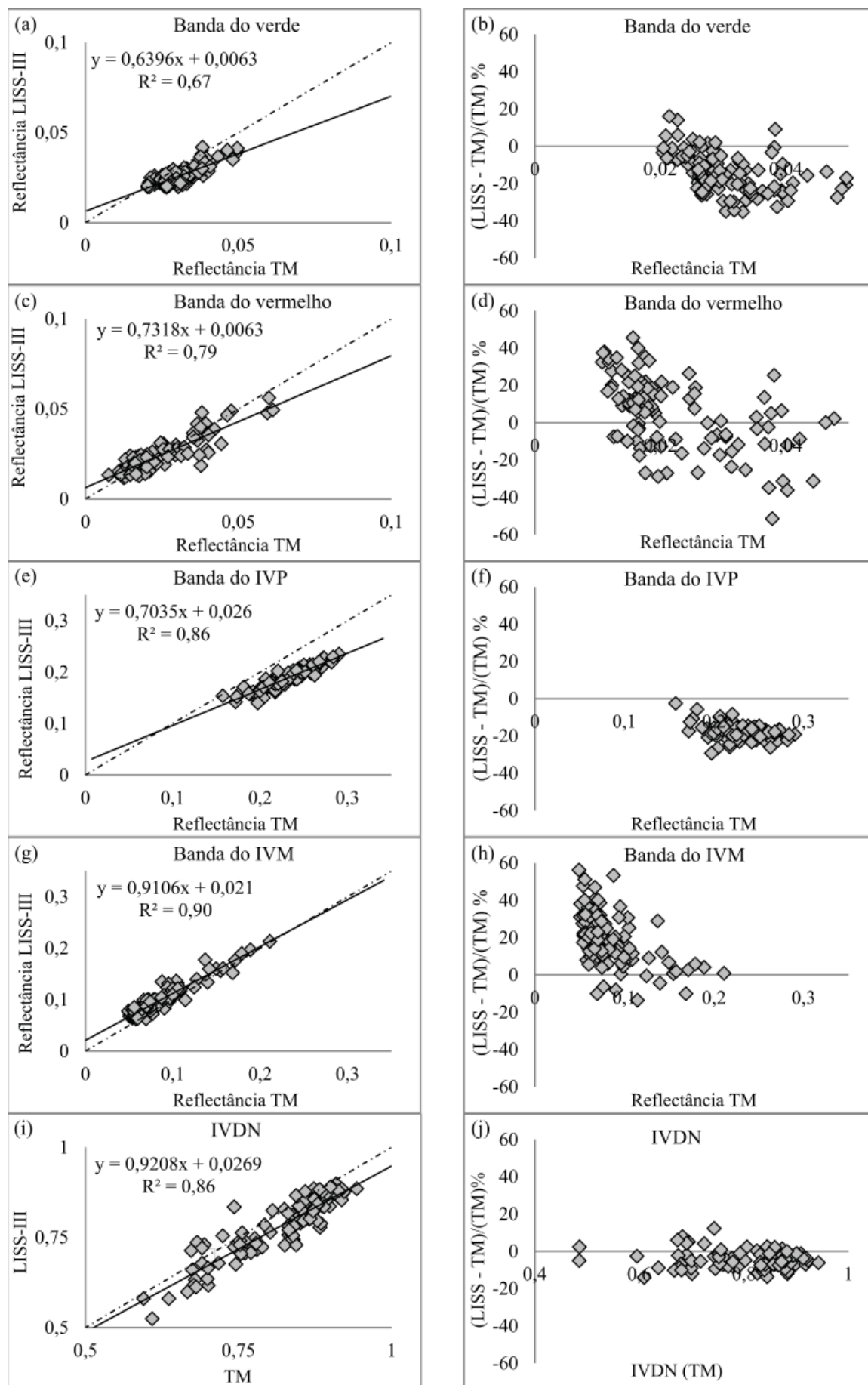


Fig. 2 - Comparação das reflectâncias (a, c, e, g) e IVDN (i) e diferença percentual das reflectâncias (b, d, f, h) e do IVDN (j) nos sensores TM e LISS-III.

Tabela 3: Anova's das bandas espectrais e IVDN do TM e LISS-III

Banda 2	SQ	gl	QM	F
Tratamento	0,0012	1	0,0013	37,8*
Residuo	0,0074	220	0,0001	
Total	0,0087	221		
Banda 3	SQ	gl	QM	F
Tratamento	0,0001	1	0,0001	0,0 ^{ns}
Residuo	0,0229	220	0,0001	
Total	0,0292	221		
Banda 4	SQ	gl	QM	F
Tratamento	0,1034	1	0,1034	184,0*
Residuo	0,1236	220	0,0006	
Total	0,2271	221		
Banda 5	SQ	gl	QM	F
Tratamento	0,0090	1	0,0099	10,1*
Residuo	0,2160	220	0,0009	
Total	0,2260	221		
IVDN	SQ	gl	QM	F
Tratamento	0,0800	1	0,08000	9,6*
Residuo	1,8300	220	0,01000	
Total	1,9100	221		

Nota: * Significativo ao nível de confiança de 95%; ns = Não significativo ao nível de confiança de 95%; SQ = Soma de quadrados; gl = Graus de liberdade; QM = Quadrado médio; F = Valor de F calculado.

Apesar da similaridade entre os sensores, os gráficos das diferenças relativas (Figura 2) evidenciam as diferenças nas bandas supostamente equivalentes e no índice com elas calculado. O que era esperado, uma vez que existem vários fatores que podem contribuir para a variabilidade das informações geradas. Chander *et al.* (2009b) compararam a reflectância no topo da atmosfera dos sensores AWiFS/ResourceSat-1 e TM/Landsat 5 e comentaram que as diferenças entre os dois sensores são provavelmente causadas pela combinação da assinatura espectral do alvo terrestre, composição atmosférica e as características da curva da resposta espectral relativa (RSR – *Relative Spectral Response*) de cada sensor. Estudos reportaram a influência do solo (GAO *et al.*, 2000; HUETE *et al.*, 1994; HUETE, 1988), da atmosfera (KAUFMAN, 1989; HUETE e

LIU, 1994), geometria de visada (PANDYA *et al.*, 2000; BURGESS e PAIRMAN, 1997; EPIPHANIO e HUETE, 1995) e características do sensor (PANDYA *et al.*, 2007; GALVÃO *et al.*, 2000, TEILLET *et al.*, 2001) na determinação de reflectância.

Assim, uma combinação de fatores age em conjunto na determinação da resposta espectral final, os quais limitam a precisão dos resultados. Abaixo são destacados alguns pontos como explicativos das diferenças encontradas.

Primeiro tem-se que as características da curva da resposta espectral relativa (RSR – *Relative Spectral Response*) de cada sensor são diferentes (CHANDER *et al.*, 2008). A RSR é o resultado das características intrínsecas de cada sensor, onde um dos parâmetros influentes é a largura de banda (Tabela 1) (PANDYA *et al.*, 2007). Assim, dois sensores com diferentes RSR recebendo a mesma radiância podem produzir uma resposta espectral diferente (PANDYA *et al.*, 2007).

Outro fator contributivo das diferenças pode ser as distintas resoluções espaciais dos sensores. Enquanto o TM possui um pixel de 30x30m, o LISS-III tem 23,5 x 23,5 m, ou seja, a razão da resolução espacial entre os dois sensores é 1,27 (30/23,5). Isto significa que um pixel do TM está integrando a radiância de uma área de 900 m² enquanto o pixel do LISS-III integra uma área de 552 m². Para a área de estudo, sabendo que o plantio está espaçado em 3 x 2 m, significa que o pixel TM integra a resposta espectral de aproximadamente 150 árvores, enquanto o pixel LISS-III integra aproximadamente 92 árvores. Mesmo o plantio sendo homogêneo quanto à composição de espécies, cada árvore tende a ser estruturalmente diferente da outra, mesmo que minimamente. Isso faz com que amostras de tamanhos diferentes possam apresentar respostas espectrais diferentes umas das outras. O potencial conteúdo de informação que pode ser inferido de uma imagem é uma função não somente da resolução espacial, mas também da subjacente complexidade espacial/heterogeneidade dos objetos presentes na cena (WOODCOCK e STRAHLER, 1987; TURNER *et al.*, 1989).

Outra fonte das diferenças decorre da data do imageamento: A imagem TM utilizada é do dia 07/09/2010 (às 10:09 hs, hora local) enquanto

a LISS-III é do dia 26/09/2010 (às 10:39 hs, hora local), portanto há um intervalo de 19 dias entre as datas e, em relação ao horário, uma diferença de 30 min. Neste sentido, Chander *et al.* (2008), comparando sensores do Landsat e ResourceSat-1, utilizaram imagens desses satélites do mesmo dia, apenas com a diferença de 30 minutos entre as passagens. Ainda assim, os autores comentam que uma fonte de erro nos resultados pode ter sido a suposição de que a reflectância do terreno nas cenas de estudo foi submetida a alterações mínimas entre as passagens dos satélites. Segundo os autores, isto pode ser verdade para algumas áreas incluindo regiões com água, terras cultiváveis em condições instáveis de vento e áreas próximas a nuvens que podem ter tido mudanças drásticas na umidade entre as passagens dos satélites.

Assim, considerando a escala de tempo de 19 dias neste estudo, existe a possibilidade de que a reflectância do terreno (dossel) tenha sofrido alteração. Apesar da reflectância de superfície ter sido estimada no ambiente FLAASH, o qual leva em consideração as características de espaço e tempo do satélite, além da condição de visibilidade no dia do imageamento, os efeitos da interferência atmosférica são apenas minimizados. Os principais constituintes da atmosfera que afetam a radiação nos comprimentos de onda do visível e IVP são moléculas de aerossóis, gases permanentes, ozônio e vapor d'água. A estimativa de todas

essas fontes de ruídos atmosféricos requer medidas detalhadas *in situ* e modelagem baseada em equações de transferência radiativa (PANDYA *et al.*, 2002). Também, as variações sazonais do clima alteram as taxas respiratórias e os processos de assimilação e liberação de carbono nas árvores durante o ano (WILKINSON *et al.*, 2012), e, conseqüentemente a quantidade de energia solar absorvida/refletida pelas folhas.

Além disso, a ocorrência de chuvas deve alterar o teor de umidade da classe de fundo (neste caso a serapilheira), o que por sua vez influencia na quantidade de energia refletida (GATES, 1970; WOOLLEY, 1971; HUETE *et al.*, 1985; HUETE, 1988; JACKSON e HUETE, 1991). A Figura 3 traz o histórico de chuvas diárias do mês coincidente com as passagens dos satélites Landsat 5 e ResourceSat-1 nas proximidades da área de estudo. Nesta figura percebe-se a ocorrência de chuva entre os dias 01 e 04, permanecendo seco até o dia 07 quando o Landsat 5 realizou a passagem; voltou a chover entre os dias 11 e 15, permanecendo sem chuvas até a passagem do ResourceSat-1, no dia 26. Assim, o TM observou a área de estudo após dois dias sem chuva e o LISS-III após 10 dias sem chuva. Este fato pode propiciar, portanto, uma interação entre a radiação eletromagnética e a classe de fundo de maneira diferenciada em cada uma das datas.

Outro fator que merece destaque é resolução radiométrica. O TM possui 8 bits

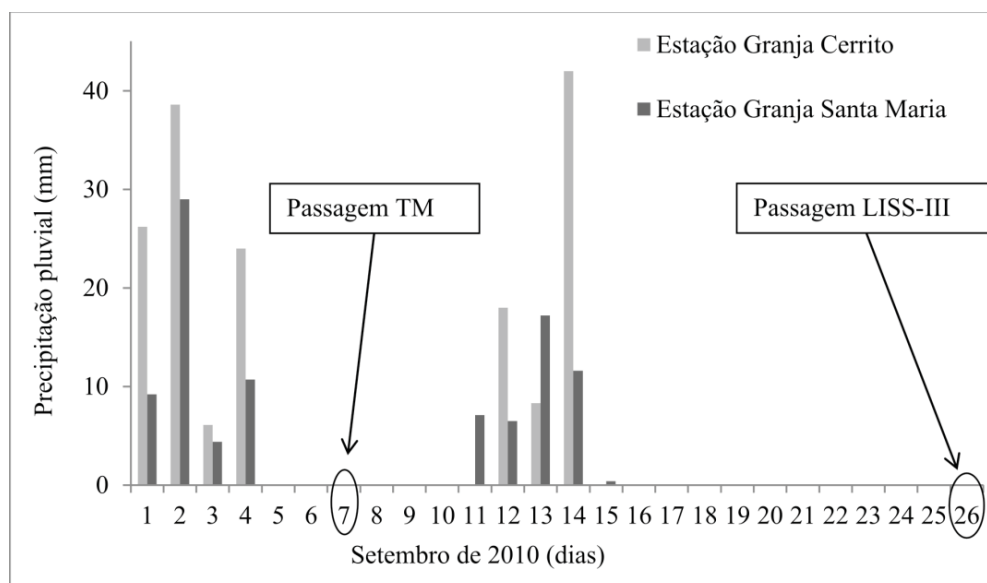


Fig. 3 - Precipitação pluviométrica diária em duas estações de monitoramento ao sul do município de Rio Grande, RS.

e o LISS-III tem 7 bits. Desta maneira, o TM apresenta maior sensibilidade para detectar pequenas diferenças na energia refletida em relação ao LISS-III. Esse parâmetro ajuda a explicar as diferenças obtidas nos intervalos das reflectâncias apresentados na Tabela 2. Observa-se que o intervalo entre o valor mínimo e máximo de reflectância foi sempre maior para o TM em todas as bandas espectrais, em relação ao LISS-III. Este fato evidencia a maior capacidade do TM de caracterizar ou separar espectralmente a floresta sob análise.

Como fatores contributivos para as diferenças podem ainda ser citados a interferência de ruídos nas bandas onde o sinal é baixo (CHANDER *et al.*, 2004) (como na banda do vermelho onde observou-se o maior coeficiente de variação, Tabela 2), a degradação da sensibilidade do sensor após o lançamento (KAMEI *et al.* 2012; PANDYA *et al.*, 2007; CHANDER *et al.*, 2008) e o acúmulo de incertezas no processo de georreferenciamento (BERRA *et al.*, 2012b).

Assim, são vários fatores responsáveis pela variabilidade das bandas equivalentes dos sensores TM e LISS-III. Além disso, é recomendável que equações modeladas em uma área de estudo não devem ser generalizadas e aplicadas a outras áreas, devido às particularidades de cada área de estudo (FOODY *et al.*, 2003).

Neste estudo, os altos valores de R² nas comparações, principalmente daquelas equações explicando mais de 85% da variabilidade, apontam para a possibilidade de integração entre as imagens dos dois sensores, em acordo com Anderson *et al.* (2011). Por outro lado, a ANOVA mostra que os sensores são diferentes em três das quatro bandas espectrais e IVDN. Desta maneira, estes resultados indicam que cautela deve ser tomada em como integrar dados desses dois sensores, como também ressaltado por Wulder *et al.* (2008).

Assim, tendo em mente as limitações na comparação dos dois sensores, o LISS-III pode ser testado como substitutivo ao TM, em consonância com outros estudos (CHANDER, 2007; CHANDER e STENSAAS, 2008; CHANDER *et al.*, 2008; ANDERSON *et al.*, 2011; NERI *et al.*, 2013). Neste sentido, avaliações de recursos naturais que vinham sendo feitas historicamente com dados TM

(WILLIANS *et al.*, 2006; WULDER *et al.*, 2008), podem encontrar nas imagens LISS-III uma alternativa substitutiva para preencher o vazio de dados deixado pela série Landsat. Até mesmo após a reativação de dados da série Landsat, com o Landsat 8, o LISS-III pode assumir papel fundamental como um sensor complementar ou substitutivo ao Landsat 8. Isto porque tais satélites apresentam períodos de revisitas diferentes e podem observar a mesma área em dias diferentes. Por exemplo, são uma opção às imagens do Landsat 8 com presença de nuvens.

4. CONCLUSÕES

O estudo apresentado neste trabalho focou na comparação de medidas pontuais (escala de pixel) de reflectância de superfície e do IVDN oriundos dos sensores LISS-III e TM, em área com plantio comercial de *Pinus elliottii*.

Conclui-se que o sensor LISS-III é uma alternativa válida para ser utilizado como complemento e em substituição aos dados TM. Contudo, tem que se ter em mente a existência de uma diferença média <20% entre as reflectâncias de superfícies recuperadas pelas bandas espectrais equivalentes dos dois sensores. Também, o sensor LISS-III tem uma tendência em subestimar os valores de reflectância espectral e IVDN em relação ao sensor LISS-III, à medida que valores mais altos de reflectância são recuperados.

A utilização das reflectâncias no cálculo do IVDN diminui as diferenças relativas entre o TM e o LISS-III, em comparação às bandas espectrais.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela Bolsa de Estudo (Processo 134017/2011-0).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER-GOLDEN, S. M.; MATTHEW, M. W.; BERNSTEIN, L. S.; LEVINE, R. Y.; BERK, A.; RICHTSMEIER, S. C.; ACHARYA, P. K.; ANDERSON, G. P.; FELDE, G.; GARDNER, J.; HIKE, M.; JEONG, L. S.; PUKALL, B.; MELLO, J.; RATKOWSKI, A.; BURKE, H. -H. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. SPIE

- Proceedings.** Imaging Spectrometry V, Vol. 3753: pp.61-69, 1999.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.** Disponível em: < <http://portalsnirh.ana.gov.br/>>. Acesso em: 22/04/2013.
- AMBINAKUDIGE, S.; CHOI, J.; KHANAL, S.. A comparative analysis of cbers-2 ccd and landsat-tm satellite images in vegetation mapping. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 01, p. 115-122, 2010
- ANDERSON, J. H.; WEBER, K. T.; GOKHALE, B.; CHEN, F.. Intercalibration and Evaluation of ResourceSat-1 and Landsat-5 NDVI. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 37(2): 213-219, 10.5589/m11-032, 2011.
- BERRA, E. F.; BRANDELERO, C.; PEREIRA, R. S.; SEBEM, E.; GOERGEN, L. C.; BENEDETTI, A. C. P.; LIPPERT, D. B. Estimativa do volume total de madeira em espécies de eucalipto a partir de imagens de satélite Landsat. **Ciência Florestal**, v. 22, p. 853-864, 2012 a.
- BERRA, E. F.; FONTANA, D. C.; PEREIRA, R. S. Accuracy of forest stand volume estimation by Landsat TM imagery with different geometric and atmospheric correction methods. In: 10th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, 2012, Florianópolis. **Proceedings.** p. 103-108, 2012 b.
- BOYD, D.S.; DANSON, F.M. Satellite remote sensing of forest resources: three decades of research development. **Progress in Physical Geography**, n 29, p. 1-26, 2005.
- BURGESS, D.W.; PAIRMAN, D. Bidirectional reflectance effects in NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, 18, 2815-2825, 1997.
- CÂMARA SETORIAL DE SILVICULTURA. **Agenda Estratégica do Setor de Florestas Plantadas.** Brasília: outubro de 2009. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Florestas_plantadas/9_reuniao/Agenda_Sivicultura.pdf>. Acesso: 11 janeiro 2013.
- CENTRO ESTADUAL DE METEOROLOGIA (CEMETRS). **Atlas Climático do Rio Grande do Sul.** Disponível em: <<http://www.r3pb.com.br/AtlasCemetRS/#/12/>>. Acesso em: 18 outubro 2012.
- CHANDER, G. Landsat Data Gap Study - Technical Report: Initial data characterization, science utility and mission capability evaluation of candidate Landsat mission data gap sensors. United States Geological Survey, 2007.
- CHANDER, G.; COAN, M.J.; SCARAMUZZA, P.L. Evaluation and comparison of the IRS-P6 and the Landsat Sensors. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 46 (1), pp. 209–221, 2008.
- CHANDER, G.; B.L. MARKHAM, D.L. HELDER. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, 113, pp. 893–903, 2009 a.
- CHANDER, G.; MEYER, D.J.; HELDER, D.L.. Cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and EO-1 ALI sensors. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 42 (12), pp. 2821–2831, 2004.
- CHANDER, G.; STENSAAS, G.L.. Evaluation of candidate Landsat data gap sensors. In: IV IGARSS International geoscience and remote sensing symposium, IEEE, Boston, Massachusetts, 2008. **Proceedings.** p. 1376-1379, 2008.
- CHANDER, G.; XIONG, X.; ANGAL, A.; CHOI, T.; MALLA, R.. Cross-comparison of the IRS-P6 AWiFS sensor with the L5 TM, L7 ETM+, & Terra MODIS sensors. In: SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2009. **Proceedings.** v. 7474, 2009 b.
- CHEN, X.; VOGELMANN, J. E.; CHANDER, G.; JI, L.; TOLK, B.; HUANG, C.; ROLLINS, M.. Cross-sensor comparisons between Landsat 5 TM and IRS-P6 AWiFS and disturbance detection using integrated Landsat and AWiFS time-series images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 7, p. 2432-2453, 2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Levantamento de reconhecimento dos solos do**

- Estado do Rio Grande do Sul.** Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1990. 431p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, EMBRAPA-SPI, 1999. 412p.
- EPIPHANIO, J.C.N.; HUETE, A.R. Dependence of NDVI and SAVI on sun sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in alfalfa. **Remote Sensing of Environment**, 51:351-360, 1995.
- FLORIANO, E.P. **Efeito da desrama sobre o crescimento e a forma do Pinus elliottii Engelm.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004. 93p.
- FOODY, G. M.; BOYD, D. S.; CUTLER, M. E. J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, p. 463-474, 2003.
- FRANKLIN, J. Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 10, p. 1287-1301, 1986.
- GALVÃO, L.S.; VITORELLO, I.; PIZARRO, M.A. An adequate band positioning to enhance NDVI contrasts among green vegetation, senescent biomass and tropical soils. **International Journal of Remote Sensing**, 21, 1953-1960, 2000.
- GAO, X.; HUETE, A R.; NIW; MIURA, T. Optical biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, 74, 609-620, 2000.
- GATES, D.M. Physical and physiological properties of plants. In: **Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry.** Washington: National Academy of Sciences, 1970. p. 164-223.
- GILABERT, M. A; GONZÁLEZ-PIQUERAS, J; GARCÍA-HARO, F. J.; MELIA, J.. A generalized soil-adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment.** v. 82, p. 303-310, 2002.
- GONÇALVES, F. G.; YATSKOV, M.; SANTOS, J. R.; TREUHAFT, R. N.; LAW, B. E. Relacionando LANDSAT ETM+ e dados de inventário florestal para mapeamento de estágios sucessionais em uma floresta tropical úmida. **Ambiência**, v. 6, p. 167-174, 2010.
- GOWARD, S. N.; WILLIAMS, D. L.; ARVIDSON, T. A.; IRONS, J.; IRISH, R. R. Moderate spatial resolution optical sensors. In: WARNER, T.; NELLIS, D. N.; FOODY, G. **The SAGE handbook of remote sensing.** London, U.K.: Sage, 2009. p. 123-138.
- GOWARD, S. N.; ARVIDSON, T. A.; WILLIAMS, D. L.; IRONS, J. The future of Landsat-class high resolution optical multispectral remote sensing. In: RAMACHANDRAN, B.; JUSTICE, C.; ABRAMS, M. **Land remote sensing and global environmental change: NASA's earth observing system and the science of ASTER and MODIS.** New York: Springer, 2011. p. 809-834.
- GOWARD, S.N.; CHANDER, G.; PAGNUTTI, M.; MARX, A.; RYAN, R.; THOMAS, N.; TETRAULT, R.. Complementarity of ResourceSat-1 AWiFS and Landsat TM/ETM+ sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 123, p. 41-56, 2012.
- HUETE, A.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, 49: 224-234, 1994.
- HUETE, A.R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- HUETE, A.R.; JACKSON, R.D.; POST, D.F. Spectral response of a plant canopy with different soil background. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, n. 1, p. 37-53, 1985.
- HUETE, A.R.; LIU, H.Q. An error and sensitivity analysis of the atmospheric- and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 32, pp. 897-905, 1994.
- JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, n. 2, p. 185-200, 1991.
- KAMEI, A.; NAKAMURA, K.; YAMAMOTO, H.; NAKAMURA, R.; TSUCHIDA, S.;

- YAMAMOTO, N.; SEKIGUCHI, S.; KATO, S.; LIU, C.-C.; HSU, K.-H.; WU, A.-M.. Cross Calibration of Formosat-2 Remote Sensing Instrument (RSI) Using Terra Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, v. PP, n. 99, pp.1-11, 0, 2012.
- KAUFMAN, Y. J. The atmospheric effect on remote sensing and its correction. In: **Theory and Application of Optical Remote Sensing**. New York: Ghassem Asrar, 1989.
- MOHAMEDAIN, M. S.; CSAPLOVICS, E.; MOHAMED, A. A.; MOHAMED, A. D. Estimation of Forest Variables using Remote Sensing and GIS: Case Study of Nabag Forest-South Kordofan, Sudan. **Journal of Agriculture e Social Sciences**, v. 8, p. 62-64, 2012.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Landsat 8**. Disponível em: < <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3186>>. Acesso em: 06/08/2013.
- NERY, C. V. M.; OLIVEIRA, D. B.; ABREU, L. H. G.. Estudo comparativo entre os índices ndvi obtidos a partir dos sensores Landsat 5-TM e Resourcesat-LISS III. **Caminhos de Geografia**, 14, 46, 2013.
- ORUÉ, N. E. **Estimativa de volume de povoamentos de Pinus spp. utilizando dados do satélite landsat 7**. Dissertação de mestrado (Manejo florestal), UFPR, Curitiba, 2002.
- PANDYA, M R.; SINGH, R.P.; MURALI, K.R.; BABU, P.N.; KIRANKUMAR, A.S.; DADHWAL, V.K. Band pass solar exoatmospheric irradiance and Rayleigh optical thickness of sensor onboard IRS-1 B, IC, 1D and P4. **IEEE Transacttons on Geoscience and Remote Sensing**, 40:714-718, 2002.
- PANDYA, M. R.; DADHWAL, V.K.; NAVALGUND, R. R. Effect of WiFS viewing geometry on crop reflectance? a simulation study using SAIL model. **International Journal of Remote Sensing**, 21, 1931 – 1938, 2000.
- PANDYA, M.R.; SINGH, R.P.; CHAUDHARI, K.N.; MURALI, K.R.; KIRANKUMAR, A.S.; DADHWAL, V.K.; PARIHAR, J.S.. Spectral characteristics of sensors onboard IRS-1D and P6 satellites: Estimation and their influence on surface reflectance and NDVI. **Photonirvachak-journal of the indian society of remote sensing**, 35(4), 333-350, 2007.
- RIPPLE, W. J.; WANG, S.; ISAACSON, D. L.; PAINE, D. P. A Preliminary Comparison of Landsat TM and Spot-1 HRV Multispectral Data for Estimating Coniferous Forest Volume. **International Journal of Remote Sensing**, Vol. 12, No. 9, pp. 1971-1977, 1991.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: III ERTS Symposium, SP-351, v. 1, Washignton, DC, 1973. **Proceedings**. p. 309-317, 1973.
- TEILLET, P.M.; BARKER, J.L; MARKHAM, B.L.; IRISH, R R; FEDOSEJEVS, G.; STOREY, J.C. Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets. **Remote Sensing of Environment**, 78: 39-54, 2001.
- TEILLET, P.M.; REN, X.M. Spectral band difference effects on vegetation indices derived from multiple satellite sensor data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, vol. 34, no. 3, p. 159-173, 2008.
- TURNER, M.G.; O'NEILL, R.V.; GARDNER, R.H.; MILNE, B.T.. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. **Landscape Ecol**, 3(3-4):153-162, 1989.
- WEBER, E. J.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia, 2004.
- WILKINSON, M.; EATON, E. L.; BROADMEADOW, M. S. J.; MORISON, J. I. L.. Inter-annual variation of carbon uptake by a plantation oak woodland in south-eastern England. **Biogeosciences**, 9, 5373-5389, 2012.
- WILLIAMS, D.L.; GOWARD, S.; ARVIDSON, T.. Landsat: Yesterday, today, and tomorrow. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 72 (10), pp. 1171–1178, 2006.
- WOODCOCK, C.E.; STRAHLER, A.H. The factor of scale in remote sensing. **Remote**

Sensing of Environment, 21, 311-332, 1987.

WOOLLEY, J.T. Reflectance and transmittance of light by leaves. **Plant Physiology**, v.47, n.3, p.656-662, 1971.

WULDER, M.A.; WHITE, J.C.; GOWARD, S.N.; MASEK, J.G.; IRONS, J.R.; HEROLD, M.; COHEN, W.B.; LOVELAND, T.R.; WOODCOCK, C.E. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring.

Remote Sensing of Environment, 112, p. 955–969, 2008.

ZAKARIA, H. E. A. **Integration of Remote Sensing and GIS in Studying Vegetation Trends and Conditions in the Gum Arabic Belt in North Kordofan, Sudan**. Thesys (Doctor of Natural Science), Technical University of Dresden, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Dresden, 2010. 146p.