

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE NO ECÓTONO ILHA DO BANANAL POR SENSORIAMENTO REMOTO

*Ana Claudia Villar e Luna Gusmão¹, Bernardo Barbosa da Silva², Suzana Maria Gico
Lima Montenegro³, Josicléda Domiciano Galvêncio⁴ & Leidjane Maria Maciel de
Oliveira⁵*

¹ *Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, villareluna@yahoo.com.br*

² *Bolsista Pesquisador da FACEPE do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, bbdasilva.ufpe@gmail.com*

³ *Professora do Departamento de Engenharia Civil UFPE, suzanam@ufpe.br*

⁴ *Professora do Departamento de Ciências Geográficas UFPE, josicleda@pq.cnpq.br*

⁵ *Bolsista de Pós-Doutorado da CAPES/FACEPE/APAC em Engenharia Civil -UFPE, leidjaneoliveira@hotmail.com*

Artigo recebido em 26/04/2013 e aceito em 30/06/2013

RESUMO

O sensoriamento remoto é uma ferramenta utilizada em muitas áreas em todo globo terrestre possibilitando a realização de diagnósticos de alterações ambientais que venham a ocorrer em áreas de difícil acesso com base no monitoramento de diferentes parâmetros biofísicos. Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo a determinação do albedo, do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) e da Temperatura da Superfície (Ts) por meio de imagens geradas pelo sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5, na Ilha do Bananal – TO. Para o estudo foram utilizadas quatro imagens TM das seguintes datas: 03 de junho, 21 de julho, 06 de agosto e 22 de agosto de 2005. Detectaram-se grandes alterações nos locais desmatados em relação a locais com vegetações nativas. Nas áreas com ocupação humana o albedo e a temperatura da superfície aumentaram e houve diminuição no IVDN. Constatou-se, assim, a influência e importância da vegetação nativa no clima local.

Palavras-chave: Mudanças no uso da terra, radiância, reflectância

VEGETATION INDICE AND SURFACE TEMPERATURE IN ECOTONE BANANAL ISLAND BY REMOTE SENSING

ABSTRACT

Remote sensing is a tool used in many areas around the globe enabling perform diagnostics of environmental changes that may occur in areas of difficult access based on the monitoring of different biophysical parameters. In this sense, the present study aimed at determining the albedo, Index Normalized Difference Vegetation (NDVI) and surface temperature (Ts) using images generated by sensor Thematic Mapper (TM) Landsat 5, in Bananal Island - TO. For the study there were four TM images of the following dates: June 03, July 21, 06 August and 22 August 2005. Major changes were detected in deforested sites over sites with native vegetation. In areas with human occupation albedo and surface temperature increased

and decreased in NDVI. It was found, thus, the influence and significance of native vegetation in local climate.

Keywords: Land use change, radiance, reflectance

INTRODUÇÃO

A Ilha do Bananal é constituída por uma extensa área ecotonal (apresentando características do Cerrado, Floresta Amazônica e áreas alagáveis). Apesar de localizar-se em bioma de grande importância, este local está sob o arco do desmatamento, que cresce de forma desordenada e acelerada. Machado *et al.* (2004) estimaram que o Cerrado deverá ser totalmente destruído até o ano 2030, caso as tendências de ocupação continuem causando perdas anuais de 2,2 milhões de hectares de áreas nativas. Além dos impactos já esperados relacionados com a perda da fauna e da flora, o desmatamento causa alterações climáticas significativas. Por essa razão, o monitoramento da evolução espacial e temporal da cobertura vegetal da superfície terrestre é de grande importância. As intervenções antrópicas em áreas de vegetação nativa geralmente ocasionam alterações que afetam a sua temperatura, o albedo e os índices de vegetação, que podem ser monitorados por meio de sensores a bordo de diferentes satélites ambientais.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) responde à densidade da vegetação, cor e diferentes estados de umidade do solo e práticas de cultivo, devido à intensa absorção na região visível do espectro eletromagnético, em 0,475 μm e 0,65 μm , por parte da clorofila. A reflectância espectral da superfície terrestre fornece informações a respeito da presença da clorofila e também das condições da vegetação (PAIVA *et al.*, 2011). Na vegetação, em particular, o albedo merece uma atenção especial haja vista que está diretamente relacionada com o saldo de radiação (R_n) que, segundo Pereira *et al.* (2002) quanto mais escura for a vegetação menor será a refletividade dos raios solares incidentes, resultando em maior absorção e, conseqüente, maior R_n à superfície. Shuai *et al.* (2011) afirmaram que mudanças no albedo da superfície fornecem meios quantitativos

para investigar a transferência de energia entre a superfície terrestre e a atmosfera, bem como para melhor auxiliar na modelagem climática regional e global.

A temperatura da superfície da Terra (T_s) tem papel de destaque nos estudos de mudanças climáticas de diferentes escalas e também nas mudanças ambientais. A T_s é um parâmetro chave nos processos físicos da superfície terrestre em escalas regional e global, combinando os resultados de todas as interações superfície-atmosfera e fluxos de energia entre a atmosfera e o solo (WAN, 2008). Pesquisas sobre a T_s mostram que esta partição de fluxos de calor e as respostas radiativas da superfície são função de variáveis de superfície, como o teor de água do solo e a cobertura vegetal (OWEN *et al.*, 1998). Quando há abundância de vegetação, a T_s desta área irá se aproximar mais da temperatura das folhas, tendo uma grande relação com o dossel desta. Por isto, de acordo com Weng e Lu (2008), a relação entre a temperatura da superfície e a densidade de vegetação é um estudo crescente no sensoriamento remoto.

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar as alterações decorrentes do uso e ocupação do solo na Ilha do Bananal - Tocantins, por meio de estimativas do IVDN, albedo e T_s pelo sensoriamento remoto.

MATERIAL E MÉTODOS

A Ilha do Bananal, localizada no Brasil Central no estado do Tocantins foi a área de estudo desta pesquisa. Esta área é considerada a maior ilha fluvial do mundo compreendendo uma faixa de transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado. Considerada uma reserva ambiental é dividida em dois parques: Parque Nacional do Araguaia e Parque Indígena do Araguaia, mas mesmo assim está sob um grande arco de desmatamento. A Ilha do Bananal e entorno constituem uma área de várzea coberta por ecótono, com fisionomias de cerrado, cerradão, mata seca, mata inundável, campo

inundável e mata ciliar inundável. O clima predominante nesta ilha é tropical quente semi-úmido, com temperatura máxima de 38°C no período das secas (meses de agosto a setembro) e temperatura mínima de 22°C no mês de julho.

As imagens TM – Landsat 5 selecionadas para a pesquisa foram obtidas através do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo estas referentes à órbita 223 e ao ponto 67, dos seguintes dias: 03 de junho, 21 de julho, 06 de agosto e 22 de agosto de 2005.

As variáveis utilizadas para o cômputo do albedo, IVDN e Ts estão representadas na Tabela 1, quais sejam: data, dia de ordem do ano (DOA), horário da passagem satélite (GMT - Greenwich Mean Time), ângulo de elevação do sol (E), o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (dr), cosseno do ângulo zenital solar (Z), representativas do instante da passagem do satélite sobre a área de estudo.

Tabela 1. Variáveis utilizadas no cômputo do albedo, IVDN e Ts: data, dia de ordem do ano (DOA), hora (tempo central GMT), ângulo de elevação do sol (E), o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (dr), cosseno do ângulo zenital solar (cos Z)

Data	DOA	Hora (GMT)	E (°)	dr	Cos Z
03/06/2005	154	13:12:56	45,90	0,97	0,718
21/07/2005	202	13:13:19	45,73	0,97	0,716
06/08/2005	218	13:13:26	48,21	0,97	0,746
22/08/2005	234	13:13:34	51,67	0,98	0,784

Após efetuar o recorte da imagem, procedeu-se a calibração radiométrica das sete bandas espectrais do TM, o que equivale a converter o número digital (ND) de cada pixel e banda em radiância espectral ($L_{\lambda i}$), obtida pela equação (CHANDER e MARKHAM, 2003):

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

em que $L_{\lambda i}$ ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$) é a radiância espectral de cada banda; a e b são as radiâncias mínima e máxima obtidas mediante processo de calibração do TM – Landsat 5, cujos valores estão disponíveis em Chander e Markham (2003); ND é o número digital e i corresponde as bandas (1; 2; 3; 4; 5; 6 e 7) do TM – Landsat 5.

A refletância monocromática ($\rho_{\lambda i}$) no topo da atmosfera, relativa às bandas de 1 a 5 e 7, é dada pela razão entre o fluxo de radiação solar refletido e o fluxo de radiação solar incidente, podendo ser calculado por (CHANDER e MARKHAM, 2003):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot dr} \quad (2)$$

em que $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar monocromática de cada banda ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), cujos valores encontram-se em Chander e Markham (2003).

A temperatura da superfície (T_s) em Kelvin (K) é função da radiância espectral da banda 6 ($L_{\lambda 6}$) do satélite TM Landsat 5, podendo ser obtida, segundo Markham e Barker (1987), por:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (3)$$

em que K_1 e K_2 são constantes de radiação específicas para o TM – Landsat 5, respectivamente iguais a $607,76 \text{ W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e $1260,56 \text{ K}$ e, a emissividade de cada pixel (ε_{NB}) no domínio espectral da banda termal do TM – Landsat 5 ($10,4 - 12,5 \mu\text{m}$) é expressa por Allen *et al.* (2002):

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \times IAF \quad (4)$$

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, sendo computado pela equação Allen *et al.*(2002):

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - IVAS}{0,59}\right)}{0,91} \quad (5)$$

onde para cálculo do Índice de Vegetação Ajustado aos Efeitos do Solo (IVAS) utilizou-se a equação proposta por Huete (1988), em que L é uma constante de ajuste ao solo, cujo valor usado no estudo foi 0,1 (Allen *et al.*, 2002):

$$IVAS = \frac{(1 + L)(\rho_4 - \rho_3)}{(L + \rho_4 + \rho_3)} \quad (6)$$

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) é um indicador da quantidade e da condição da vegetação verde da superfície terrestre, definido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_4) e do vermelho (ρ_3) e a soma entre elas:

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

O albedo com correção dos efeitos da atmosfera, foi obtido através da equação proposta por Bastiaanssen *et al.*(1998), qual seja:

$$\alpha_{sup} = \left(\frac{\alpha_{plan} - a}{\tau_{sw}^2}\right) \quad (8)$$

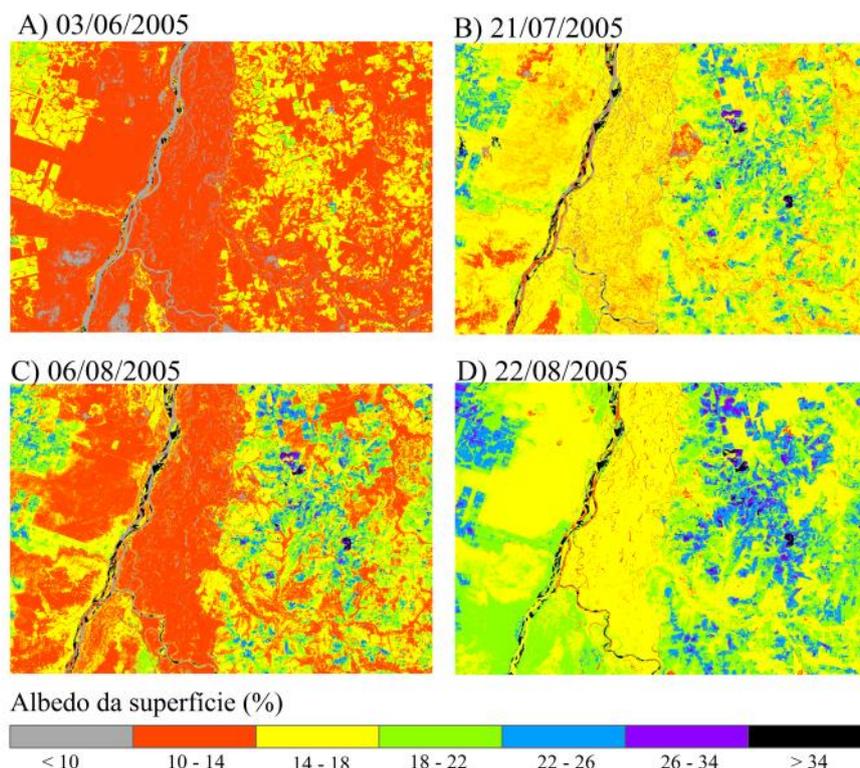
em que a é a reflectância atmosférica, que no presente estudo foi considerada como 0,03 (BASTIAANSEN, 2000; SILVA *et al.*, 2005a); τ_{sw} é a transmissividade atmosférica obtida, para condições de céu claro, segundo equação proposta por Allen *et al.* (2002) e α_{plan} é o albedo planetário, ou seja, o albedo de cada pixel sem correção atmosférica (SILVA *et al.*, 2005a).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios do albedo encontrado (Figura 1) variaram de 12,7 a 19,2%, que correspondem às imagens dos dias 03/06/2005 e 22/08/2005, respectivamente. Percebe-se que a menor média do albedo está relacionada com o dia mais próximo ao início do

Solstício de Inverno e a mais próxima do fim da cheia do rio Araguaia (que ocorre entre os meses de janeiro e maio); já a maior média está relacionada com maior distância do início do inverno e do fim das cheias.

Figura 1: Albedo da superfície (%) obtido através de imagens do sensor TM para os seguintes dias de estudo: 03/06/2005 (A), 21/07/2005 (B), 06/08/2005 (C) e 22/08/2005 (D)



Em geral, os corpos d'água apresentaram valores inferiores a 10%. Vários autores obtiveram valores do albedo em superfícies d'água, a exemplo de Bastiaanssen *et al.* (1998) e Bastiaanssen (2000) que encontraram para água albedo entre 3 e 10%. Para o lago de Sobradinho e alguns corpos d'água como açudes, Silva *et al.* (2005a) obtiveram o albedo com valores situados entre 8 e 9%. No leito do rio Jaguaribe o albedo geral encontrado foi inferior a 10%, obtido por Silva *et al.* (2008). Já na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, Gomes *et al.* (2009) encontraram albedo na Lagoa do Cortado entre 4 e 6%. Enquanto Rodrigues *et al.* (2009) obtiveram albedo para corpos hídricos com valores

de 3 a 10%. Os dados de albedo para corpos d'água destes autores corroboram com os obtidos no presente trabalho. As diferenças observadas resultam sobremaneira na turbidez da água, interferências atmosféricas, profundidade e do ângulo zenital solar. Ainda no leito do rio estudado (Rio Araguaia) observaram-se valores altos de albedo, maiores que 34%, em bancos de areia, valor superior ao encontrado por Silva *et al.* (2008) que obtiveram valores superiores a 28% associados a bancos de areia no leito do rio Jaguaribe. A condição hídrica do banco de areia associada à presença de arbustos pode ser apresentada como uma das principais causas das diferenças detectadas.

Para a vegetação nativa (Cerrado) encontraram-se valores de albedo situado entre 10 a 14% para os dias 03/06/2005 e 06/08/2005, e valores entre 14 e 18% para os dias 21/07/2005 e 22/08/2005. Giongo *et al.* (2010) detectaram no Cerrado Paulista valores de albedo entre 9,3 e 13,6%. Já no Cerradão, constituído de vegetação de maior porte, Gomes *et al.* (2009) encontraram valores entre 11 e 12%. Já Santos (2011) obteve valores no cerrado em média igual a 12,6%. Varejão-Silva (2006) cita que para latitudes de 7° o albedo para vegetação tropical é de 13%. Os resultados obtidos por autores aqui mencionados são coerentes com os observados na presente pesquisa.

Em regiões que sofreram ações antrópicas, os valores médios encontrados para o albedo ficaram entre 14 a 26%. Oliveira *et al.* (2012) encontraram para a bacia do Tapacurá, PE valores do albedo entre 14 a 18% (no ano de 1989) e entre 23 a 28% (nos anos de 2005 e 2007) em áreas urbanas. Silva *et al.* (2012) na região do perímetro irrigado de São Gonçalo, verificaram para duas áreas de coqueiro irrigado valores entre 14 a 18% e para pastagem em regime de sequeiro valores entre 20 a 31% (nos dias 29 de agosto e 17 de novembro de 2008, respectivamente). Chandrapala e Wimalasuriya (2003) encontraram para o cinturão (dunas de areia) da costa do Sri Lanka, albedo entre 34 e 36%. Silva *et al.* (2005b) obtiveram para áreas irrigadas valores de albedo de 15 a 25%,

enquanto Gomes *et al.* (2009) encontraram em cana-de-açúcar valores entre 18 a 20%. Rodrigues *et al.* (2009) encontraram para áreas desprotegidas no semiárido valores entre 26 a 36%, enquanto Silva *et al.* (2011) encontraram uma variação entre 25 e 45%. Os resultados mostram de um modo geral que nestas áreas antropizadas há alterações nítidas no albedo.

Na vegetação nativa o albedo é sempre menor do que os obtidos em áreas antropizadas. Os dias que apresentaram valores do albedo bem distintos foram os dias 03/06/2005 e 22/08/2005, resultados que propiciaram as médias de cada imagem já apresentada. Os valores altos encontrados no dia 22/08/2005 para todas as áreas de estudo se deve, provavelmente, a uma alta incidência dos raios solares decorrente do maior ângulo de elevação solar. Por outro lado, a referida imagem é a que foi obtida mais distante do início da estação (inverno), e também a mais distante do fim do período da cheia do rio (entre janeiro e maio) o que pode possivelmente ter influenciado os resultados.

No canto superior esquerdo das imagens, há grande número de pixels com albedo elevado (faixa de 18 a 22% e até mesmo para o dia 22/08/2005 na faixa de 26 a 34%). Conforme será visto mais adiante, há uma grande concordância entre as áreas de elevados valores de albedo, baixo IVDN e altas temperaturas de superfície. A grande nebulosidade existente na área impossibilitou a utilização de imagens de outras estações do ano. Desse modo a sazonalidade do albedo e demais variáveis biofísicas que integram o balanço de radiação, ficou impossibilitada de ser avaliada.

Os valores do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) estão representados na Figura 2, que resultaram em valores médios que se situaram entre 0,35 e 0,55. Os valores negativos do IVDN gerados a partir do presente estudo, como esperado, caracterizam valores para os corpos d'água. Nas áreas de vegetação nativa (Cerrado)

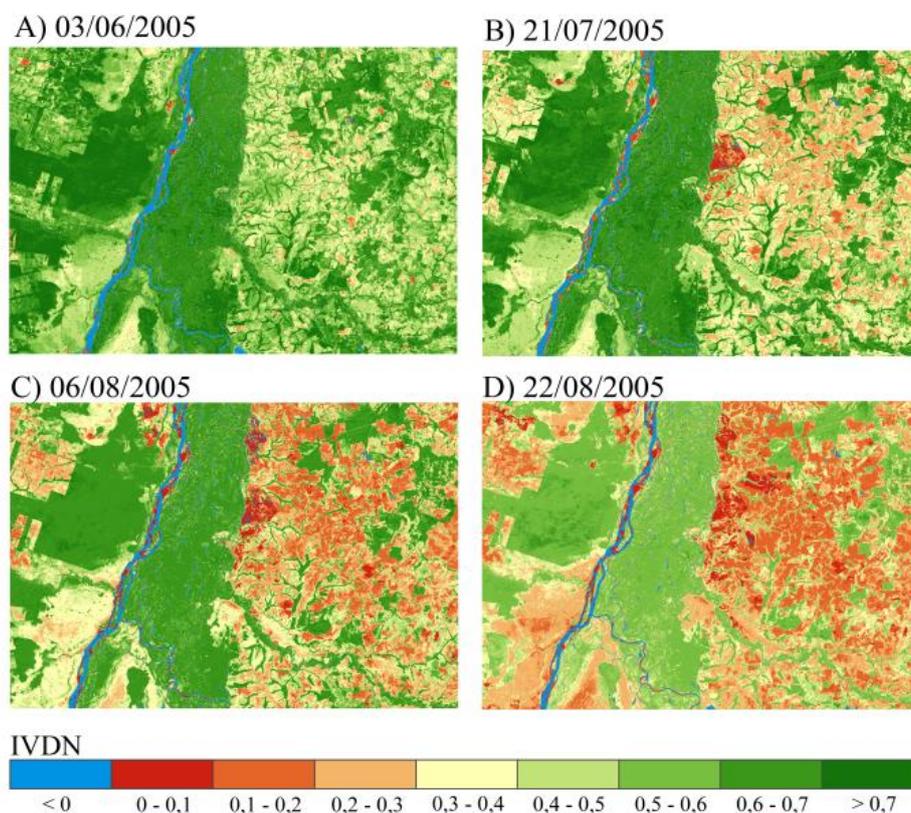
foram encontrados valores acima de 0,50. Gomes *et al.* (2009) obtiveram para o Cerradão no estado de São Paulo valores de 0,60 e 0,71. Já para as áreas que sofrem ações antrópicas, foi observado que o IVDN variou e situou-se entre 0,1 e 0,4. Di Pace *et al.* (2008) encontraram para solo exposto valores entre 0,152 e 0,198. Para o Semiárido nordestino, Rodrigues *et al.* (2009) encontraram valores de IVDN predominantes entre 0,20 a 0,39 e 0,03 a 0,20 em sua área de estudo nos anos de 2000 e 2001, respectivamente. Ainda de acordo com os autores, estes valores são característicos de áreas com vegetação rala ou sem vegetação, típicas do Semiárido. Silva *et al.* (2005b), para solo exposto no interior da Bahia e de Pernambuco, encontraram valores de IVDN 0,16 e 0,17 nos anos de 2000 e 2001, respectivamente. Bezerra *et al.* (2012) verificaram que o IVDN é um bom indicador para o desenvolvimento da cultura de algodoeiro irrigado, onde apresentou evolução concomitante com o ciclo da referida cultura, com valor máximo de 0,80. Os resultados obtidos pelos autores corroboram com os resultados do presente trabalho, embora em ambiente com climas muito diferentes. Pode-se crer que a existência de solo exposto nestas áreas evidencia ações antrópicas. Segundo Huete e Tucker (1991) em áreas de solo exposto o IVDN pode variar entre 0,05 a 0,30.

Pode-se verificar que as áreas de maior índice de vegetação correspondem ao dia 03/06/2005. Podem-se associar os maiores valores do IVDN com a proximidade destas ao fim do período de cheia, que ocorre entre janeiro e maio, em comparação com os outros dias estudados. De acordo com as cartas geradas, ficou notório que as imagens dos dias com maior IVDN estão relacionadas com aquelas que têm menor albedo. Já as imagens que têm menor IVDN, são aquelas que estão no fim do mês de agosto (22/08/2005), que coincidem com as imagens de maior albedo, e provável diminuição da umidade do solo.

Percebe-se que em todas as cenas estudadas há grandes diferenças entre o IVDN das áreas desmatadas e as áreas de vegetação natural. Nas áreas antropizadas variaram de

0,10 a 0,30 e em alguns pontos houve valores entre 0,0 e 0,10, caracterizando assim solo exposto. No percurso do rio Araguaia há valores baixo do IVDN (0,0 e 0,10), como já abordado no item anterior, se refere a bancos de areia. Analisando a área da Ilha do Bananal, detecta-se ao longo dos dias estudados a diminuição do valor do IVDN, que apresentou valores na maior parte entre 0,60 e 0,70 e alguns pontos com valores acima de 0,70 (para os dias 03/06/2005 e 21/07/2005), valores entre 0,50 e 0,60 para o dia 06/08/2005 e valores de 0,40 e 0,50 para o dia 22/08/2005. Ao lado esquerdo do Rio Araguaia percebe-se valores altos do IVDN, que para cada dia estudado este valor foi sempre superior às demais áreas de cada imagem. Este valor chegou ser maior que 0,70 para o dia 03/06/2005, revelando que esta vegetação apresentada é vegetação de maior porte.

Figura 2: IVDN obtido através de imagens do sensor TM para os seguintes dias de estudo: 03/06/2005 (A), 21/07/2005 (B), 06/08/2005 (C) e 22/08/2005 (D)



Os valores médios da temperatura da superfície (T_s) dos dias estudados situaram-se entre 294,9 e 297,7 K, correspondendo, respectivamente, aos dias 03/06/2005 e 06/08/2006. As temperaturas da superfície obtidas através das imagens TM apresentaram pouca variação entre os dias 21/07, 06/08 e 22/08.

Em corpos d'água foram obtidas temperaturas médias menores que 294 K. Para o Lago de Sobradinho, Silva *et al.* (2005b) obtiveram para T_s valores de 293,9 e 296,9 K, enquanto Gomes *et al.* (2009) encontraram para a Lagoa do Cortado valores entre 291,0 e 298,5 K. Silva *et al.* (2011) encontraram valores da T_s do Açude de São Gonçalo, PB entre 287,4 e 292,0 K. Os resultados obtidos pelos autores acima citados estão em consonância com os dos autores mencionados.

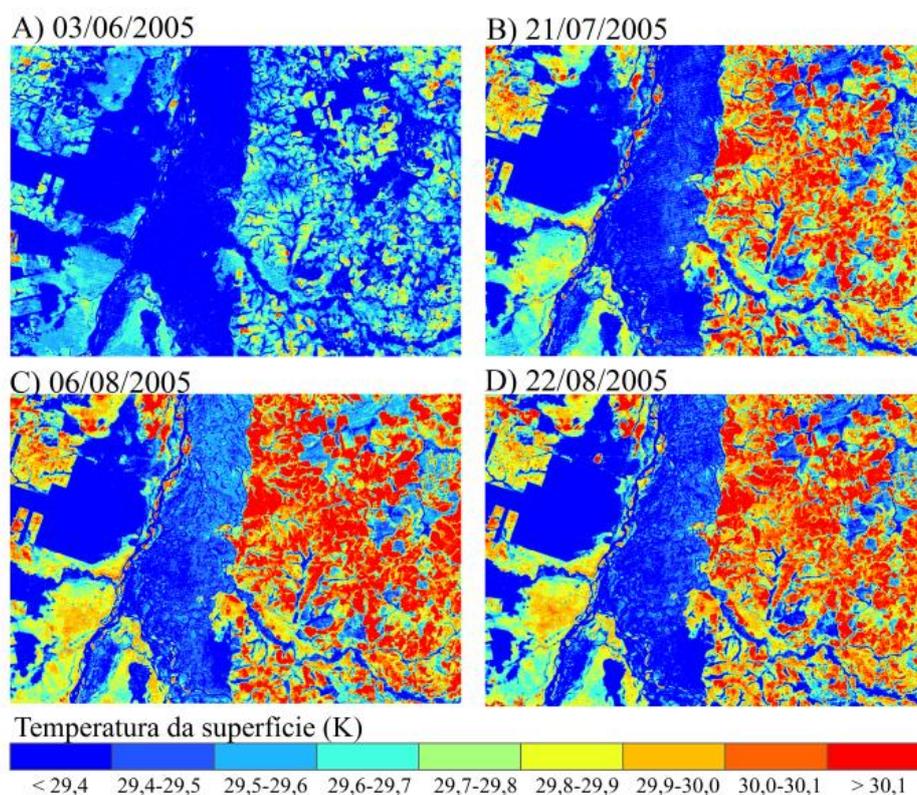
Em locais com presença da vegetação nativa os valores foram menores que 294 K para vegetações de maior porte ao longo de todos os dias estudados. Para uma região no estado de São Paulo, Gomes *et al.* (2009) encontraram valores para o cerrado entre 293,0 e 298,3 K. Os valores que foram obtidos no presente estudo corroboram com os valores obtidos pelos autores citados.

Em locais antropizados foram encontrados na maior parte deles valores superiores a 301 K, exceto para o dia 03/06/2005 que resultou em valores entre 296 a 297 K com alguns pontos entre 298 a 299 K, provavelmente por ser a imagem de satélite com o dia mais próximo ao da cheia do rio Araguaia (janeiro a maio). Para as cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, Silva *et al.* (2005b) encontraram valores para solo exposto 310,1 e 313,0 K. Di Pace *et al.* (2008), para a mesma localidade, registraram para solo exposto temperaturas de superfície que variaram de 304,7 a 309,1 K, enquanto Silva *et al.* (2011) encontraram para solo exposto valores entre 293,8 a 299,6 K. Estes resultados foram consideravelmente maiores aos obtidos no presente trabalho, exceto para Silva *et al.*

(2011). Uma provável explicação se deve ao fato da região estudada por eles localizar-se no Semiárido do Nordeste.

Na Figura 3 percebe-se pouca variação da temperatura da superfície ao longo das imagens dos dias estudados, exceto para o dia 03/06/2005. Através das cartas de temperatura da superfície pode-se afirmar também que as cartas que possuíram maiores Ts estão no mês de agosto, provavelmente por sua data se distanciar mais do período das cheias e está mais perto do fim da estação de inverno.

Figura 3: Temperatura da superfície (Ts) obtida através do sensor TM para os seguintes dias de estudo: 03/06/2005 (A), 21/07/2005 (B), 06/08/2005 (C) e 22/08/2005 (D)



Na Ilha do Bananal percebe-se que houve aumento da Ts ao longo dos dias estudados, tendo variação de valores menores que 294 K (para o dia 03/06/2005) a pontos com valores de 295 a 297 K (para o restante das imagens). Observa-se também que em todas as áreas da cena estudada obteve-se aumento da temperatura da superfície, exceto para a vegetação de grande porte que se situa no lado esquerdo do Rio Araguaia.

Pode-se observar que a temperatura da superfície de cada imagem está em concordância com o albedo, ou seja, aonde a T_s foi maior o albedo também se mostrou maior (áreas antropizadas) e quando a T_s se apresentou menor o albedo também se mostrou menor (áreas de vegetação nativa). Mas, segundo Gomes *et al.* (2009), não se pode explicar o aumento da T_s apenas pelo aumento do albedo. Há de se considerar, também, os padrões apresentados pelos fluxos de calor sensível e latente. Podemos observar um aumento da T_s ao longo dos dias estudados, o que também corrobora com os valores do albedo e IVDN relatados anteriormente.

De um modo geral, pode-se observar que aonde há vegetação natural a T_s foi sempre menor em relação às áreas modificadas, que se apresentam sistematicamente com temperaturas maiores em todos os dias estudados. As cartas da T_s apresentadas na Figura 3 indicam com clara evidência as diferenças entre as áreas consideradas homogêneas, mostrando as delimitações entre ambas (áreas desmatadas e áreas de vegetação nativa).

CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou, a partir de imagens do TM - Landsat 5, a eficiência do uso das técnicas do sensoriamento remoto na detecção de alterações provocadas por mudanças no uso da terra na Ilha do Bananal.

A presença humana na área de estudo altera os fluxos radiativos, impacta o albedo e a temperatura da superfície, com consequências diretas na temperatura do ar. Observam-se valores discrepantes entre áreas antropizadas e áreas com vegetação nativa, revelando assim o impacto causado pelo antropismo da área de estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de mestrado do primeiro autor; ao CNPq pelo apoio financeiro a esta pesquisa e pela bolsa de Produtividade e Pesquisa concedida aos segundo e terceiro

autores; à CAPES pela concessão de bolsa de pós-doutorado do quinto autor e apoio financeiro; à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), pela concessão de bolsa de pós-doutorado do quinto autor. À FACEPE pela bolsa de pesquisa do segundo autor.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI M. Surface energy balance algorithms for land. Advance training and user's manual, version 1.0, p.98, 2002.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v.229, n.1, p.87-100, 2000.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1: Formulation. *Journal of Hydrology*, v.212–213, p.198–212, 1998.
- BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B. da; BEZERRA, B. G.; BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro irrigado a partir de imagens de sensores orbitais. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.1, p.64-71, 2012.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, v.41, n.11, p.2674-2677, 2003.
- CHANDRAPALA, L.; WIMALASUIYA, M. Satellite Measurements supplemented with meteorological data to operationally estimate evaporation in Sri Lanka. *Agricultural Water Management*, v.58, p.89-107, 2003.
- Di PACE, F. T.; SILVA, B. B. da; 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, p.385-392, 2008.
- GIONGO, P. R.; MOURA, G. B. DE A.; SILVA, B. B. DA; ROCHA, H. R. DA; MEDEIROS, S. R. R. DE; NAZARENO, A. C. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.3, p.279-287, 2010.
- GOMES, H. B.; SILVA, B. B. da; CAVALCANTI, E. P.; ROCHA, H. R. da. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat. *Revista Geociências, UNESP*, v.28, n.2, p.153-164, 2009.
- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v.25, n.3, p.295-309, 1988.

- HUETE, A. R.; TUCKER, C. J. Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v.12, p.1223-1242, 1991.
- MACHADO, R. B., M. B. RAMOS NETO, P. G. P. PEREIRA, E. F. CALDAS, D. A. GONÇALVES, N. S. SANTOS, K. TABOR e M. STEININGER. 2004. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at satellite temperatures. EOSAT Landsat Technical Notes 1:3-8, Earth Observation Satellite Company, Lanham, Md, 1987.
- OLIVEIRA, L. M. M. de; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B. da; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 9, p. 1209-1217, 2012.
- OWEN, T.W., CARLSON, T. N., GILLIES, R.R. An assessment of satellite remotely sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, v.19, p.1663-1681, 1998.
- PAIVA, C. M.; FRANÇA, G. B.; LIU, W. T. H.; ROTUNNO FILHO, O. C. A comparison of experimental energy balance components data and SEBAL model results in Dourados, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, v. 32, p. 1731-1745, 2011.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas. Guaíba-RS: Liv. e Ed. Agropecuária, 2002.
- RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S; SILVA, B. B. da. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. *Revista de Engenharia Agrícola*, v.29, n.3, p. 452-465, 2009.
- SANTOS, F. A. C. Alterações no balanço radiativo e impactos climáticos decorrentes do uso da terra no estado de São Paulo. 83f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, 2011.
- SHUAI, Y.; MASEK, J. G.; GAO, F.; SCHAFF, C. B. An algorithm for the retrieval of 30-m snow-free albedo from Landsat surface reflectance and MODIS BRDF. *Remote Sensing of Environment*, v.115, p.2204-2216, 2011.
- SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 - TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v.13, n.2, p.201-211,2005a.
- SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de Radiação em Áreas Irrigadas Utilizando Imagens Landsat 5–TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.2,p.243-252, 2005b.

SILVA, B. B. da; MENDONÇA, R. R. O.; SILVA, S. T. A.; FERREIRA, R. C. Mapeamento do albedo de áreas heterogêneas do estado do Ceará com imagens TM - Landsat 5. *Revista de Geografia*, v.25, n.2, 2008.

SILVA, B. B. da; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.24, n.3, p.145-152, 2011.

SILVA, B. B. da; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, n.9, p.1218-1226, 2012.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia. Ministério da Agricultura e Abastecimento, Instituto Nacional de Meteorologia, 2ª Ed. (versão digital), 463p., 2006.

WAN, Z. New refinements and validation of the MODIS Land surface Temperature/Emissivity products. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.59-74, 2008.

WENG, Q.; LU, D. A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.10, p.68-83, 2008.