

PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

**REVISTA DE GEOGRAFIA
(UFPE)**

www.ufpe.br/revistageografia

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO NA REGIÃO DO RIO PARDO, RS, COM BASE EM IMAGENS ESPECTRAIS DO MAPEADOR TEMÁTICO DO LANDSAT 5

Madson T. Silva¹, Stephanny C. F. do E. Costa², Armando de S. Santos³ Alessandro F. dos Santos⁴

¹Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, e-mail: madson_tavares@hotmail.com Aprígio Veloso, 882 Bairro Universitário, Campina Grande - PB, Brasil. CEP.: 58429-140 | Fone: (83) 3310.1031

²Graduanda em Engenharia Civil, UAE, UFCG, Campina Grande - PB, Brasil

^{3,4}Graduado em Geografia, UEPB, Campina Grande - PB, Brasil

Artigo recebido em 20/05/2011 e aceito em 20/09/2011

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo determinar o balanço de radiação à superfície com base nas sete bandas espectrais do Mapeador Temático do Landsat 5. Duas imagens da região do município do Rio Pardo, RS, para os dias 16/08/1988 e 16/03/2008, foram processadas utilizando-se *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL). Amostras das áreas com vegetação nativa, solo exposto, água superficial e parte da área urbana da área de estudo foram utilizadas na diferenciação dos pixels. Foram obtidos para cada data analisada o albedo e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), com base na radiancia dos canais reflectivos (1, 2, 3, 4, 5 e 7), bem como a temperatura de cada pixel com o canal termal (6) do Landsat 5 – TM. Os resultados indicaram que o saldo de radiação em 1998 atingiu o valor médio de 370 W m^{-2} , no horário da passagem do satélite, bastante inferior daquele encontrado para 2008, que foi de 510 W m^{-2} . A cobertura vegetal da superfície predominante na área de estudo é do tipo vegetação rala, ocupando um pouco mais de 700 km^2 da área territorial durante as datas analisadas

Palavras-chave: IVDN, sensoriamento remoto, processamento de imagens, saldo de radiação

COVERAGE SOIL ANALYSIS IN RIO PARDO REGION, RS, BASED ON THE LANDSAT SPECTRAL IMAGES THEMATIC MAPPER 5

ABSTRACT

The main objective of this study was for determining the surface radiation balance based on seven spectral bands of the Landsat 5 Thematic Mapper. Two images for Rio Pardo region, RS (16/08/1988 and 16/03/2008) were processing using *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL). Sample areas of native vegetation, exposed soil, surface water part and the urban area were used for the differentiation of pixels. It was obtained for each date the albedo and NDVI based on the radiance of reflective channels (1, 2, 3, 4, 5 and 7), as well as air temperature of each pixel in the thermal channel (6) of Landsat 5 - MT. Results indicated that the net radiation in 1998 (370 W m^{-2}) was much less than that in 2008 (510 W m^{-2}), just time of satellite pass. The surface vegetal covering in the studied area is classified as vegetation type shit, with a little more than 700 km^2 in land area during the analyzed dates

Keywords: NDVI, remote sensing, image satellite, net radiation

INTRODUÇÃO

Com o avanço da computação, a área de processamento de imagens de satélites vem apresentando crescimento expressivo que abrange quase todos os ramos da atividade humana, principalmente nas áreas da geografia, meteorologia e de recursos naturais. A técnica de sensores remotos tem ainda diferentes aplicações nos setores da economia e desenvolvimento tecnológico, com grande relevância para tomadas de decisão por órgãos públicos. A queima de florestas e de outros tipos de vegetação libera grande quantidade de gases radiativos e aerossóis que influencia significativamente o balanço radiativo da Terra e a química da atmosfera (Andreae & Merlet, 2001). Nesse particular, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas para analisar a emissão de partículas químicas e seus efeitos potenciais sobre a cobertura do solo utilizando imagens de satélites (Kaufman et al., 1998; Spichtinger et al., 2001; Wooste et al., 2003).

O Brasil apresenta grande diversidade espaço-temporal quanto à ocupação de suas terras, com características e dinâmicas específicas para a agricultura, pastagens, reflorestamentos, vegetação natural, urbanização e mineração. Em face da necessidade de atualizações constantes da dinâmica do uso das terras, diversos

estudos sobre a cobertura do solo foram efetuados com imagens TM/Landsat 5. Oliveira et al. (2002) analisaram a cobertura florestal do município de Lavras, MG, utilizando-se imagens de satélites referentes ao ano de 1998; Rodriguez et al. (2000) efetuaram o mapeamento multi-temporal de 1986 a 1999, da cobertura do solo do Município de São Sebastião, SP, com uso de imagens TM/Landsat 5; e, Catelan & Pereira (2002) utilizaram imagens Landsat 7 ETM+ para analisar a dinâmica do uso do solo durante duas épocas do ano (setembro de 1999 e maio de 2000) no município gaúcho de Santa Margarida do Sul. Em outros estudos, mapas de energia solar para o Brasil foram gerados utilizando-se dados do satélite GOES-EAST para resolver a equação de transferência radiativa da atmosfera (Martins et al., 2007). As aplicações de imagens de satélites podem favorecer a agricultura, conservação de água e solo, planejamento de cidades, proteção do meio ambiente e o monitoramento de riscos climáticos (Yuliang et al., 2009). Entretanto, o uso dessa técnica deve ser com cautela porque a utilização de modelagem de imagens de satélites para se obter radiação solar somente tem bons resultados quando aplicada para grandes áreas. Evidentemente, existe um erro apreciável entre os valores observados na superfície e aqueles estimados por satélite,

em face dos dados de superfície serem representativos para uma pequena área enquanto os de satélite representam uma área de 100 km² (Vignola et al., 2007).

O uso da classificação dos pixels das imagens do TM/Landsat 5 pode ser utilizado em pesquisas e aplicações ambientais. Entretanto, quando se deseja determinações mais específicas, tais como mensurar área de propriedades agrícolas ou ainda áreas de reservas ambientais essas informações devem ser mais precisas e obtidas através de sensores com melhor resolução espacial. Muitos instrumentos são capazes de medir alguns componentes do balanço de radiação de forma pontual e precisa, como o saldo de radiação e as densidades de fluxos de radiação solar incidente e refletida. Por outro lado, quando existe a necessidade de estimativas do saldo de radiação em grandes áreas, as técnicas baseadas em medições realizadas por sensores orbitais são mais apropriadas porque reúnem grande cobertura espacial e têm baixo custo operacional (Di Pace et al., 2008).

Nos últimos anos têm sido propostos alguns algoritmos para a análise da cobertura do solo e cálculo do balanço de energia à superfície. O modelo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) tem sido bastante aplicado em diversos agrossistemas porque leva em consideração a variabilidade espacial de

muitos elementos micrometeorológicos (Bastiaanssen et al., 1998). Nesse particular, considerando a importância do conhecimento dos fluxos de energia sobre superfícies vegetadas, este trabalho objetivou determinar o balanço de radiação, a temperatura da superfície e as classes de cobertura do solo no município de Rio Pardo, RS, com base em imagens do Mapeador Temático do Landsat 5.

MATERIAL E MÉTODOS

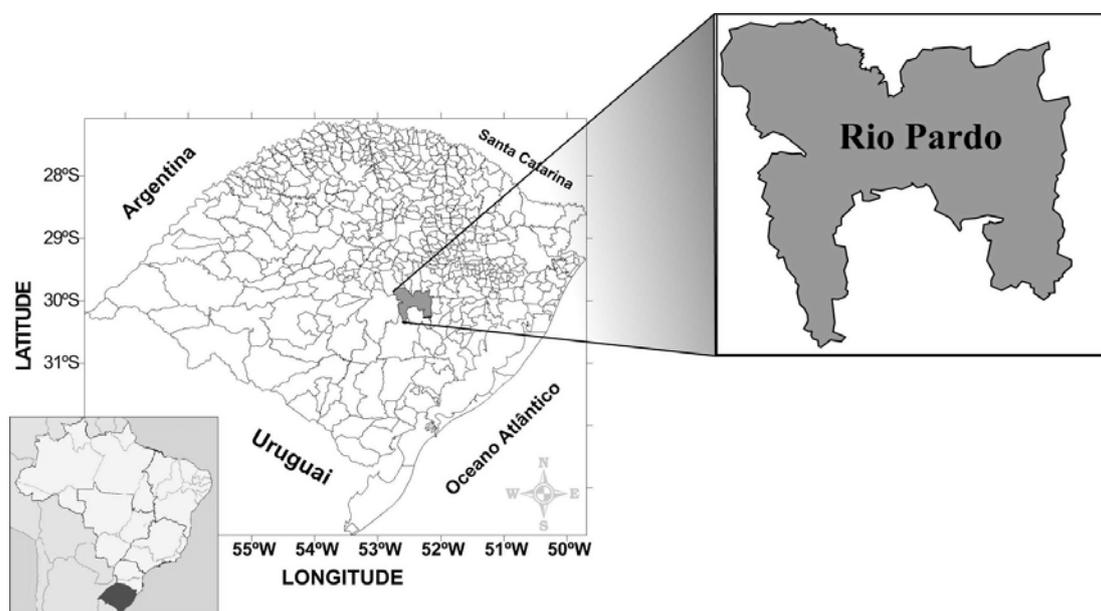
A área de estudo compreende o município de Rio Pardo, RS, que tem as seguintes coordenadas geográficas: latitude: 29°59'23" sul; longitude: 52°22'41" oeste e altitude: 56 metros (Figura 1). As principais atividades econômicas do município são a Indústria (beneficiamento de produtos agrícolas e pecuários, tais como carne, massas, cereais, biscoitos, salgadinhos, a metalurgia, vestuário, esquadrias de ferro, móveis, utensílios de aço, esquadrias de madeira), a Agrícola (arroz, fumo, soja, milho, mandioca, hortigranjeiros e a Pecuária (bovino de corte, gado leiteiro, ovinos e peixe) (IBGE, 2011).

Na região estudada predomina o tipo climático "Cfa", subtropical úmido, com temperatura média máxima oscilando em torno de 25 °C e média mínima em torno de 15 °C, de acordo com classificação

climática de Köppen. A temperatura média anual é de 19°C, com precipitação média de 1.322 mm anuais (Moreno, 1961). Dois rios cortam o município: o rio Jacuí, que corre no sentido oeste-leste, dividindo o território em duas porções e o seu afluente, o rio Pardo, que corre no sentido norte-sul. A vegetação predominantemente é

formada por gramíneas nativas e as áreas com vegetação mais densa se localizam às margens dos rios Jacuí, Pardo e seus afluentes. As formações vegetais são a Mata de Planície, Parque de Maricá, Vegetação Palustre e Vegetação Campestre (Veloso et al., 1991).

Figura 1 - Localização geográfica da área do estudo



Para a realização deste estudo foram utilizadas duas imagens geradas pelo Mapeador Temático do satélite Landsat 5, compostas de sete bandas espectrais, cujas principais características estão descritas na Tabela 1. Essas imagens correspondem à passagem do Landsat 5 – TM sobre a área de estudo, nos dias 16 de agosto de 1988 (Dia Juliano = 229) e 16 de março de 2008 (Dia Juliano = 76), na órbita 222 e ponto 81. O sensor TM mede a radiância espectral de cada pixel e armazena em

forma digital, cuja intensidade varia de 0 a 255 (8 bits).

Para a realização da delimitação espacial da vegetação e obtenção do balanço de radiação à superfície foi utilizado o software ERDAS 9.1, bem como na construção do banco de dados geográfico e na integração de todas as informações disponíveis da área de estudo.

Calibração radiométrica e reflectância

A radiância espectral de cada banda ($L\lambda_i$) representa a energia solar refletida por

cada pixel por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7; para a banda 6, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel e foi obtida pela equação (1), proposta por (Markham & Baker, 1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \times ND \quad (1)$$

Tabela 1 - Descrição dos canais do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimentos de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - *a* e máxima - *b*) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA)

Descrição dos Canais	Comprimento de onda - μm	Coeficientes de calibração		$K_{\lambda}(\lambda_i)$ - $\text{W m}^{-2}\mu\text{m}$
		$\text{W m}^{-2} \text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ a	b	
Banda 1 (azul)	0,45 - 0,52	-1,52	152,1	1957
Banda 2 (verde)	0,53 - 0,61	-2,84	296,8	1829
Banda 3 (vermelho)	0,62 - 0,69	-1,17	204,3	1557
Banda 4 (infra-vermelho próximo)	0,78 - 0,90	-1,51	206,3	1047
Banda 5 (infra-vermelho médio)	1,57 - 1,78	-0,37	27,19	219,3
Banda 6 (infra-vermelho termal)	10,4 - 12,5	1,238	15,30	-
Banda 7 (infra-vermelho médio)	2,10 - 2,35	-0,15	14,38	74,52

A reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido e o fluxo de radiação solar incidente, foi obtida segundo a equação (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{L_{\lambda} \times \pi}{K_{\lambda} \times \cos Z \times d_r} \quad (2)$$

em que: *a* e *b* são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), respectivamente, detectadas pelo TM – Landsat 5, cujos valores constam na Tabela 1; *ND* é a intensidade do pixel (número inteiro compreendido entre 0 e 255, inclusive) e *i* corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) do TM –Landsat 5.

em que: L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, k_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), *Z* é o ângulo zenital solar e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol, em unidades astronômicas, obtido segundo a equação (3):

$$d_r = 1 + 0,0167 \text{sen} \left[\frac{2\pi(J - 93,5)}{365} \right] \quad (3)$$

Albedo planetário e da superfície

A partir da refletância planetária de cada uma das seis bandas reflectivas do Landsat 5 – TM, obteve-se o albedo planetário (α_{toa}), que representa o albedo não corrigido de cada pixel da imagem. Para a obtenção do albedo, com base na refletância de bandas que não cobrem

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (4)$$

em que: ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, respectivamente.

O albedo da superfície (α), ou o albedo corrigido devido aos efeitos atmosféricos foi obtido através da equação (5) segundo (Bastiaanssen, 2000; Allen et al., 2002), aplicado para dias de céu claro:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - a}{b} \quad (5)$$

em que: α_{toa} é o albedo planetário, a é a radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04. No SEBAL, esse valor geralmente é considerado igual a 0,03 (Bastiaanssen, 2000) e b corresponde ao quadrado da transmissividade atmosférica (τ_{sw}), que é obtida para condições de céu claro em função da altitude de cada pixel, segundo equação (6) proposta por Allen et al. (2002).

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} \times z \quad (6)$$

totalmente o espectro de 0,3 a 3,0 μm , foi utilizada uma combinação linear das refletâncias planetárias obtidas na etapa anterior, segundo procedimento utilizado por Bastiaanssen (2000), válido para dias de céu claro, dado pela equação (4):

em que: z representa a altitude de cada pixel.

Índices de Vegetação

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) foi obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_4) e do vermelho (ρ_3) e a soma entre elas (Allen et al., 2002), dado pela equação (7):

$$IVDN = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (7)$$

em que: ρ_4 e ρ_3 correspondem, respectivamente, às refletividades das bandas 4 e 3 do TM – Landsat 5. O IVDN é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde da área, cujos valores variam de -1 a +1.

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado aos Efeitos do Solo (IVAS) utilizou-se a equação (8) proposta por (Huete, 1988):

$$IVAS = \frac{(1+L)(\rho_4 - \rho_3)}{(L + \rho_4 + \rho_3)} \quad (8)$$

em que: L é constante, cujo valor usado foi 0,1 (Accioly et al., 2002).

O Índice de Área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. Tal índice é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, segundo (Allen et al., 2002) ele é computado pela equação (9):

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - IVAS}{0,59}\right)}{0,91} \quad (9)$$

Emissividades da superfície

Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, surge a necessidade de se introduzir a emissividade de cada pixel (ϵ_{NB}) no domínio espectral da banda termal do TM – Landsat 5 (10,4 a 12,5 μm), segundo Allen et al. (2002) pode ser obtida para $IVDN > 0$ e $IAF < 3$ com base na equação (11):

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \times IAF \quad (11)$$

Para a emissividade de cada pixel (ϵ_0), segundo Allen et al. (2002) pode ser obtida para $IVDN > 0$ e $IAF < 3$ com base na equação (12):

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \times IAF \quad (12)$$

Por outro lado, para pixels com $IAF \geq 3$, $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$ e corpos de água ($IVDN < 0$), $\epsilon_{NB} = 0,98$ e $\epsilon_0 = 0,98$ (Allen et al., 2002).

Temperatura da superfície

A temperatura da superfície (T_s), em graus Kelvin, foi determinada em função da radiância espectral da banda 6 (termal) e ϵ_{NB} através da seguinte expressão (Allen et al., 2002):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{nb} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (13)$$

em que: K_1 e K_2 são constantes iguais a 607,76 $\text{W.m}^2 \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e 1260,56 K, respectivamente.

Radiação multiespectral

A radiação de onda longa emitida por cada pixel ($R_{L\uparrow}$) e a radiação de onda longa incidente, emitida pela atmosfera na direção da superfície ($R_{L\downarrow}$), foram obtidas com base nas equações (14) e (15) respectivamente:

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \times \sigma \times T_s^4 \quad (14)$$

em que: ϵ_0 é a emissividade de cada pixel, σ é a constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5,67.10^{-8} \text{W.m}^{-2} \text{K}^{-4}$), T_s é a temperatura da superfície (K).

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \quad (15)$$

em que: ε_a é a emissividade atmosférica, proposta por (Bastiaanssen, 1998; Allen et al., 2002) e obtida pela equação (16):

$$\varepsilon_a = 0,85(-\ln(\tau_{sw}))^{0,99} \quad (16)$$

A radiação de onda curta incidente ($R_{s\downarrow}$) corresponde ao fluxo de radiação

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \times \cos Z \times d_r \times \tau_{sw} \quad (17)$$

em que: G_{sc} é a constante solar (1367 W m^{-2}), Z é ângulo zenital solar, d_r é o inverso do quadrado da distância relativa

solar (direta e difusa) que atinge a superfície terrestre (em condição de céu claro) foi proposta por (Bastiaanssen, 1998), pela equação (17):

Terra-Sol e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica.

Saldo de radiação

O saldo de radiação à superfície (R_n) foi computado utilizando-se a equação (18) do balanço de radiação à superfície:

$$R_n = R_{s\downarrow}(1 - \alpha) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (18)$$

em que: $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente, α é o albedo corrigido de cada pixel, $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel, $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e ε_0 é a emissividade de cada pixel. As densidades de fluxos são expressas em W m^{-2} .

Classificação multiespectral

A classificação não supervisionada é um método computacional automático de agrupamento onde os algoritmos de classificação utilizam dados de treinamento como base para classificação de cada pixel (ERDAS, 1999). Os pixels são examinados e agregados em classes com base nos agrupamentos naturais presentes nos valores da imagem. Os valores correspondentes a certo tipo de cobertura se encontram próximos; enquanto que valores de diferentes classes devem estar comparativamente distintos no espaço de atributos da imagem (Lillesand et al., 2004). O resultado da classificação não supervisionada consiste em agrupamentos de pixels com características espectrais similares (ERDAS, 1999), ou seja, é necessário o mínimo conhecimento do tipo de cobertura de solo da área de estudo, tendo em vista que a classificação não possui nenhuma associação com as classes naturais de cobertura.

A partir da carta do IVDN foi possível identificar com mais nitidez as diferentes classes de cobertura do solo, sendo então possível aplicar o processo da classificação de cada pixel. Desse modo, foram geradas duas cartas temáticas de cobertura de solo do município, tornando possível quantificar as classes temáticas nas duas datas de estudo. A quantificação das áreas das classes existentes foi obtida gerando-se um plano de informação contendo a frequência de cada classe do IVDN. Assim, foi possível mensurar a área correspondente a cada tipo de cobertura. O levantamento da vegetação teve como base classificatória e de suporte conceitual cinco classes referentes à cobertura do solo (Veloso et al., 1991; Veloso et al., 1992; Vieira, 1984).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo foram adotados os alvos comparativos A1 (área irrigada), A2 (solo exposto), A3 (água superficial) e A4 (vegetação nativa). As distribuições da emissividade da superfície (ϵ_0) para os dias estudados são apresentadas na Figura 2. Nas áreas de solo exposto os valores de ϵ_0 foram de 0,951 e 0,956, para os anos de 1988 e 2008, respectivamente. Na área irrigada o valor encontrado foi de 0,956 para 1988 e de 0,971 no ano de 2008, enquanto para a área com vegetação nativa os valores da emissividade foram de 0,955 e 0,980 para 1998 e 2008, respectivamente. Valores semelhantes da emissividade foram encontrados por Ouaidrari et al. (2002) para áreas com vegetadas (0,98), e para a água superficial Becker (1987) e Ouaidrari et al. (2002) encontraram valores de 0,98; Para esses autores a emissividade pode ser a maior fonte de erros nas estimativas de temperatura da superfície usando imagens de satélite. O estudo ainda revela que em manchas de solo descoberto a emissividade foi de 0,9. De acordo com Ouaidrari et al. (2002), a emissividade de solos expostos pode variar de 0,92 a 0,96. Por outro lado, os estudos de Morse et al. (2001) e Allen et al. (2002) arbitraram para a emissividade dos solos descobertos o valor de 0,965.

Na Tabela 2 constam os valores do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), albedo e temperatura da superfície dos quatro alvos nas datas analisadas. O IVDN foi máximo na área A4 e negativo em A3. Observa-se que de 1988 para 2008 houve um aumento do IVDN em todas as classes, exceto para aquela que representa a superfície de água. Esse fato pode ser associado à mudança na cobertura da superfície, ou seja, a substituição de vegetação nativa por áreas de cultivo e pastagem. O aumento do NDVI também pode ser associada à quantidades de água armazenada no solo referente aos últimos três meses de precipitação anteriores a obtenção de cada imagem. Verifica-se que para a área irrigada a

temperatura variou de 29,8 a 28,5 °C e na área com vegetação nativa de 29,2 a 28,4 °C. Os valores encontrados para cada alvo estão associados a época do ano e o regime climático da região, bem como ao vigor da vegetação para cada alvo que é associado ao IVDN.

Figura 2 - Emissividade da superfície (ϵ_0) para área de estudo em 16/08/1988 (A) e 16/03/2008 (B).

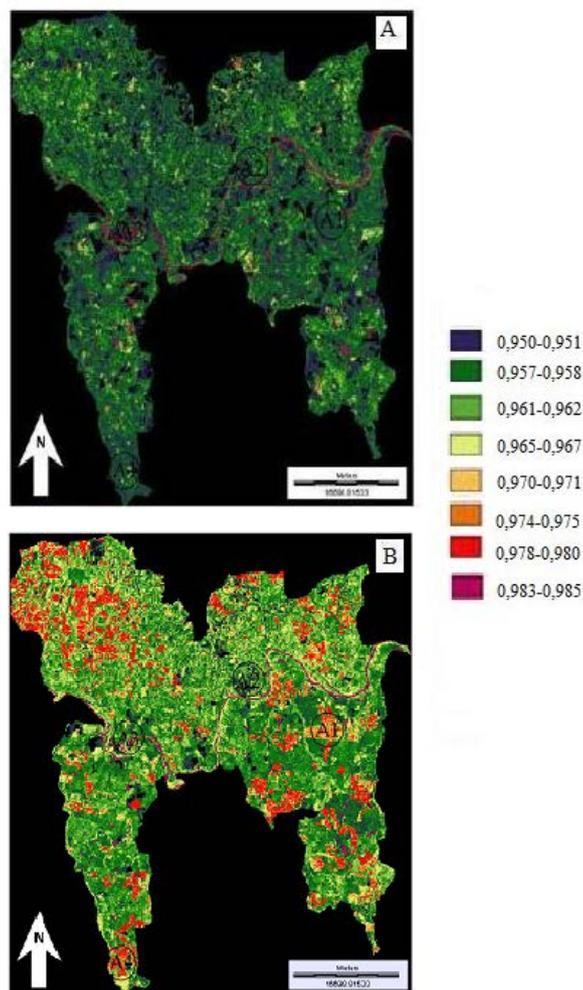


Tabela 2 - Parâmetros obtidos em quatro diferentes alvos, para os dias 16/08/1988 e 16/03/2008. A1 (área irrigada), A2 (solo exposto), A3 (água superficial) e A4 (vegetação nativa)

Parâmetros	A1	A2	A3	A4
IVDN (1988)	0,261	0,222	-	0,425
IVDN (2008)	0,754	0,280	-	0,802
Emissividade da superfície, ϵ_0 (1988)	0,956	0,951	0,98	0,955
Emissividade da superfície, ϵ_0 (2008)	0,971	0,965	0,98	0,980
Temperatura da superfície, Ts (°C) (1988)	29,8	31,2	26,3	29,2
Temperatura da superfície, Ts (°C) (2008)	28,5	31,1	29,3	28,4

A distribuição espacial da temperatura da superfície nas duas datas estudadas está representada na Figuras 3. Observa-se que os valores de temperatura da superfície apresentaram, durante o período estudado, uma nítida tendência de aumento, que pode ser explicado pela modificação na cobertura da superfície, como também pela época do ano de registro da imagem, tendo em vista que a imagem de 2008 foi obtida no período seco da região, enquanto que a imagem de 1988 foi referente ao período chuvoso. Os valores da temperatura da superfície em 1998 variou entre 27,7 e 29,6 °C (Figura 3A) e em 2008 entre 29,6 e 33,5°C. Em ambas as datas, a temperatura da superfície foi menor no centro e na parte norte da área de estudo do que na parte do sul do município do Rio Pardo.

Nas imagens do IVDN para as datas analisadas, os níveis de cinza mais claros expressam valores que representam índices de vegetação com maior desenvolvimento, enquanto os níveis de cinza mais escuros representam baixos índices de vegetação com valores próximos a zero. Os valores baixos correspondem aos alvos urbanos como área construída, solo exposto e água. Assim, percebe-se que houve uma substituição do tipo de solo na parte noroeste da região de estudo, pois em 1998

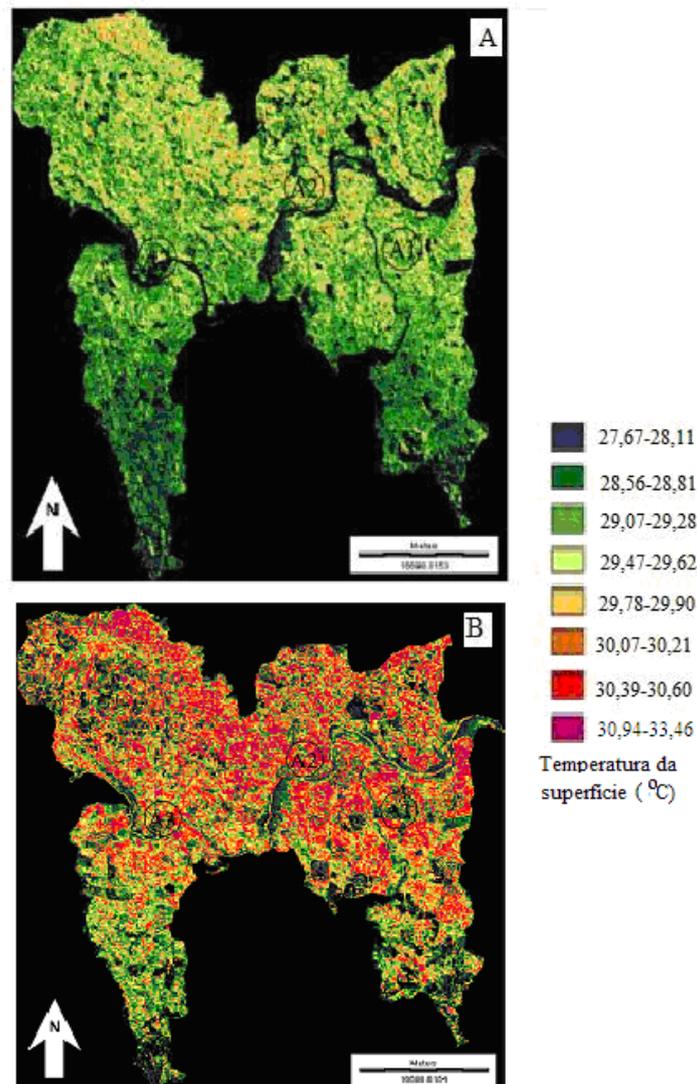
o IVDN tinha valores maiores (Figura 4A) do que em 2008 (Figura 4B).

A Figura 5 exhibe os resultados da classificação das imagens do IVDN para os dias 16/08/1988 e 16/03/2008 no município do Rio Pardo. Para facilitar a interpretação dos resultados, a composição foi fatiada em apenas cinco classes temáticas. As áreas de solo exposto e superfícies de água foram associadas à fatia de IVDN com níveis de cinza mais escuros e aquelas com níveis de cinza mais claros representam as áreas de maior vigor vegetativo. As áreas com solo exposto e vegetação rala cresceram consideravelmente de 1998 (Figura 5A) para 2008 (Figura 5B). Inversamente, as áreas com vegetação semi-densa e densa diminuíram no período de estudo; e a área com água superficial, representada na figura pelo rio Jacuí, praticamente não apresentou nenhuma alteração. As áreas que apresentaram maior variabilidade na sua cobertura foram aquelas localizadas às margens do rio Jacuí e ao sul da região, possivelmente em face da expansão urbana naquela área.

Como resultado do levantamento da situação da cobertura de terra da área, foram obtidos dois mapas temáticos com as classes de vegetação específicas, sendo então gerados valores quantitativos com

relação as suas áreas de abrangência e percentagem (Figura 6).

Figura 3 - Temperatura da superfície (°C) para área de estudo em 16/08/1988 (A) e 16/03/2008 (B).



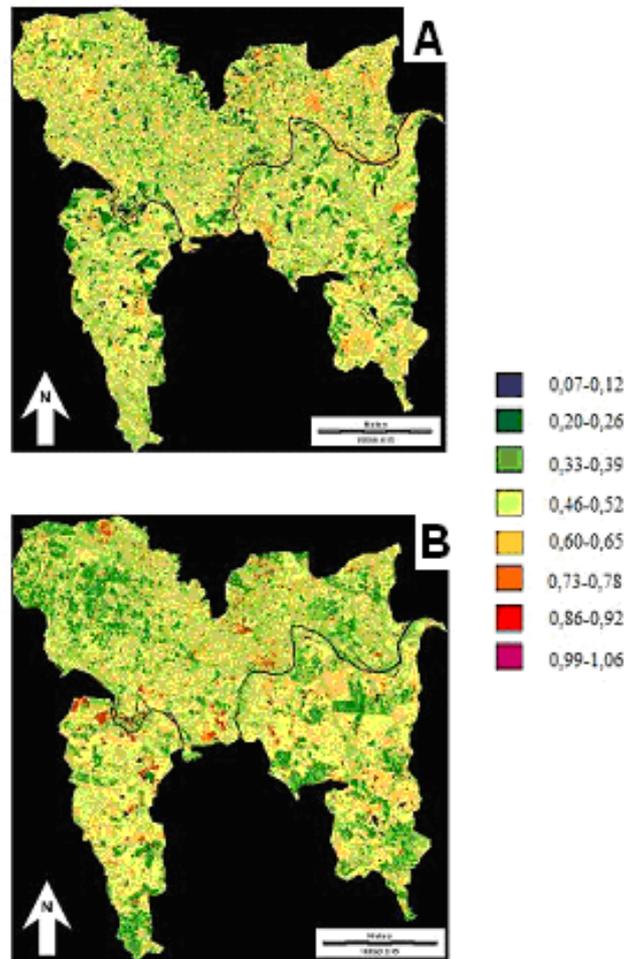
Através do processo de quantificação das classes de cobertura de solo existente na área de estudo, verificou-se que para o ano de 1988 havia 347,9 km² de cobertura do tipo solo exposto e para o ano de 2008 a mesma classe apresentou e 436,4 km². No período entre 1988 e 2008 houve um aumento de 25,44% na área de cobertura dessa classe, que corresponde a uma área de 88,5 km². Por outro lado, a classe de vegetação semi-densa representava no ano

de 1988 exatamente 30,7% da área total; porém para o ano de 2008 a mesma classe representou 24,7% dessa área, logo, uma redução de 121 km². No período de 1988 a 2008 houve um aumento de água superficial, redução na vegetação rala, acompanhada pelo aumento da vegetação densa. Ainda foi evidenciado que as margens do rio Jacuí, e em algumas áreas adjacentes, a classe de vegetação densa não sofreu grande redução, implicando que

houve a conservação dessas áreas ao longo do período estudado. Essa dinâmica da vegetação pode ser associada às atividades antrópicas, tais como agricultura, agropecuária e mineração, que através de práticas de manejo desordenado resulta em

grande mudança na paisagem natural da região. Além disso, pode-se acrescentar ainda as características edafoclimáticas da região, tais como as fortes chuvas que transportam grande quantidade de sedimentos.

Figura 4 - IVDN para a área de estudo em 16/08/1988 (A) e 16/03/2008 (B).



Na Figura 7 são apresentados os valores do saldo de radiação (R_n) na região de estudo nas datas analisadas. Os valores mínimo e máximo de R_n foram, respectivamente, de 312,2 e 395,3 $W\ m^{-2}$ para 1988, enquanto para 2008 eles foram 435,9 e 558,2 $W\ m^{-2}$, respectivamente. Portanto, de modo geral, houve mudanças significativas de um ano para o outro nos valores de R_n na região

de estudo. Essas mudanças estão associadas à variabilidade na cobertura da superfície do solo, ou seja, o processo dinâmico de remoção da vegetação nativa propiciou que R_n sofresse modificações sensíveis. A variabilidade dos componentes do balanço de energia, tais como os fluxos de calor sensível, calor

latente e calor do solo, está diretamente relacionada ao tipo da cobertura do solo.

Figura 5 - Mapa temático da cobertura do solo para área de estudo de acordo com IVDN de cada pixel para a área de estudo em 16/08/1988 (A) e 16/03/2008 (B).

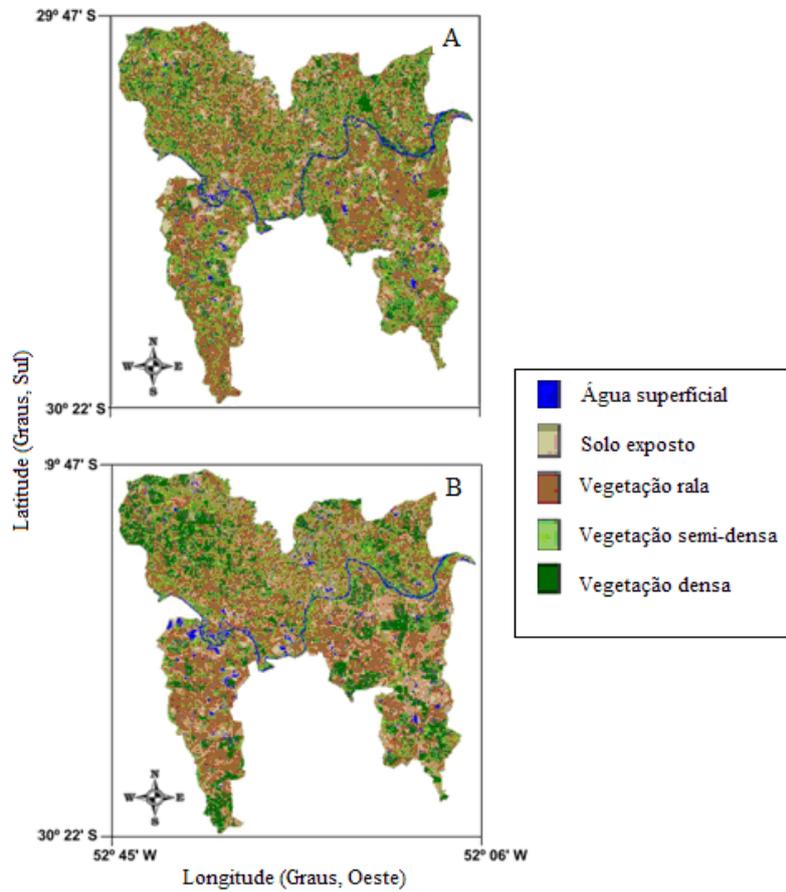
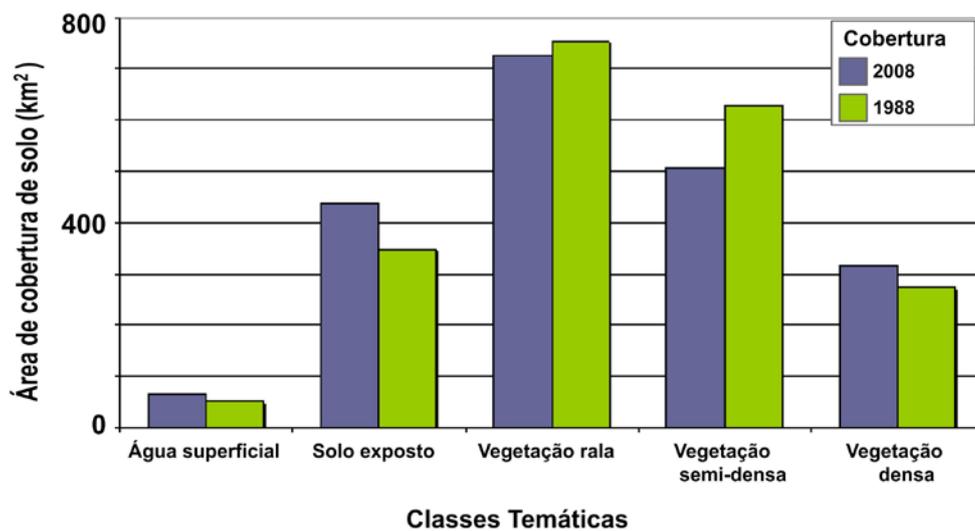


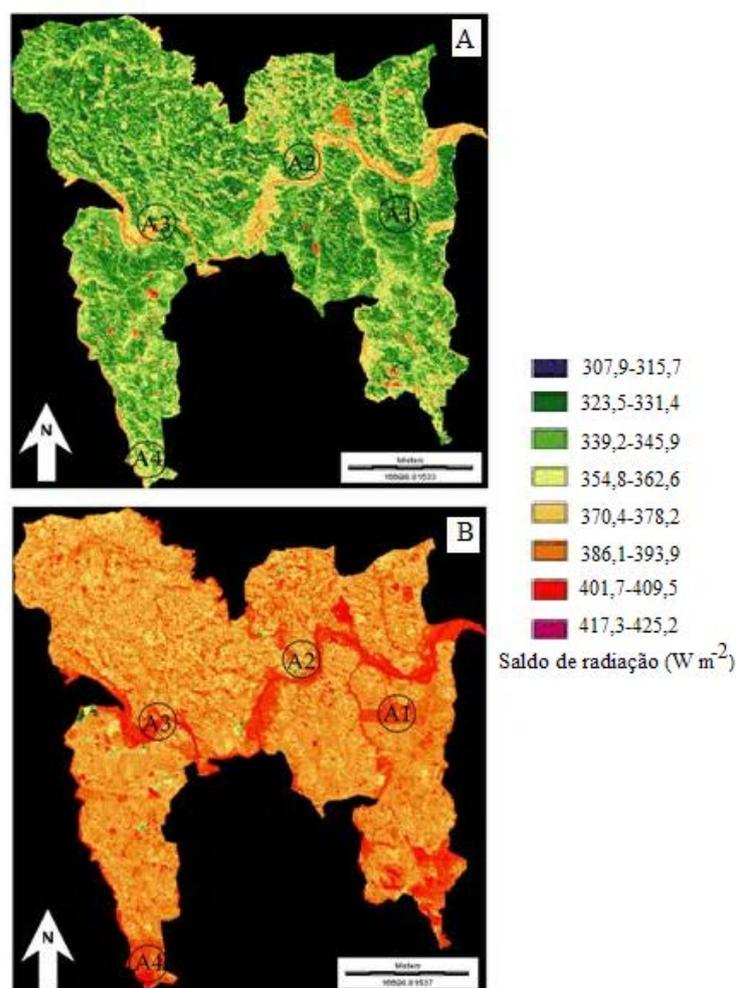
Figura 6 - Variação na extensão (km²) das áreas das classes de cobertura de solo obtidas nas datas estudadas.



Por exemplo, em superfícies com solo exposto, tal como em desertos, o calor sensível pode ser maior do que o calor latente; entretanto, ocorre o oposto em superfícies de vegetação nativa ou em áreas irrigadas (Silva 2009, comunicação pessoal). A paisagem de Rn na região estudada mudou completamente de 1998

(Figura 7A) para 2008 (Figura 7B). Os valores de Rn em 1998 foram, em geral, inferiores a $354,8 \text{ W m}^{-2}$, enquanto que em 2008 eles foram superiores a esse valor, especificamente às margens do rio Jacuí que apresentou classe de Rn de $536,16\text{-}554,23 \text{ W m}^{-2}$.

Figura 7 - Saldo de radiação à superfície para a área de estudo em 16/08/1988 (A) e 16/03/2008 (B)



O saldo de radiação na área irrigada (A1) foi $333,6$ e $527,3 \text{ W m}^{-2}$ para os anos de 1988 e 2008, respectivamente. Na área de

solo exposto (A2), o Rn encontrado para o ano de 1998 foi de $337,9 \text{ W m}^{-2}$, enquanto que para o ano de 2008 foi de $442,3 \text{ W m}^{-2}$

². Portanto, os valores de Rn para área de solo exposto são próximos, porém, para a imagem de 2008 esses valores são bem inferiores quando comparados com aqueles encontrados para a área irrigada. No alvo A3 (Rio Jacuí) foram observados valores de Rn superiores aos da área irrigada, que foram de 371,6 e 529,7 W m⁻² para os anos de 1988 e 2008, respectivamente. Na área com vegetação nativa (A4), o Rn para o ano de 1998 foi de 349,8 W m⁻² e para o ano de 2008 foi de 510,4 W.m⁻². Segundo Daughtry et al. (1990) o erro médio entre medições e estimativas de Rn com sensoriamento remoto são inferiores a 7 %.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A classe de cobertura predominante no município de Rio Pardo, RS, é do tipo vegetação rala, ocupando pouco mais de 700 km² da área territorial nos anos de 1998 e 2008. A identificação do tipo de vegetação, solo e águas superficiais se constituem numa informação importante para tomadas de decisão. A metodologia empregada no estudo pode ser utilizada com sucesso para classificar e quantificar as classes de cobertura de solo. De modo geral, as técnicas de processamento de imagem de satélites se mostraram eficientes no cômputo dos valores das componentes do balanço de radiação. Os componentes do balanço radiação, bem

como a temperatura da superfície, apresentaram forte variabilidade de 1998 para 2008, em face da mudança da cobertura do solo.

AGRADECIMENTOS:

Ao CNPq, pela bolsa de Doutorado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L. J.; PACHECO, A.; COSTA, T. C. C.; LOPES, O. F.; OLIVEIRA, M. A. J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.06, n.03, p.492-498, 2002.

ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho implementation – Advanced training and users manual, v.01, 2002. 97p.

ANDREAE, M., MERLET P.. Emissions of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, v.15, n.04, p.955-966. 2001.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v.229, p.87-100, 2000.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. The surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 1 formulation, *Journal of Hydrology*, v.212-213, p.198-212, 1998.

CATELAN, D.; PEREIRA, R. S. Análise temporal do uso da terra no

- Município de Santa Margarida do Sul - RS com imagens Landsat 7 ETM+. In: Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica Aplicado à Engenharia Florestal, 3., Curitiba. Anais... São Paulo: USP, 1994. p.16-29.
- DAUGHTRY, C., S. T.; KUSTAS, W. P.; MORAN, M. S., PINTER, P. J. Jr.; JACKSON R. D.; BROW, P.W.; NICHOLS, W. D. & GAY, L. W. Spectral estimates of Net radiation and soil heat flux. *Remote Sensing of Environment*, v.32, p.111-124, 1990.
- DI PACE, F. T., SILVA, B. B., SILVA, V. P. R., SILVA, S. T. A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.4, p.385-392, 2008.
- ERDAS. Field Guide. Atlanta: ERDAS, 1999. 672 p.
- HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. *International Agrophysics*, v.04, n.04, p.367-376, 1988.
- IBGE. Banco de Dados Agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 11 ago. 2011.
- KAUFMAN, Y. J., JUSTICE, C. O., FLYNN, L. P., KENDALL, J. D., PRINS, E. M., GIGLIO, L., WARD, D. E., MENZEL, W. P., & SETZER, A. W. Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research*, v.103, p.32215- 32238. 1998.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. Remote sensing and image interpretation. 5. ed. New York: Wiley & Sons, 2004. 763 p.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v.08, n.03, p.517-523, 1987.
- MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B., ABREU, S. L. Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project. *Solar Energy*, v.81, p.517-528. 2007.
- MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41 p.
- MORSE, A., ALLEN, R. G., TASUMI, M., KRAMBER, W. J., TREZZA, R. WRIGHT, J. Application of the SEBAL Methodology for Estimating Evapotranspiration and Consumptive Use of Water Through Remote Sensing. Final Report, 220 p, 2001.
- OLIVEIRA, L. T. de; CARVALHO, L. M. T. de; ACERBI JUNIOR, F. W. Mapeamento e ecologia de paisagem dos fragmentos de floresta semidecidual do Município de Lavras - Minas Gerais. In: Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica Aplicado à Engenharia Florestal, 5., Curitiba. Anais... Curitiba: FUPEF, 2002. p. 237-239.
- OUAIDRARI, H., GOWARD, S. N., CZAJKOWSKI, K P., SOBRINO, J. A. & VERMOTE, E. Land surface temperature estimation from AVHRR thermal infrared measurements: In assessment for the AVHRR land Pathfinder II data Set. *Remote Sensing of Environment*, v.81, p.114-128, 2002.
- RODRIGUEZ, A. C. M.; HERNANDEZ FILHO, P.; MOREIRA, M. A. Mapeamento multi-temporal do uso e cobertura do solo do Município de São Sebastião - SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM – Landsat e HRV - Spot. In: GIS

BRASIL 2000, SHOW DE GEOTECNOLOGIAS, 6., A ERA DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 2000, Salvador. Anais... Curitiba: Fator GIS, 2000.

SPICHTINGER, N., WENIG, M., JAMES, P., WAGNER, T., PLATT, U., STOHL, A.. Satellite detection of a continental-scale plume of nitrogen oxides from boreal forest fires. *Geophysical Research Letters*, v.28, p.4579-4582. 2001

VELOSO, H. P.; GÓES FILHO, L. Fitogeografia brasileira: classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. In: PROJETO RADAMBRASIL, 1982, Salvador. (Boletim Técnico. Série Vegetação, 1).

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE/PROJETO RADAMBRASIL, 1991. 112 p.

VIEIRA, E. F. Rio Grande do Sul: Geografia física e vegetação. Porto Alegre: Sagra, 1984. 304 p.

VIGNOLA, F., HARLAN, P., PEREZ, R., KMIĘCIK, M. Analysis of satellite derived beam and global solar radiation data. *Solar Energy*, v.81, p.768-772. 2007

YULIANG, Q., SHANGMIN, Z., ZHEN, L., BEI, J. Application of China-Brazil Earth resources satellite in China. *Advances in Space Research*, 43 917-922. 2009.

WOOSTER, M.J., ZHUKOV, B., OERTEL, D. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, v.86, p.83-107. 2003.