



Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Estimativa do albedo comparando metodologias de correção atmosférica em áreas de cana-de-açúcar e cerrado na bacia do rio Mogi Guaçu-SP

Maurílio Neemias dos Santos¹, Laurizio Emanuel Ribeiro Alves², Ismael Guidson Farias de Freitas², Eridiany Ferreira da Silva², Heliofábio Barros Gomes³

¹Graduado em Meteorologia e Bolsista CNPQ pelo Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Av. Lourival Melo Mota, s/n – Tabuleiro dos Martins – Bloco 32 – Campus A.C. Simões, Alagoas, Brasil – CEP: 57072-900. Autor correspondente: maurilioneemias2010@gmail.com ²Graduando em Meteorologia pelo Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Av. Lourival Melo Mota, s/n – Tabuleiro dos Martins – Bloco 32 – Campus A.C. Simões, Alagoas, Brasil – CEP: 57072-900. laurizio.r@gmail.com / ismael.guidson@gmail.com / eridianysilva@hotmail.com ³Professor Doutor, do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Av. Lourival Melo Mota, s/n – Tabuleiro dos Martins – Bloco 32 – Campus A.C. Simões, Alagoas, Brasil – CEP: 57072-900. heliofab@gmail.com

Artigo recebido em 26/07/2016 e aceito em 10/08/2016

RESUMO

O uso de técnicas de sensoriamento remoto nos últimos anos tem se tornado cada vez mais constante nas pesquisas sobre a cobertura vegetal, direcionando as mais variadas aplicações, principalmente quando se deseja analisar e identificar padrões de alteração no local estudado de forma clara e objetiva, visando assim obter maior conhecimento em áreas de difícil acesso. A eficiência na obtenção de dados gera resultados confiáveis principalmente com relação a dados meteorológicos com um baixo custo. O presente estudo teve como objetivo analisar o albedo da superfície com base em imagens do TM Landsat5 e alguns dados meteorológicos obtidos através de estações micrometeorológicas em situ. A área de estudo está localizada no estado de São Paulo, na região da bacia do rio Mogi-Guaçu, município de Santa Rita do Passa Quatro, no estado de São Paulo (21°37'09"S; 47°37'56"W; 710 m). Foram utilizadas oito imagens TM - Landsat5 do ano de 2005 para os dias 22/02, 11/04, 29/05, 14/06, 16/07, 01/08, 17/08, 21/11. Foram empregados os procedimentos do Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) e do albedo superficial de diferentes autores. As estimativas da correção atmosférica mostraram que o albedo do cerrado apresenta valores inferiores ao encontrado sobre a cana-de-açúcar e demais áreas da bacia, com exceção de corpos d'água. Os diferentes métodos abordados neste estudo mostraram que o método Idaho apresentou os melhores resultados na estimativa quando comparada com medições piranométricas apresentando Erro Relativo inferior aos métodos aqui apresentados.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, Albedo, Landsat5.

Estimation of albedo comparing methodologies of atmospheric correction in areas of sugarcane and cerrado in the Mogi Guaçu-SP basin

ABSTRACT

The use of remote sensing techniques in recent years has become increasingly constant in research on plant cover, directing the most varied applications, especially when it is desired to analyze and identify patterns of change in the studied area in a clear and objective way, aiming to Knowledge in areas of difficult access. The efficiency in obtaining data generates reliable results mainly in relation to meteorological data with a low cost. The present study had as objective to analyze the albedo of the surface based on images of TM Landsat5 and some meteorological data obtained through micrometeorological stations in situ. The study area is located in the state of São Paulo, in the region of the Mogi-Guaçu river basin, municipality of Santa Rita do Passa Quatro, in the state of São Paulo (21°37'09"S; 47°37'56"W; 710 m). Eight TM - Landsat5 images from the year 2005 were used for the days 22/02, 11/04, 29/05, 14/06, 16/07, 01/08, 17/08, 21/11. The procedures of Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and superficial albedo of different authors were used. Estimates of the atmospheric correction showed that the albedo of the cerrado presents values inferior to the one found on sugarcane and other areas of the basin, except for water bodies. The different methods discussed in

this study showed that the Idaho method presented the best results in the estimation when compared to pyranometric measurements presenting Relative Error lower than the methods presented here.

keywords: remote sensing, albedo, landsat 5.

Introdução

O sensoriamento remoto tem sido utilizado para o mapeamento da superfície terrestre há várias décadas. Seus primeiros produtos eram caros e apresentavam grande restrição temporal e espacial. A partir dos sensores orbitais, tornou-se viável a realização de estudos multitemporais em grandes áreas, e por determinado período de tempo (Freitas et al. 2007). O sensoriamento remoto orbital tem se apresentado nos últimos anos como uma ferramenta promissora para avaliações tanto no aspecto meteorológico quanto climático (Taghvaeian e Neale, 2011). Neste sentido, a estimativa do albedo da superfície pode ser realizada a partir de dados de sensoriamento remoto por diversos algoritmos, partindo-se dos valores de reflectância da superfície contidos nas bandas espectrais de distintos sensores (Liang et al. 2002).

O albedo da superfície é um parâmetro muito relevante, pois o seu monitoramento global possibilita identificar importantes alterações que ocorrem em diversos biomas do nosso planeta, resultantes de processos naturais e/ou antropogênicos. Por essa razão, em alguns programas globais têm sido geradas imagens de satélite que propiciam a determinação do albedo e diferentes índices de vegetação, que são imprescindíveis ao monitoramento ambiental do nosso planeta.

O sensoriamento remoto aplicado à agricultura oferece diversas vantagens, pois possibilita a geração de séries pontuais das cenas estudadas, possui cobertura espacial muito ampla e

as informações obtidas podem ser espacializadas e, em geral, revelam aspectos importantes para o planejamento agrícola, particularmente de áreas irrigadas (Bastiaassen, 2000).

Este trabalho tem como objetivo principal a obtenção do albedo em áreas de vegetação (Cerrado e Cana-de-açúcar), mediante imagens obtidas com o Mapeador Temático do satélite Landsat5 aplicadas a diferentes metodologias de correção atmosférica para identificar o método mais preciso. Dados do albedo medido à superfície, durante um ano de medições no cerrado e cana-de-açúcar, localizada no município de Santa Rita do Passa Quatro - SP. A pesquisa visa ainda, avaliar o impacto da correção atmosférica na refletividade das bandas espectrais, muitas vezes usado sem a mencionada correção.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo compreende parte da bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, que inclui o município de Santa Rita do Passa Quatro (21°42'37"S; 47°28'41"W; 748 m), Estado de São Paulo, conforme ilustrado na Figura 1. O clima da região de Santa Rita do Passa Quatro é sazonal: ameno e seco no inverno e quente e úmido no verão, com temperaturas médias mensais que variam entre 19°C, no mês mais frio (junho), a 24°C, no mês mais quente (fevereiro). A precipitação pluviométrica média anual é de 1.498,0 mm, apresentando valores médios mensais superiores a 200 mm durante os

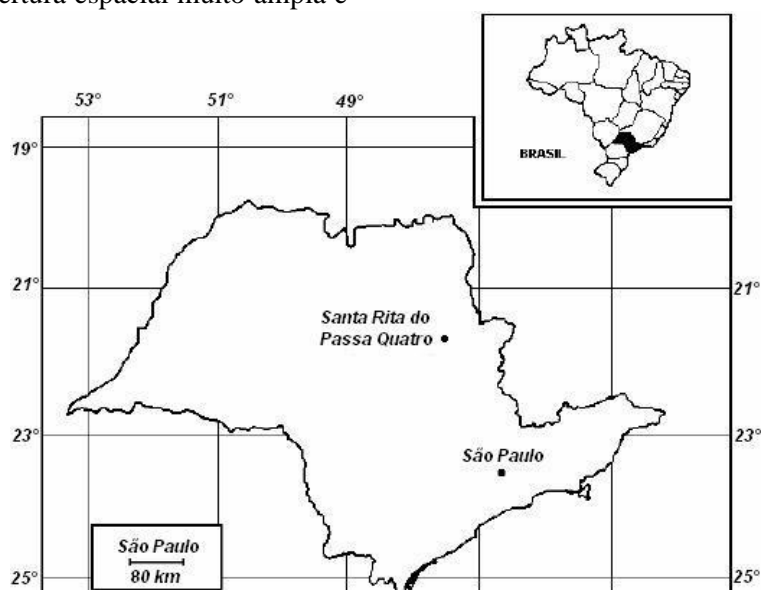


Figura 1 - Localização do município de Santa Rita do Passa Quatro (SP), indicando a sua posição em níveis nacional e estadual (modificado de Salis et al., 1995).

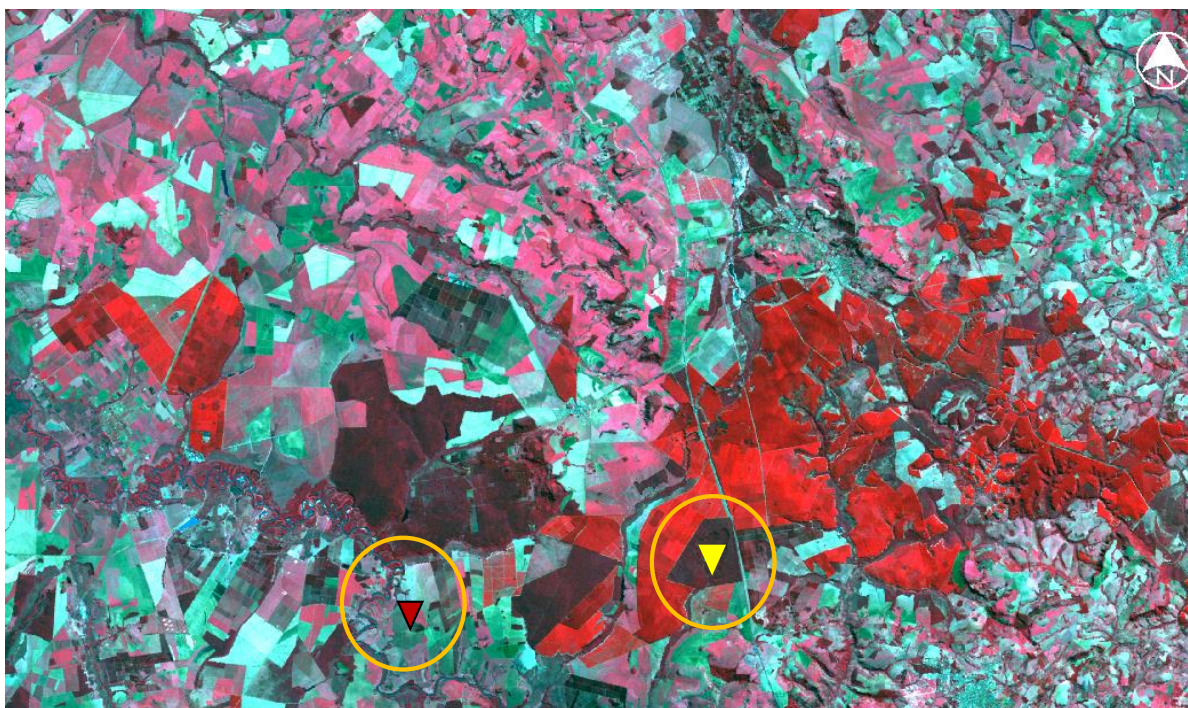


Figura 2 - Recorte da imagem TM – Landsat5 da área em estudo com combinação RGB das bandas espectrais 5, 4, 3 em composição falsa cor para o dia 16/07/2005, realçando as estações meteorológicas mais próximas e a posição das torres micrometeorológicas nos biomas de cerrado (▼) e cana-de-açúcar (▽).

meses de dezembro a fevereiro, enquanto os meses de junho a agosto os valores são inferiores a 50 mm (Pires Neto et al., 2005). O retângulo selecionado para o estudo possui as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo (longitude 47°51'09''W e latitude 21°32'37''S) e canto inferior esquerdo (longitude 47°51'21''W e latitude 21°43'07''S), canto superior direito (longitude 47°34'21''W e latitude 21°32'53''S) e canto inferior direito (longitude 47°34'32''W e latitude 21°43'24''S) (Figura 2).

Dados obtidos

Os dados necessários à obtenção do albedo em superfície foram obtidos de um experimento de campo instalado próximo ao município de Santa Rita do Passa Quatro (21°42'37''S; 47°28'41''W; 748 m), Estado de São Paulo.

Dados micrometeorológicos coletados no período de 07 de fevereiro de 2005 a 06 de fevereiro de 2006, nos biomas Cerrado e cana-de-açúcar, foram empregados para calibração e validação do SEBAL/METRIC. Esses dados foram cedidos pelo professor Dr. Humberto Ribeiro da Rocha, do Departamento de Ciências Atmosféricas, Laboratório de Biosfera-Atmosfera (IAG/USP).

A instrumentação utilizada nas duas torres micrometeorológicas instaladas em cada sítio, inclui medições automáticas de diferentes elementos do tempo e clima, que possibilita

adeterminação de fluxos energéticos e de massa (CO₂ e vapor d'água).

As medições micrometeorológicas no bioma Cerrado, com área de aproximadamente 1060 hectares, foram iniciadas em janeiro de 2000. Instalou-se, para tanto, uma plataforma instrumental (torre Hi - Way Access Intl de 21 m) (Figura 2), localizada na Gleba Pé de Gigante (21° 37'9,26'' S; 47° 37'56,38'' W; 710 m), município de Santa Rita de Passa Quatro, SP, onde fica a nascente do córrego Paulicéia, que é afluente da margem direita do rio Mogi-Guaçu. A fisionomia predominante na área é de cerrado *sensu stricto*, com altura do dossel de aproximadamente 10 m, circundado por plantações de eucalipto, citrus e cana-de-açúcar (Rocha et al., 2002).

A torre da cana-de-açúcar foi instalada no início de fevereiro de 2005, num talhão de aproximadamente 351 hectares, na Fazenda São José do Pulador, Usina Santa Rita (21°38'S; 47°47'W; 552 m), no município de Luiz Antônio, SP. O talhão foi cultivado com soca de cana-de-açúcar, variedade SP83-2847, com espaçamento entre linhas de 1,5 m e com altura média de 3,5 m por ocasião das colheitas, realizadas em 14 de abril de 2005 e 10 de maio de 2006 (segundo e terceiro cortes, respectivamente).

Obtenção e tratamento das imagens

Para alcançar os objetivos da pesquisa foram utilizadas oito imagens da área de estudo, captadas

pelo sensor TM - Landsat 5, que foram adquiridas junto à Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Essas imagens correspondem à órbita 200 e ponto 75, obtidas aproximadamente às 9h30min (tempo legal) nos dias 22 de fevereiro, dia sequencial do ano 53 (DA53), 11 de abril (DA101), 29 de maio (DA149), 14 de junho (DA165), 16 de julho (DA197), 01 de agosto (DA213), 17 de agosto (DA229) e 21 de novembro (DA325), todos do ano de 2005. Esses dias foram selecionados por não apresentar cobertura de nuvens sobre a região de estudo, durante a passagem do TM Landsat 5 sobre a área de estudo.

A seguir são descritas as etapas do processamento do SEBAL-METRIC no recorte da imagem órbita/ponto 200/75, objetivando a obtenção do albedo da superfície com os três diferentes métodos (Allen, Idaho e METRIC) com e sem correção atmosférica, desenvolvido através da ferramenta Model Maker do software ERDAS IMAGE 9.2.

Na Figura 3 está representado um diagrama esquemático, resumindo todas as etapas do processamento das imagens, visando proporcionar um melhor entendimento de todas as etapas computacionais da obtenção do albedo da superfície.

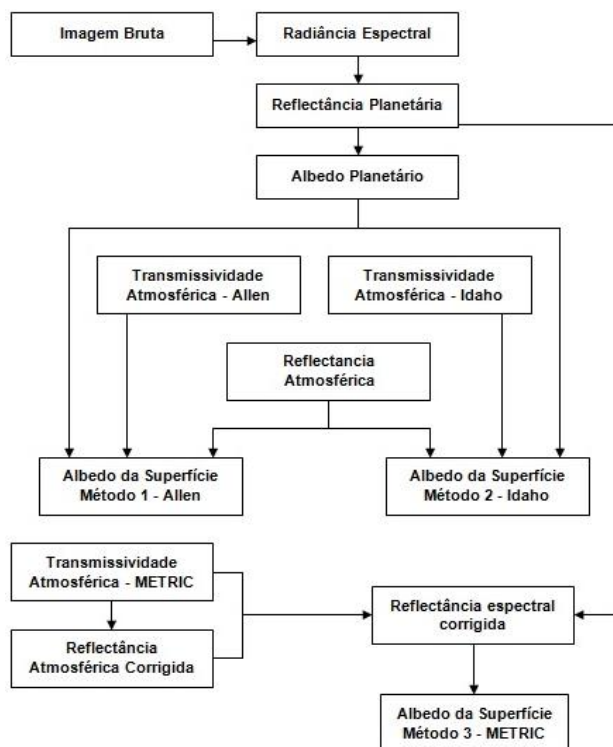


Figura 3- Diagrama das etapas computacionais do processamento de obtenção do albedo superficial (α_{super}) e NDVI da área em estudo.

A seguir são descritas as etapas do

processamento SEBAL e do SEBAL-METRIC no recorte da imagem órbita/ponto 200/75, objetivando a obtenção do albedo da superfície com os três diferentes métodos (Allen, Idaho e METRIC) com correção atmosférica.

Radiância espectral

É o processo de calibração radiométrica, no qual o Número Digital (ND) de cada pixel da imagem original é convertido em Radiância espectral monocromática ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), representando a energia solar refletida por cada pixel (canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7) ou radiação emitida (canal 6) do TM - Landsat 5, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda. Para a realização dessa etapa do processo foi usada uma expressão proposta por Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda,b} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \cdot ND \quad (1)$$

onde a_i e b_i são as radiâncias espectrais mínima e máxima, respectivamente ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) para o TM - Landsat 5, conforme Tabela 3; ND é o número digital do pixel (número inteiro de 0 a 255) e i representa cada uma das 7 bandas do TM - Landsat 5.

Reflectância planetária

Essa etapa representa o cálculo da reflectância monocromática de cada banda, definida pela razão entre a integração hemisférica da radiância monocromática (que resulta na densidade de fluxo radiativo monocromático de cada banda) e a irradiância solar monocromática incidente ikg cada pixel. A mesma é denominada de reflectância planetária local, ou simplesmente Reflectância espectral planetária e foi estimada através da expressão (Bastiaanssen, 1995; Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda,b} = \frac{\pi L_{\lambda,b}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos Z \cdot dr} \quad (2)$$

onde $L_{\lambda,b}$ é a radiância espectral ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$); $ESUN_{\lambda}$ é a irradiância solar espectral associada a cada banda do TM - Landsat 5, no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$), constante na Tabela 5; Z é o ângulo zenital do Sol, obtido através do cabeçalho da imagem e dr é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol em unidade astronômica para cada dia específico do ano, que foi calculado pela expressão (Iqbal, 1983):

$$dr = 1 + 0,033 \cos \left(DSA \cdot \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

em que DSA representa o dia sequencial do ano (Dia Juliano).

Esse método de obtenção do albedo

Tabela 3: Descrição dos canais do TM - Landsat5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - *a* e máxima - *b*), irradiancias espectrais no topo da atmosfera ($ESUN_{\lambda}$) e coeficientes de regressão linear de cada banda para o cômputo do albedo do topo da atmosfera (TOA).

Bandas	Faixa e descrição das bandas espectrais (μm)	Coeficientes de calibração ($W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu\text{m}^{-1}$)		$ESUN_{\lambda}$ ($W\ m^{-2}\ \mu\text{m}^{-1}$)	$w_{\lambda i}$
		<i>a</i>	<i>b</i>		
1	0,45 – 0,52(Azul)	- 1,52	193,0	1957	0,293
2	0,52 – 0,60(Verde)	- 2,82	365,0	1826	0,274
3	0,63 – 0,69(Vermelho)	- 1,17	264,0	1554	0,233
4	0,76 – 0,90(IV Próximo)	- 1,51	221,0	1036	0,157
5	1,55 – 1,75(IV Médio)	- 0,37	30,2	215,0	0,033
6	10,4 – 12,5(IV Termal)	1,2378	15,303	---	---
7	2,08 – 2,35(IV Médio)	- 0,15	16,5	80,67	0,011

Albedo Planetário

Após a obtenção da refletância espectral planetária de cada uma das seis bandas reflectivas do TM - Landsat 5, foi obtido o albedo no topo da atmosfera – α_{plan} ; portanto, sem qualquer correção atmosférica e segundo a seguinte equação:

$$\alpha_{plan} = w_{\lambda_1} \cdot \rho_{\lambda_1} + w_{\lambda_2} \cdot \rho_{\lambda_2} + w_{\lambda_3} \cdot \rho_{\lambda_3} + w_{\lambda_4} \cdot \rho_{\lambda_4} + w_{\lambda_5} \cdot \rho_{\lambda_5} + w_{\lambda_7} \cdot \rho_{\lambda_7} \quad (4)$$

em que $\rho_{\lambda i}$ representam a reflectância planetária da banda *i* e $w_{\lambda i}$ os pesos de cada banda na composição do albedo planetário, sendo igual a razão entre o $ESUN_{\lambda}$ e o somatório de todos os $ESUN_{\lambda}$.

Albedo da Superfície

Esse método de cálculo do albedo da superfície – α_{sup} se baseou na equação proposta por Bastiaanssen (2000), qual seja:

$$\alpha_{sup} = \frac{\alpha_{plan} - \alpha_{atm}}{\tau_{sw}^2} \quad (5)$$

onde α_{plan} representa o albedo planetário; α_{atm} é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia de 0,025 a 0,04 e que neste trabalho foi utilizado o valor de 0,03, recomendado por Bastiaanssen (2000); e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica para radiação de onda curta em condições de céu claro, que de acordo com Allen *et al.*, (2002) pode ser obtida por:

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

em que *MED* representa a altitude (*m*) de cada pixel, extraída do Modelo de Elevação Digital.

Método 2 (Albedo Idaho)

corrigido utiliza metodologia adotada por Trezza (2002) e Tasumi (2003) no cálculo da transmissividade atmosférica, sendo necessárias medidas de pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, usadas na quantificação da água precipitável da atmosfera e pressão parcial do vapor de água. A transmissividade atmosférica é obtida de acordo com a seguinte expressão:

$$\tau_{sw} = K_B + K_D \quad (7)$$

em que K_B é o índice de turbidez atmosférica para a radiação solar direta e K_D é o índice de turbidez associada à radiação solar difusa.

O índice de turbidez atmosfera (K_B) foi determinado por expressão proposta por ASCE-EWRI (2005):

$$K_B = 0,98 \exp \left[\frac{-0,00146 \cdot P_{atm}}{k_t \cdot \text{sen } E} - 0,075 \left(\frac{W}{\text{sen } E} \right)^{0,4} \right] \quad (8)$$

onde P_{atm} é a (KPa); k_t o coeficiente de turbidez (valor 1 para atmosfera completamente limpa e 0,5 para pressão atmosférica atmosfera com grande presença de aerossóis); *E* é o ângulo de elevação solar e *W* a água precipitável na atmosfera (mm).

A pressão atmosférica (P_{atm}) e a água precipitável na atmosfera (*W*) foram calculadas pelas seguintes expressões (ASCE-EWRI, 2005):

$$P_{atm} = 101,3 \cdot \left(\frac{T_{ar} - 0,0065 \cdot z}{T_{ar}} \right) \quad (9)$$

$$W = 0,14 \cdot e_a \cdot P_{atm} + 2,1 \quad (10)$$

em que e_a representa a pressão parcial do vapor (kPa) e obtida pela expressão:

$$e_a = 0,61078 \exp \left(\frac{17,269 \cdot T_{ar}}{237 + T_{ar}} \right) \cdot \frac{UR_{med}}{100} \quad (11)$$

onde T_{ar} representa a temperatura do ar (°C) e UR_{med} a umidade relativa do ar (%).

O Índice de turbidez da radiação difusa (K_D) foi calculado em função do índice da pureza atmosférica e seus coeficientes foram determinados

por ASCE-ENRI (2005) baseado em estudos desenvolvidos em 49 diferentes locais nos EUA, qual seja.

Para $K_B \geq 0,15$, tem-se:

$$K_D = 0,35 - 0,36 \cdot K_B \quad (12.a)$$

Para $0,065 < K_B < 0,15$, tem-se:

$$K_D = 0,18 - 0,82 \cdot K_B \quad (12.b)$$

Para $K_B \leq 0,065$, tem-se:

$$K_D = 0,10 + 2,08 \cdot K_B \quad (12.c)$$

Após o cômputo da transmissividade atmosférica pela metodologia acima, o albedo corrigido foi calculado utilizando-se a Equação (5).

Método 3 (Albedo METRIC)

No METRIC a reflectância espectral planetária é corrigida banda a banda, diferentemente das versões anteriores do SEBAL. No entanto, faz-se uso da Equação 13, e determinam-se os efeitos da atmosfera na geração de sua refletância monocromática (banda a banda), e as transmissividades atmosféricas correspondentes aos fluxos de radiação solar monocromático incidente e fluxo de radiação solar monocromática refletida ascendente, conforme expressão abaixo (Allen et al., 2007a; Tasumi, 2003):

$$\rho_{sup,b} = \frac{\rho_{\lambda,b} - \rho_{atm,b}}{\tau_{inc,b} \cdot \tau_{asc,b}} \quad (13)$$

Onde $\rho_{sup,b}$ é a refletividade à superfície da banda b ; $\rho_{\lambda,b}$ é a refletividade planetária (no topo da atmosfera) calculada pela Equação 2; $\rho_{atm,b}$ é a refletância atmosférica, adquirida através da Equação 16, que será detalhada mais adiante; $\tau_{inc,b}$ é a transmissividade atmosférica relativa à radiação solar incidente na superfície e $\tau_{asc,b}$ é a transmissividade relativa à radiação refletida pela superfície, obtidos para cada banda b (1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM - Landsat 5), individualmente.

A transmissividade incidente ($\tau_{inc,b}$) foi obtida por expressão proposta em Tasumiet al. (2006):

$$\tau_{inc,b} = C_1 \exp \left[\frac{C_2 \cdot P_{atm}}{k_t \cdot \cos Z} - \frac{C_3 \cdot W + C_4}{\cos Z} \right] + C_5 \quad (14)$$

onde C_1, C_2, C_3, C_4 e C_5 são coeficientes providos através de modelo de transferência radiativa, determinados para cada banda espectral b , constantes na Tabela 6; P_{atm} é a pressão atmosférica média (KPa); W é a água precipitável na atmosfera (mm); Z é o ângulo zenital solar e k_t é o coeficiente de turbidez atmosférica.

A transmissividade ascendente ($\tau_{asc,b}$) foi obtida pela seguinte expressão:

$$\tau_{asc,b} = C_1 \exp \left[\frac{C_2 \cdot P_{atm}}{k_t \cdot \cos \eta} - \frac{C_3 \cdot W + C_4}{\cos \eta} \right] + C_5 \quad (15)$$

em que c representa o ângulo zenital do sensor, que no caso do TM - Landsat 5 é muito próximo de 0; portanto, para imagens TM - Landsat 5 considerou-se que $\cos \eta$ tem valor igual a 1.

Os parâmetros de C_1 a C_5 foram determinados por Tasumiet al. (2006), mediante a utilização do modelo de transferência radiativa SMARTS2.

Após o cômputo das transmitâncias atmosféricas incidente e ascendente, foi efetivado o cálculo da reflectância atmosférica ($\rho_{atm,b}$), ou seja, a reflectância da atmosfera relativa a cada faixa espectral das diferentes bandas do TM, mediante uso da equação, propostas em Allen et al. (2007a) e Tasumi et al. (2006):

$$\rho_{atm,b} = C_{\lambda,b} (1 - \tau_{inc,b}) \quad (16)$$

em que C_{λ} é um parâmetro determinado paracada banda b do sensor TM, constante na Tabela 4.

O albedo da superfície, corrigido segundo o SEBAL/METRIC, foi computado através da combinação linear expressa pela Equação 4, com as reflectâncias monocromáticas obtidas pela Equação 13 e pesos (W_b) constantes na Tabela 4. (Tasumi et al., 2006; Allen et al., 2007a).

Resultados e discussão

A seguir são apresentados os resultados do albedo obtidos na área de estudo e para os dias com imagens, obtidas com o sensor TM - Landsat 5 e instante sem cobertura de nuvens sobre a área selecionada.

Na Figura 4 está representada a área de estudo, com destaque onde foram instaladas as torres micrometeorológicas, e os dois alvos selecionados para detalhamento do estudo: (A₁) Cerrado (Pé de Gigante) e (A₂) Cana-de-açúcar.

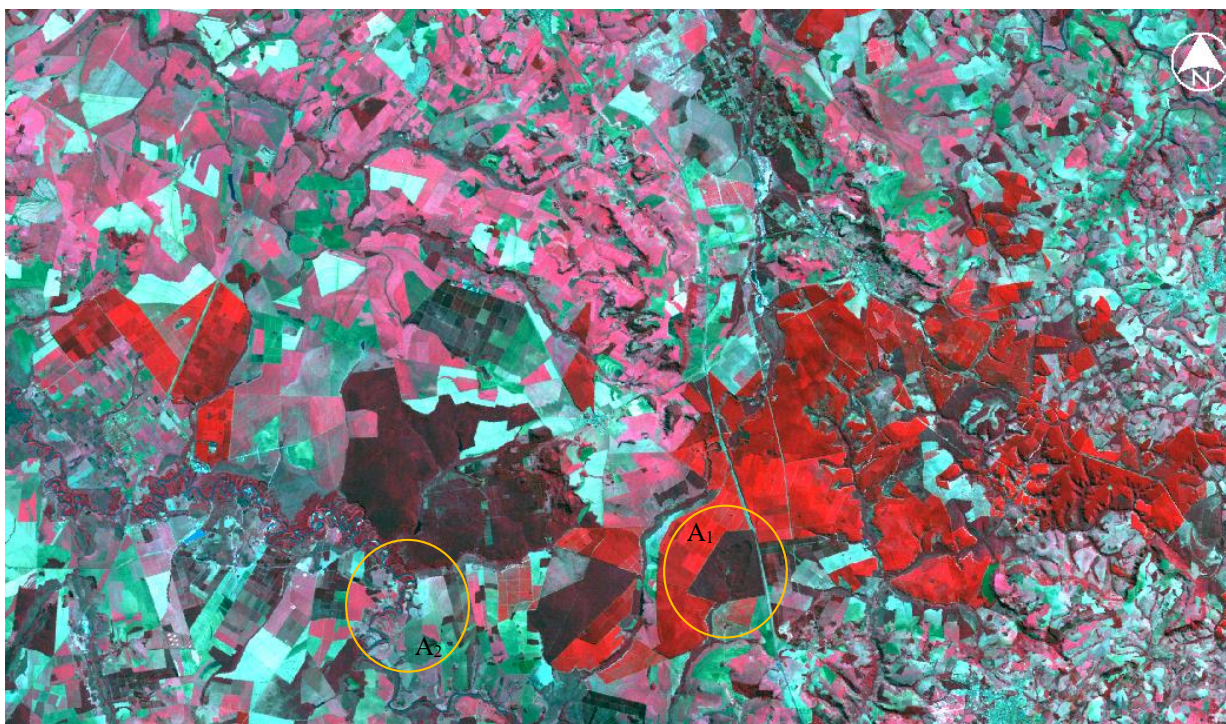


Figura 4 - Recorte da imagem TM – Landsat5 da área em estudo com combinação RGB das bandas espectrais 5, 4, 3 em composição falsa cor para o dia 16/07/2005, realçando as estações meteorológicas mais próximas e a posição das torres micrometeorológicas nos biomas de cerrado (A₁) e cana-de-açúcar (A₂).

Após o empilhamento das imagens, calibração radiométrica e obtenção das bandas refletivas do TM - Landsat 5 (canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7) foi realizada uma composição de cores nas bandas do sensor para facilitar a interpretação e o entendimento dos resultados.

Validação dos métodos de correção do albedo da superfície

Na Tabela 5 estão representados os valores do albedo obtido com o SEBAL, segundo os três diferentes procedimentos de correção atmosférica, nos biomas cerrado e cana-de-açúcar, com os correspondentes erros relativos (%). Sistemáticamente, o Método de Idaho foi o que proporcionou maior acurácia com as medições de superfície, embora leve em consideração a interferência da água precipitável na transmissividade atmosférica em todo o domínio da radiação de onda curta. Já o método METRIC apresentou maiores diferenças com as medições piranométricas, podendo ser causado devido aos coeficientes de calibração da área. O Método METRIC foi o que apresentou as maiores diferenças com as medições, em ambos os biomas e o de Método Idaho foi o que proporcionou as melhores estimativas do albedo. No cerrado, o Erro relativo médio foi de 44,23, 9,10 e 26,83%, segundo os métodos METRIC, Idaho e Allen,

respectivamente. Já na cana-de-açúcar, esses erros médios foram iguais a 33,07, 9,37 e 22,44%, respectivamente aos métodos METRIC, Idaho e Allen. Portanto, o método de Idaho foi aquele que apresentou as melhores estimativas do albedo. É oportuno registrar que as medições da radiação solar refletida nas duas torres micrometeorológicas usadas para a validação do albedo, empregaram um sensor que não é recomendado (segundo o próprio fabricante) para esse tipo de medição, o que indica que o processo de validação ficou um pouco comprometido. É importante destacar que as condições atmosféricas que afetam a transmissividade da atmosfera podem mudar até mesmo ao longo de um dia e que as correções efetivadas consideram apenas a contribuição do vapor d'água atmosférico e turbidez provocada por aerossóis.

Nesse sentido, as diferenças existentes entre o METRIC e as medições, embora pequenas, devem resultar da existência de alguma turbidez e outros efeitos não contemplados na técnica. Quanto ao Método de Allen, as diferenças são menores que as do METRIC, mas não chegam a ser expressivas, uma vez que o *erro padrão da estimativa* foi de apenas 26,83% (A₁) e 22,44% (A₂). Portanto, quando não for possível o uso da correção banda a banda, a utilização apenas da altitude, conforme proposto no Método de Allen, pode resultar em

estimativas com precisão aceitável em muitas aplicações. Ademais, uma vantagem no uso dessa técnica de correção, é que a mesma pode ser aplicada a cada pixel de uma imagem TM – Landsat

5 com auxílio de Modelo de Elevação Digital - MED que pode ser obtido gratuitamente na internet com resolução de 90 m.

Tabela 5: Albedo obtido com os métodos de correção atmosférica de METRIC, Idaho e Allen nos biomas cerrado (PDG) e Cana-de-açúcar (USR) e medições das torres micrometeorológicas, com respectivos erros relativos

Datas	Albedo – Cerrado						
	METRIC	Idaho	Allen	Medido	Erro M	Erro I	Erro A
22/02/2005	0,083	0,104	0,090	0,126	34,13	17,46	28,57
11/04/2005	0,077	0,108	0,089	0,126	38,89	14,29	29,37
29/05/2005	0,056	0,136	0,086	0,127	55,91	7,09	32,28
14/06/2005	0,061	0,133	0,097	0,137	55,47	2,92	29,20
16/07/2005	0,052	0,111	0,088	0,123	57,72	9,76	28,46
01/08/2005	0,062	0,118	0,095	0,119	47,90	0,84	20,17
17/08/2005	0,073	0,121	0,099	0,120	39,17	0,83	17,50
21/11/2005	0,119	0,127	0,112	0,158	24,68	19,62	29,11
-	-	-	-	Erro Médio	44,23%	9,10%	26,83
Datas	Albedo – Cana de Açúcar						
	METRIC	Idaho	Allen	Medido	Erro M	Erro I	Erro A
22/02/2005	0,144	0,174	0,151	0,196	26,53	11,22	22,96
11/04/2005	0,135	0,183	0,151	0,205	34,15	0,06	83,81
29/05/2005	0,104	0,189	0,158	0,169	38,46	11,83	6,51
14/06/2005	0,113	0,21	0,166	0,178	36,52	17,98	6,74
16/07/2005	0,121	0,217	0,171	0,190	36,32	14,21	10,00
01/08/2005	0,120	0,198	0,160	0,188	36,17	5,32	14,89
17/08/2005	0,127	0,197	0,161	0,188	32,45	4,79	14,36
21/11/2005	0,143	0,170	0,150	0,145	23,94	9,57	20,21
-	-	-	-	Erro Médio	33,07%	9,37%	22,44

$$\left[\frac{(Albedo_{Modelo} - Albedo_{Medido})}{Albedo_{Medido}} \right] * 100 (\%)$$

Mapas temáticos do albedo

Uma vez identificado o método de correção atmosférica de maior acurácia, foram elaborados mapas do albedo derivados das oito imagens do TM - Landsat 5 com o Método IDAHO (Figuras 5 a 8).

Nas Figuras 5 a 8 estão representados os mapas temáticos do albedo da superfície (α_{sup}) para a região de estudo, nos dias 22 de fevereiro e 11 de abril, 29 de maio e 14 de junho, 16 de julho e 01 de agosto, e 17 de agosto e 21 de novembro, respectivamente. O albedo da superfície exerce um

controle na quantidade de energia que é absorvida pela superfície terrestre, atuando no balanço final de radiação e energia.

Os valores de albedo das áreas com presença de água, leito de riachos e do rio Mogi-Guaçu, além de outros reservatórios de água da cena estudada, foram inferior a 9% (azul claro) e compreendem a classe dos mais baixos valores de albedo da superfície. Um estudo realizado por Silva et al. (2005) mostrou que corpos de água, tais como o reservatório de Sobradinho e pequenos açudes nas circunvizinhanças do perímetro irrigado Nilo Coelho, apresentaram valores de α_{sup} entre 9 e 12%, sugerindo, assim, valores de albedo para corpos de água superiores ao encontrado nesta pesquisa. Já Meireles (2007), em um estudo realizado na bacia do Acaraú-CE, encontrou valores de albedo entre 3 e 10% para corpos de água, similares aos encontrados nesta pesquisa. Os valores de albedo encontrados nesta pesquisa para os corpos de água são similares aos encontrado em Shuttleworth (1993), que registraram $\alpha_{sup} = 8\%$. Há outros registros de albedo da água com valores inferiores a 5%, e no caso do leito do São Francisco a turbidez da água provoca um aumento considerável no albedo, que de acordo com Silva et al. (2005) pode atingir valores da ordem de 15%.

Na Figura 5 prevalecem valores de α_{sup} na categoria 16 a 20 %, e nas áreas com vegetação de maior porte albedo entre 9 e 13 %. Esses valores

podem ser observados com maior precisão nos biomas cerrado e eucalipto. As áreas com cana-de-açúcar apresentou valores de albedo mais freqüentemente na faixa entre 16 a 20%; no entanto, podem ser também observados valores entre 18 a 22%. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Tasumi (2003), que observou valores de α_{sup} entre 16 e 24% para regiões agricultáveis em Idaho – EUA. Além de Tasumi (2003), Shuttleworth (1993) registraram valores de albedo variando entre 15 a 20% para culturas como cana-de-açúcar, alguns cereais (exemplo trigo) e culturas de menor porte, como a beterraba. Ainda para os dias da Figura 6 foram observadas poucas ocorrências de albedo nas classes de 24 a 27 %, e acima de 27%.

Na Figura 6a predominam áreas com α_{sup} elevados (20 a 24%) e as áreas com menor α_{sup} mais uma vez compreendem as áreas de cerrado. Também são dominantes as áreas com α_{sup} entre 24 a 27%, mais claramente em 29 de maio, embora também com grande presença na imagem de 14 de junho (Figura 6b), com predomínio da classe de albedo entre 20 a 24%. Estes padrões estão associados a dinâmica que a estação chuvosa imprime na vegetação, não obstante as áreas de cerrado demonstrarem menor interferência desse fator, na medida que apresentam em todo o ano valores de α_{sup} em geral inferior a 15%.

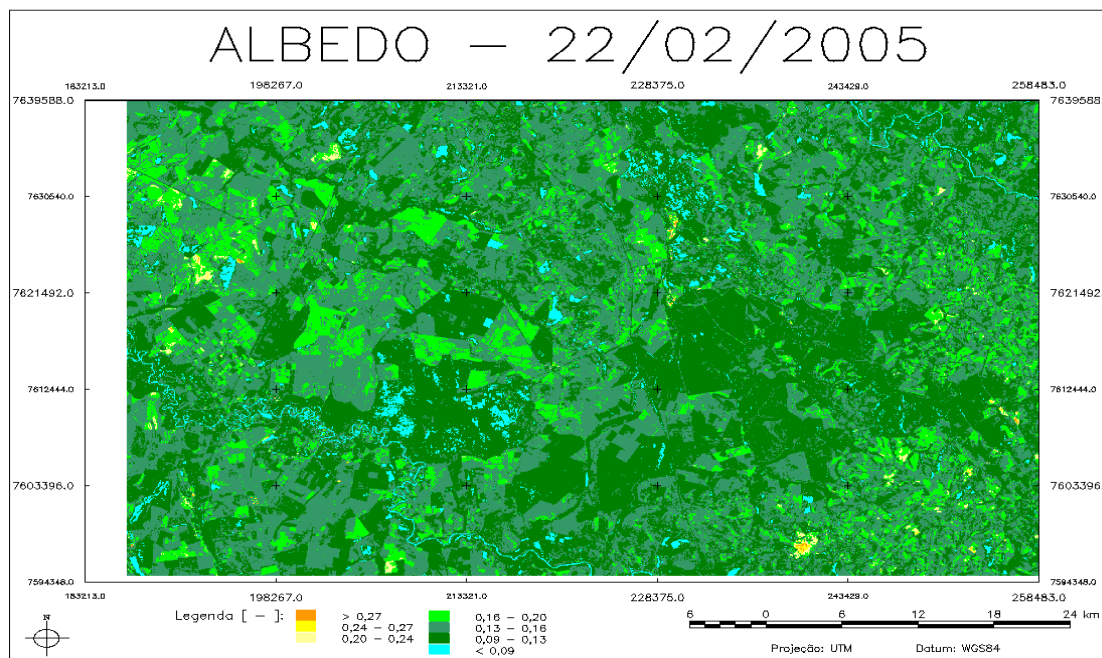


Figura 5 (a) – Albedo da superfície para o dia 22 de fevereiro obtido com o sensor TM – Landsat 5. As regiões assinaladas correspondem às áreas estudadas (vermelho) Cerrado e (amarelo) Cana-de-açúcar.

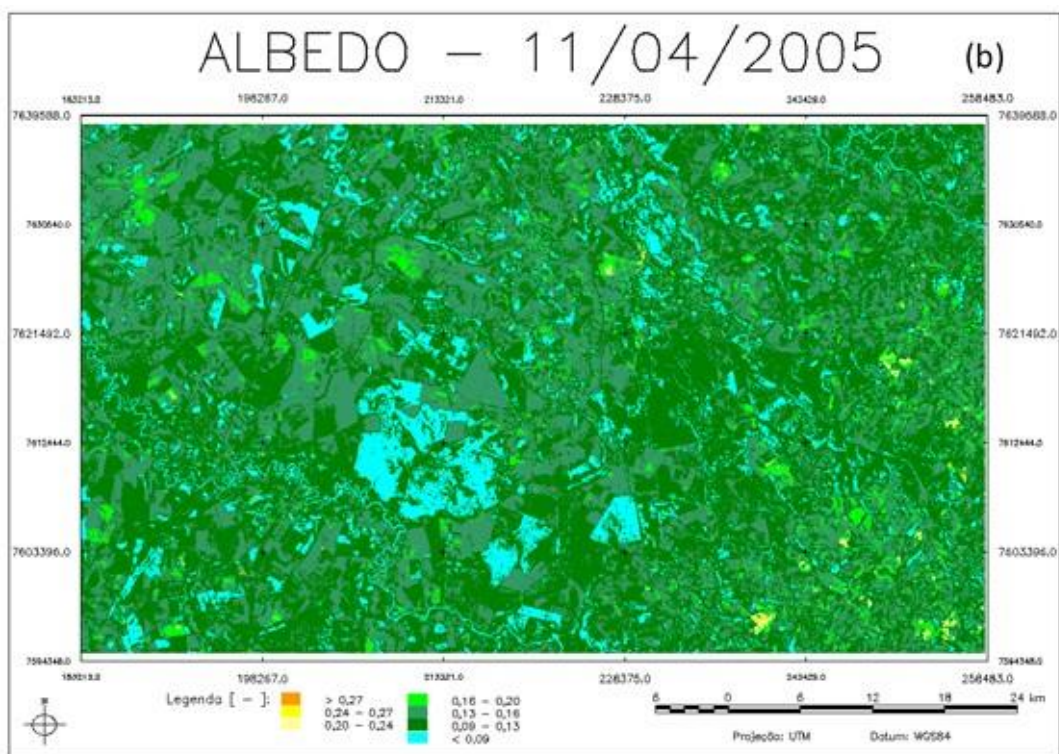


Figura 5 (b) – Albedo da superfície para o dia 11 de abril obtido com o sensor TM – Landsat 5. As regiões assinaladas correspondem às áreas estudadas (vermelho) Cerrado e (amarelo) Cana-de-açúcar.

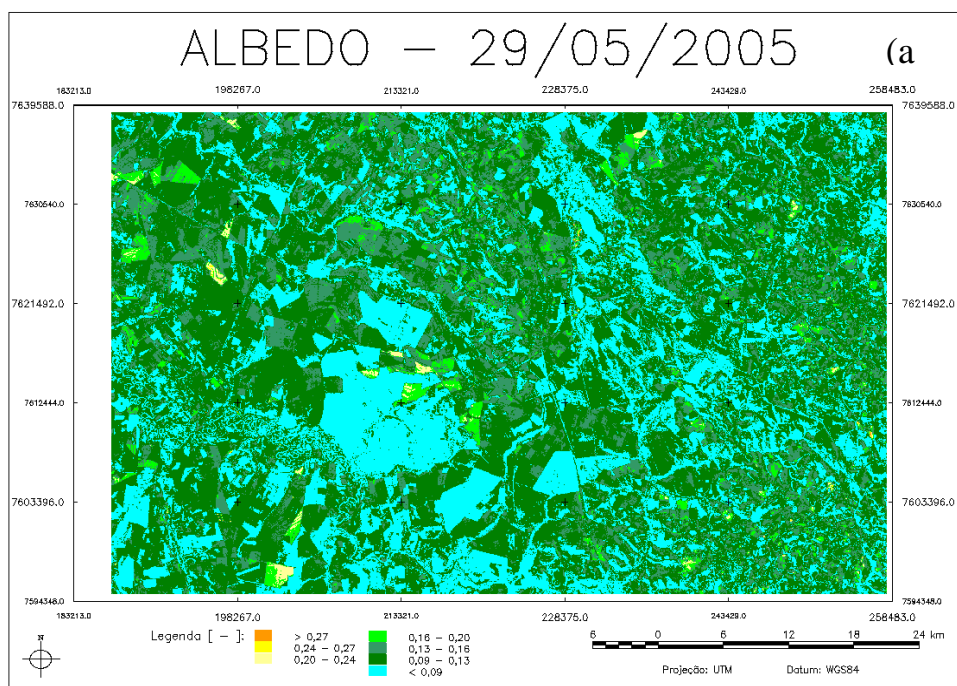


Figura 6 (a) – Albedo da superfície para o dia 29 de maio obtido com o sensor TM – Landsat 5. As regiões assinaladas correspondem às áreas estudadas (vermelho) Cerrado e (amarelo) Cana-de-açúcar.

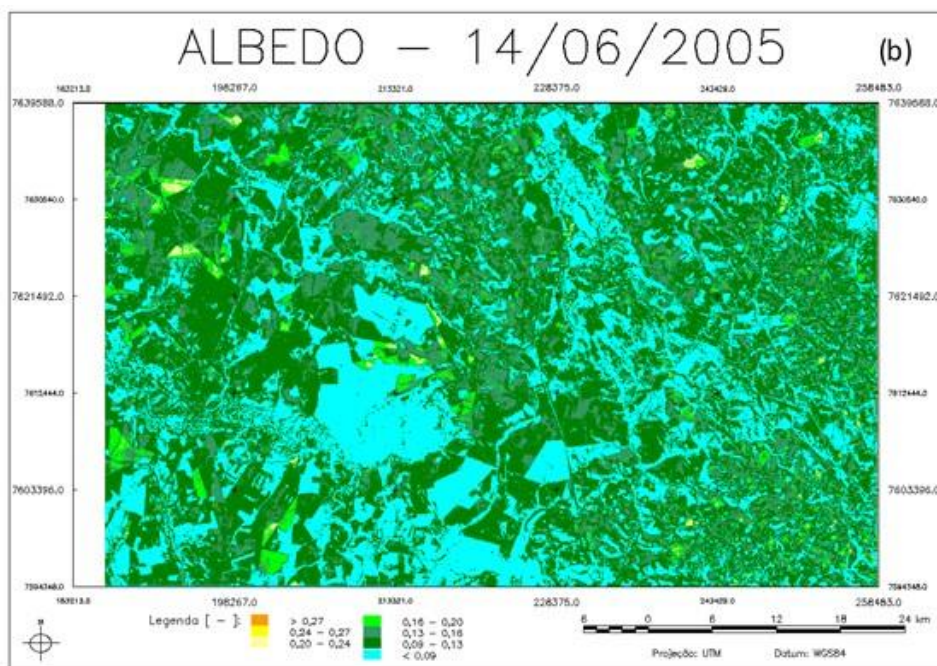


Figura 6 (b) – Albedo da superfície para o dia 14 de junho obtido com o sensor TM – Landsat 5. As regiões assinaladas correspondem às áreas estudadas (vermelho) Cerrado e (amarelo) Cana-de-açúcar.

Na Figura 7 a classe com maior cobertura espacial é a de 16 a 20%, representada pelo cor verde clara, e mais uma vez destaca-se o cerrado e eucalipto com α_{sup} correspondente à classe verde escura (valores do albedo entre 9 a 13%). Na Figura 8 são apresentados padrões muito semelhantes aos observados na Figura 7, e prevalecem valores de

albedo entre 16 e 20%. Percebe-se claramente, os contornos de áreas com grande exposição do solo, evidenciada pelo alto valor do albedo, qual seja, faixa de 24 a 27%, ou classe de valores acima de 27%, provavelmente correspondendo a áreas agrícolas.

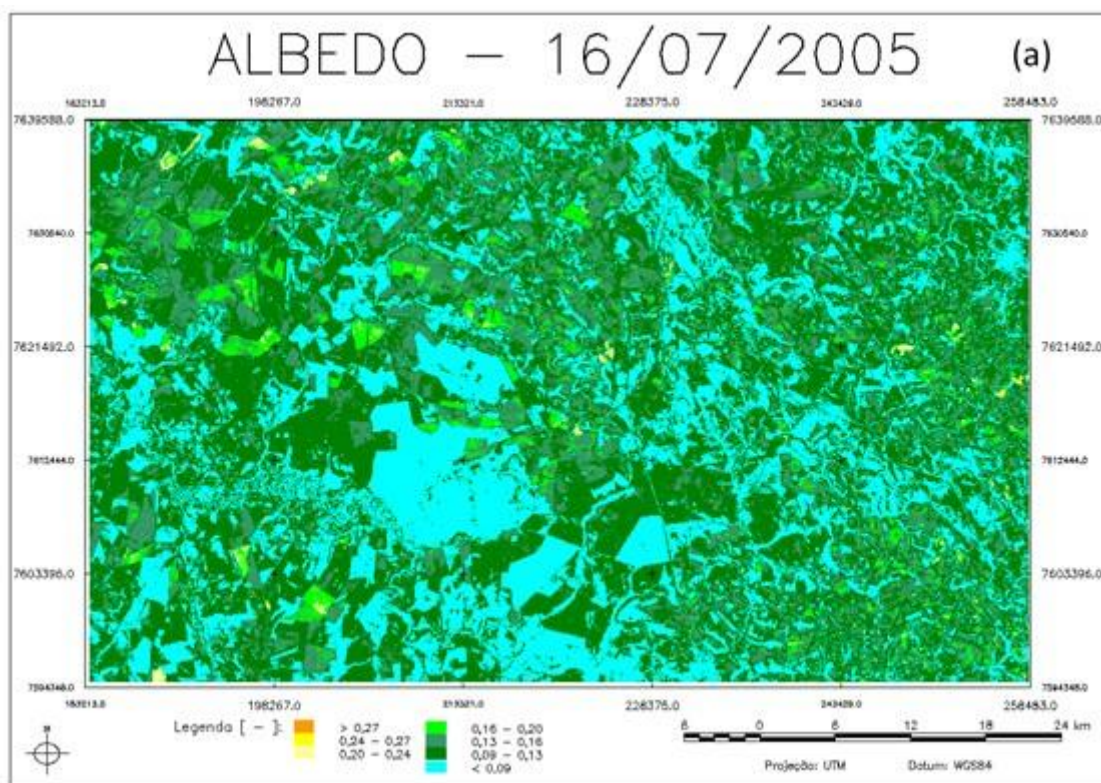


Figura 7 (a) – Albedo da superfície para o dia 16 de julho obtido com o sensor TM – Landsat 5. As regiões assinaladas correspondem às áreas estudada (vermelho) Cerrado e (amarelo) Cana-de-açúcar.

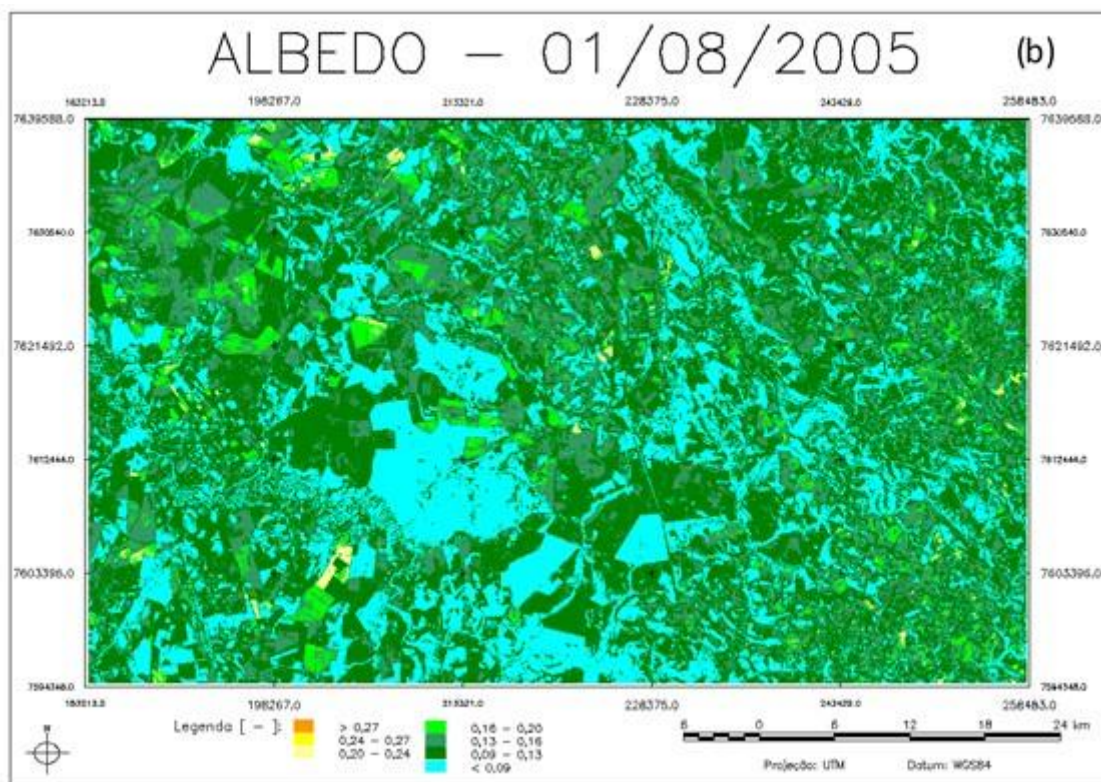


Figura 7 (b) – Albedo da superfície para o dia 01 de agosto obtido com o sensor TM – Landsat 5. As regiões assinaladas correspondem às áreas estudada (vermelho) Cerrado e (amarelo) Cana-de-açúcar.

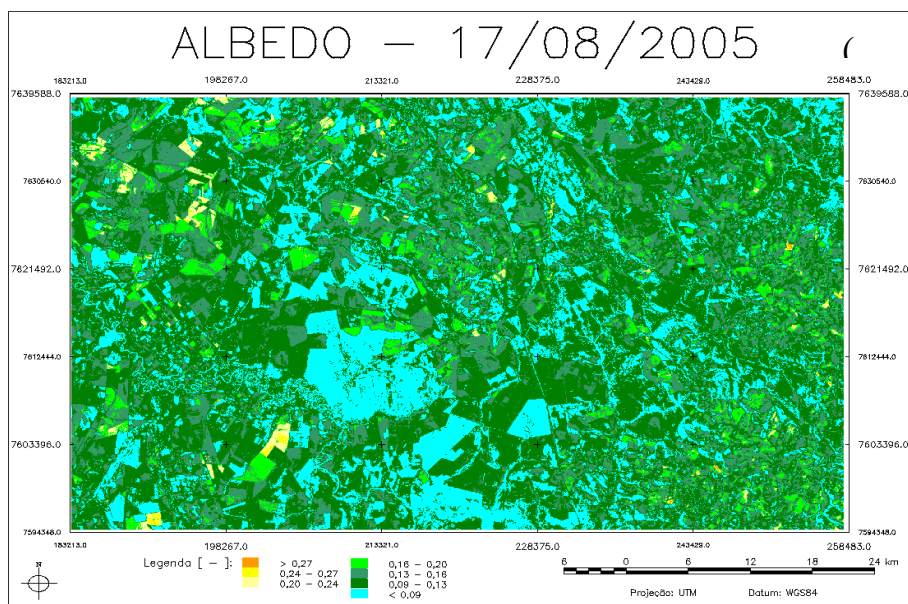


Figura 8 (a) – Albedo da superfície para o dia 17 de agosto obtido com o sensor TM – Landsat 5. As regiões assinaladas correspondem às áreas estudadas (vermelho) Cerrado e (amarelo) Cana-de-açúcar.

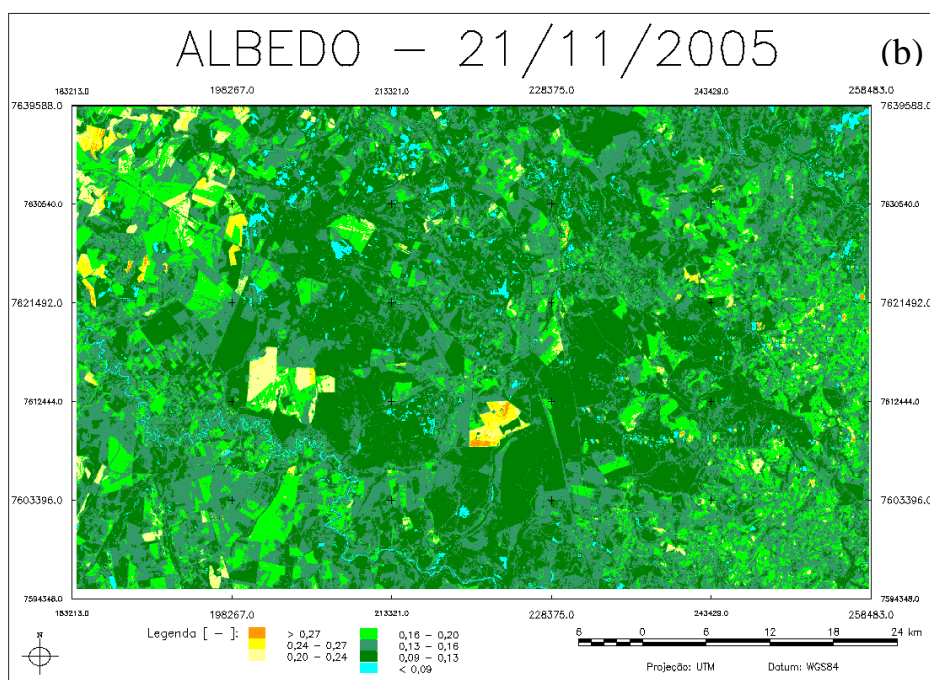


Figura 8 (b) – Albedo da superfície para o dia 21 de novembro obtido com o sensor TM – Landsat 5. As regiões assinaladas correspondem às áreas estudadas (vermelho) Cerrado e (amarelo) Cana-de-açúcar.

Conclusões

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que:

A correção atmosférica afeta significativamente o albedo superficial, em que a correção adotada afeta nos valores finais estimado;

O albedo superficial segundo o Método Idaho apresentou grande precisão, confirmada por comparação com medidas piranométricas;

O albedo do cerrado é significativamente menor que o da cana-de-açúcar e demais áreas da bacia de estudo, exceto nos pixels sobre reservatórios e cursos de água;

A correção atmosférica banda a banda resulta em melhores estimativas do albedo no modelo Metric, porém, neste estudo verificou-se que o Metric não estimou corretamente os valores de albedo apresentando valores de Erro Relativo superior aos encontrados pelo Método Idaho e Allen.

Referências

- Allen, R.; Bastiaanssen, W.; Waters, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. 2002. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho implementation - Advanced training and users manual, version 1.0, 97p.
- Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. 2007a. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v.133, n.395, p.380-394.
- Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. 2007b. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Aplications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v.133, n.395, p.395-406.
- ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. 2005. ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Rep., ASCE.
- Bastiaanssen, W, G, M. 1995. Regionalization of Surface Flux Densities and Moisture Indicators in Composite Terrain – Ph. D. A Remote Sensing Approach Under Clear Skies in Mediterranean Climates, Thessis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 273.
- Bastiaanssen, W. G. M. 2000. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v.229, p.87-100.
- Freitas, C. C.; Santanna, S. J. S.; Rennó C. D.; Correia, A. H. 2007. “Utilização de Imagens de Radar de Abertura Sintética na Classificação de Uso e Ocupação do Solo”. INPE, São José dos Campos-SP, 54 p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros.php>>. Acesso em: 03 fevereiro 2014.
- Iqbal, M. 1983. *An Introduction to Solar Radiation*. New York: Academic Press. 212p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 09 abr. 2008.
- Liang, S.; Shuey, C. J.; Russ, A. L.; Fang, H.; Chen, M.; Walthall, C. L.; Daughtry, C. S.T.; Hunt JR, R.. 2008. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation. *Remote Sensing of Environment*, v84, p. 25 – 41.
- Taghvaeian, S.; Neale, C. M. U. 2011. Water balance of irrigated areas: a remote sensing approach. *Hydrological Processes*, v. 25, n. 26, p. 4132-4141.
- Tasumi, M. 2003. Progress in operacional estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. University of Idaho (USA). 355 p.
- Tasumi, M.; Allen, R. G.; Trezza, R. 2006. At-surface and albedo from satellite for operational calculation of land surface. *Agricultural and Forest Meteorology*. P 243-257.