



NDVI COMO INDICADOR DE ALTERAÇÕES NOS SISTEMAS DE USOS DA TERRA E NO ALBEDO DE SUPERFÍCIE NO MUNICÍPIO DE VÁRZEA DA PALMA (MINAS GERAIS)

NDVI AS AN INDICATOR OF CHANGES IN LAND USE SYSTEMS AND SURFACE ALBEDO IN THE MUNICIPALITY OF VÁRZEA DA PALMA (MINAS GERAIS)

NDVI COMO INDICADOR DE ALTERACIONES EN LOS SISTEMAS DE USOS DE LA TIERRA Y EN EL ALBEDO DE SUPERFÍCIE EN EL MUNICÍPIO DE VÁRZEA DA PALMA (MINAS GERAIS)

Lucas Augusto Silva

Universidade Estadual de Montes Claros

E-mail: lucaskaio1605@gmail.com

Manoel Reinaldo Leite

Universidade Estadual de Montes Claros

E-mail: leitemanoelreinaldo@gmail.com

Gabriel Alves Veloso

Universidade Federal do Pará

E-mail: Gabrielveloso.geo@gmail.com

RESUMO:

Índices de Vegetação como o NDVI, bem como parâmetros geofísicos como o albedo, são reconhecidamente importantes para caracterizar paisagens nativas ou antropizadas, auxiliando no adequado manejo do ambiente. Fazer esta medição por dados satelitários, a partir da radiação eletromagnética refletida pelos alvos na superfície, torna esta operação mais eficiente a uma série de aplicações. Este estudo tem como objetivo entender as variações do albedo de superfície diante das modificações dos sistemas de usos da terra indicadas pelo NDVI em período de 25 anos (1985-2010), no município de Várzea da Palma (Minas Gerais), tendo como auxílio metodológico as imagens do satélite Landsat-5 TM e o algoritmo SEBAL (Surface Energy Balances Algorithm for Land) para estimativa dos componentes do balanço de radiação, o NDVI e o albedo de superfície. As etapas foram computadas no software ERDAS IMAGINE 2014 através do Model Maker, um modelador matemático que possibilita as operações. Os menores valores de NDVI foram destinados às áreas com menores coberturas vegetais e os maiores em áreas com coberturas vegetais densas. O albedo de superfície foi estimado com maiores valores para áreas com menores coberturas vegetais, e em áreas com maiores índices de vegetação, o albedo foi estimado com menores valores.

Palavras-Chave: NDVI; uso da terra; albedo.

ABSTRACT:

Vegetation indices such as NDVI, as well as geophysical parameters such as albedo are recognized as important to characterize native or anthropic landscapes, helping in the proper management of the environment. Making this measurement by satellite data, from the electromagnetic radiation reflected by the targets on the surface, makes this operation more efficient for a number of applications. The objective of this study is to understand the variations of the surface albedo before the modifications of the land use systems indicated by the NDVI in a period of 25 years (1985-2010) in the municipality of Várzea da Palma, using as a methodological aid the images of the satellite Landsat -5 TM and SEBAL (Surface Energy Balances Algorithm for Land) algorithm for estimating the components of the radiation balance analyzed in this work, which are NDVI and surface albedo. The steps were computed in ERDAS IMAGINE 2014 software through Model Maker, a mathematical modeler that enables operations. The lowest NDVI values were allocated to areas with lower vegetation cover and the highest values in areas with dense vegetation cover. The surface

albedo had an increase for areas with lower vegetation cover, in areas with higher vegetation indexes the albedo had a decrease in its values.

Keywords: NDVI; land use; albedo.

RESUMEN:

Los índices de vegetación como el NDVI, así como los parámetros geofísicos como el albedo, son reconocidamente importantes para caracterizar paisajes nativos o antropizados, ayudando en el adecuado manejo del ambiente. La medición por datos satelitales, a partir de la radiación electromagnética reflejada por los blancos en la superficie, hace esta operación más eficiente a una serie de aplicaciones. Este estudio tiene como objetivo entender las variaciones del albedo de superficie ante las modificaciones de los sistemas de usos de la tierra indicadas por el NDVI en un período de 25 años (1985-2010), en el municipio de Várzea da Palma (Minas Gerais), teniendo como instrumento metodológico las imágenes del satélite Landsat y el algoritmo SEBAL (Surface Energy Balances Algorithm for Land) para la estimación de los componentes del balance de radiación analizados en este trabajo, que son, el NDVI y el albedo de superficie. Los pasos fueron computados en el software ERDAS IMAGINE 2014 a través del Model Maker, un modelador matemático que posibilita las operaciones. Los menores valores de NDVI fueron destinados a las áreas con menores coberturas vegetales y los mayores en áreas con cubiertas vegetales densas. El albedo de superficie ha sido estimado con mayores valores para áreas con menores coberturas vegetales, y en áreas con índices de vegetación más elevados, el albedo ha sido estimado con menores valores.

Palabras clave: NDVI; uso de la tierra; albedo.

1 INTRODUÇÃO

Estudos cujo objeto de análise são os usos da terra devem contemplar as variações temporais e espaciais na superfície terrestre. A expressão uso da terra menciona atividades humanas de ocupação e exploração da superfície da Terra e dos seus recursos em função da necessidade de manutenção das sociedades humanas (LEITE, 2011).

Assim, as análises sobre a variação dos usos da terra tendem a mostrar o comportamento da dinâmica entre as atividades econômicas desenvolvidas pelas sociedades e o meio onde são inseridas, buscando avaliar as alterações no espaço físico, ou seja, mostrar uma área onde predominava grandes extensões territoriais de vegetação nativa, que passou a ser destinada à sistemas agrícolas, extensões de solo em exposição e/ou pastagem.

Conforme apresentado por Leite e Brito (2012), os sistemas florestais, agroflorestais e solos podem funcionar como reservas de Carbono e como fonte desse elemento químico. Dentro desta percepção, em 1990, o primeiro relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) demonstrava que as concentrações dos gases estufas, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), aumentaram em média 30%, 145% e 15% respectivamente, desde o período da Revolução Industrial, no século XVIII, até 1992, citam os mesmos autores.

Este fato conduz o clima da Terra a mudanças que trazem consequências negativas para o meio natural e, consequentemente, para o ser humano. Tendo as ações antrópicas como fonte primária desses efeitos, destacam-se as intensas mudanças nos sistemas de usos da terra, de maneira



que os desmatamentos significam maior emissão de CO₂ para a atmosfera, além de subsidiarem maior ressecamento do solo e aumento de temperatura de superfície.

Dessa forma, surgem algumas indagações sobre como está sendo feito este uso dos recursos naturais, tentando assim responder questões sobre a fragilidade dos sistemas ambientais e sobre quais alterações estes usos demasiados podem acarretar nos sistemas de usos da terra.

Neste sentido, vale ressaltar que as alterações e/ou modificações nestes sistemas de usos da terra, a exemplo de pastagens e do uso agrícola, significam alterações no conteúdo de carbono do solo. As florestas plantadas contribuem para a remoção e emissão de CO₂ para a atmosfera (EFEITO, 1999).

Diante desta argumentação, pode-se afirmar que as alterações nos revestimentos naturais da superfície tendem a levar a alterações no balanço de radiação tanto na superfície quanto na atmosfera. Dentre os componentes do balanço de radiação pode-se destacar a importância do albedo que, segundo vários pesquisadores (BLAD & BAKER, 1972; LEITÃO, 1989; AZEVEDO *et al.*, 1990; LEITÃO & OLIVEIRA, 2000; JACOB & OLIOSO, 2005), é uma razão entre radiações de ondas curtas refletidas e incidentes que sofre variação em função da posição do sol e interação com o estágio de desenvolvimento da planta, do grau de cobertura do solo, umidade do solo e do ar e grau de cobertura de nuvens. Gomes (2009) explica que, embora os efeitos mencionados sobre o albedo tenham sido explorados (MONTEITH, 1973; LEITÃO, 1994), variáveis micro meteorológicas, a exemplo do vento e do orvalho, podem ser importantes influenciadores.

Outros fatores, como a redução, perda e/ou supressão da cobertura vegetal, promovem um acréscimo nos valores de albedo, como afirma Charney *et al.* (1975, citados por Ponce, 2009), podendo levar a uma redução na absorção da radiação.

Diante desta percepção, surgem técnicas com intuito de analisar essas modificações quanto às reduções das coberturas vegetais, como o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), que é o resultado da razão entre a diferença da banda do infravermelho próximo (banda 4 = ρ_4) e a do vermelho (banda 3 = ρ_3), normalizado pela soma das mesmas.

O índice de vegetação por diferença normalizada tem sido usado com eficiência para avaliar a condição da vegetação em regiões áridas e semiáridas, demonstrando a aplicação das imagens de satélite para investigar diversos processos de degradação ambiental.

O NDVI foi proposto de início por Tucker (1979) como um índice que reflete a saúde e densidade da vegetação. Assim, esta técnica se torna de fundamental importância para compreender as modificações dos sistemas de usos da terra, e também é forte indicador das alterações dos

parâmetros do albedo de superfície, uma vez que as coberturas são determinantes para estabelecer a variação destes parâmetros.

Diante desta realidade, o sensoriamento remoto se destaca como uma ferramenta de importância singular, já que os dados de sensor remoto vêm dando suporte a vários estudos sobre a superfície da Terra, principalmente quando se considera a possibilidade de obtenção de informações temporais como os dados da série TM – *Landsat 5*, que se pontuam como uma importante fonte de informações históricas, permitindo o mapeamento e a quantificação de informações pretéritas e atuais das áreas imageadas.

Assim, análises executadas neste trabalho tiveram como objetivo entender as variações do albedo de superfície diante das modificações dos sistemas de usos da terra indicadas pelo NDVI, em um período de 25 anos (1985 a 2010), no município de Várzea da Palma (Minas Gerais), tendo como auxílio as imagens do satélite da série Landsat-5 do sensor TM (*thematic mapper*) e do algoritmo SEBAL. A escolha desta localidade se justifica pelo crescente número de áreas antropogênicas ao longo dos anos mapeados.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Município Várzea da Palma localiza-se na região norte do Estado de Minas Gerais, a 17° 35' 47,8" de latitude sul e a 44° 35' 39,3" de longitude oeste. Está inserido na zona fisiográfica do Alto Médio São Francisco e na microrregião do Baixo Rio das Velhas.

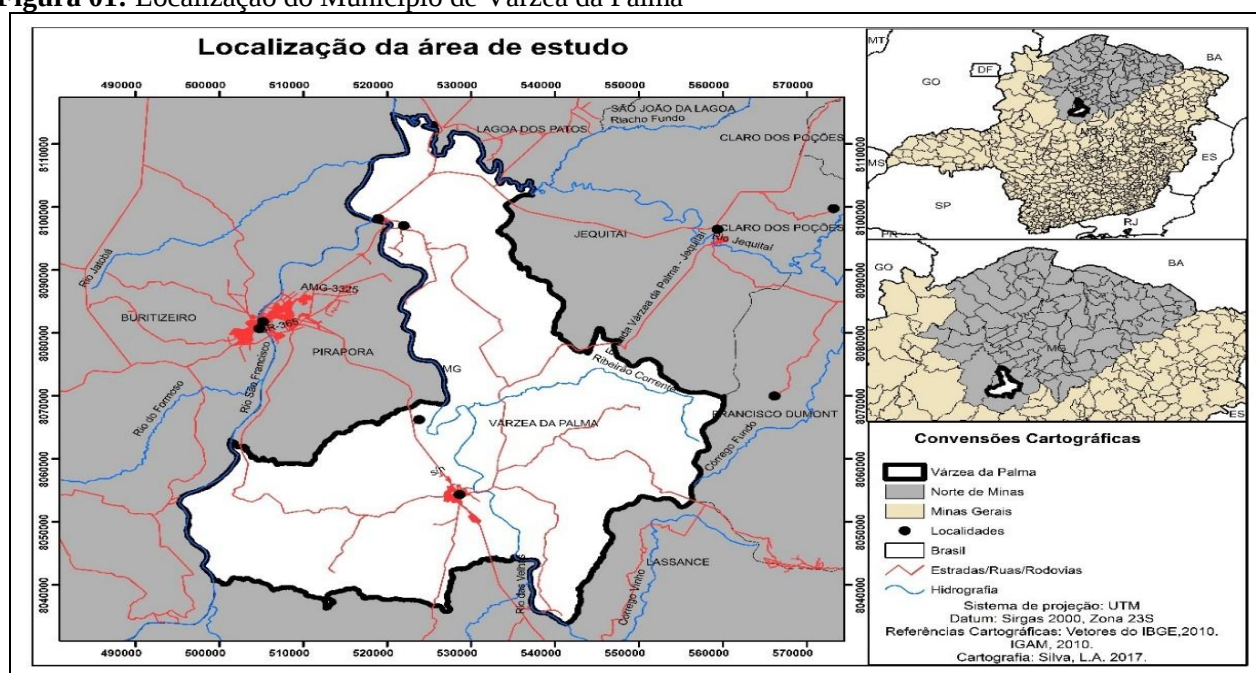
O município limita-se a norte com os municípios de Lagoa dos Patos e Buritizeiro, ao sul com Lassance, a oeste com Pirapora e Buritizeiro, e a leste com Jequitai e Francisco Dumont (Figura 01) (VIEIRA NETO, 1982).

O clima local é classificado como tropical com verão úmido na média e baixa bacia hidrográfica do Rio das Velhas, com média de temperatura de 23°C e média pluviométrica anual de 1.100 mm em seu ponto de encontro com o Rio São Francisco, no distrito de Barra do Guaicuí (COSTA; SILVA, 2017).

O solo predominante no município é do tipo latossolo com uma textura média e contato lítico. Os recursos minerais explorados são a areia, o cascalho, a argila e o caolim (VIEIRA NETO, 1982).



Figura 01: Localização do Município de Várzea da Palma



Consoante a Costa e Silva (2017), os sistemas de usos da terra destinados às classes de vegetação natural e/ou nativa no município são compostos predominantemente pelo cerrado, onde é possível encontrar, em sua grande maioria nas áreas planas, formações savânicas, com presença de cerradão em áreas de vale, e pequenas porções de matas de galeria no entorno das matas ciliares. A hidrografia é composta por três rios, o São Francisco, Rio das Velhas e Rio Jequitai, integrantes da Bacia do Ato Médio São Francisco, e ainda vários ribeirões, como o Corrente, Bananal, Pedras Grandes e o Lontra, Pedras da Brígida, do Vinho, lagoas do Peri-Peri, Olaria, áreas alagadiças, e açudes, como o Açude Lucas Miranda, em Buritis das Mulatas, além de outros pequenos cursos d'água, como riachos e nascentes (VIEIRA NETO, 1982).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização deste trabalho utilizaram-se imagens que foram adquiridas junto à Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Neste estudo foram utilizadas 3 (três) imagens correspondentes às seguintes datas: 02/07/1985, 26/08/2005, 24/08/2010 da órbita 219 e ponto 72. A escolha das datas e do período de inverno se deu pelo menor índice de cobertura de nuvens no momento da passagem do sensor.

A estimativa dos componentes do balanço de radiação contou com a utilização do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balances Algorithm for Land*), desenvolvido para a estimativa de evapotranspiração de grandes extensões territoriais que utiliza imagens de satélites na faixa do

visível, infravermelho próximo e infravermelho termal (BASTIAANSSEN *et al.*, 1998). A metodologia utilizada neste estudo foi baseada nos seguintes passos:

- Aquisição dos produtos orbitais;
- Obtenção de arquivos shapefile na base cartográfica do IBGE;
- Procedimentos técnicos operacionais no *Erdas Imagine* 2014;
- Classificação supervisionada no *ArcMap* 10.3.1;
- Elaboração dos mapas por SIG.

3.1 Mapeamento do uso da terra

Foi realizada a classificação supervisionada, na qual, segundo Novo (2008), o analista está em constante interação com o sistema de análise digital, dispondo de informações sobre a cena.

Através do classificador MaxVer, a classificação por máxima verossimilhança (MaxVer) considera a ponderação das distâncias entre a média dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos (LILLESAND, KIEFER E CHIPMAN, 2007). Nessa classificação cada pixel é destinado à classe que tem mais alta probabilidade de ser similar, ou seja, a máxima verossimilhança. É um classificador eficiente, porque são utilizadas classes de treinamento para estimar a forma de distribuição dos pixels contidos em cada classe. (MENESES; SANO, 2012).

As classes de uso da terra estabelecidas foram: agricultura, água, pasto, vegetação arbustiva, vegetação arbórea, eucalipto e solo exposto.

3.2 Procedimentos técnicos operacionais

Fez-se necessário corrigir os horários de passagem do sensor, como destaca a tabela 01, uma vez que os horários do cabeçalho das imagens estão em GMT. Essa correção requer a conversão deste horário para a hora local (Horário de Brasília), a fim de permitir a calibração e validação dos dados obtidos pelo algoritmo.



Tabela 01: Horário e data da passagem do satélite

Data da passagem do sensor	Tempo Central (GMT)	Hora corrigida para área de estudo (Horário de Brasília)
02/07/1985	12h32min	9h32min
26/08/2005	12h50min	9h50min
24/08/2010	12h53min	9h53min

Fonte: Serviço Geológico dos E.U.A.

Os valores constantes demonstrados nas tabelas 02 e 03 são necessários como requisito de transformações dos níveis digitais das imagens em radiância e reflectância, e tais dados foram fornecidos pelo serviço geológico dos E.U.A.

Tabela 02: Mapeador Temático (TM) Landsat 5: descrição, intervalo de comprimentos de onda e coeficientes de calibração, radiâncias espectrais mínima (a) e máxima (b) e irradiância espectral no topo da atmosfera para imagens até 04/05/2003

Descrição dos canais	Comprimento de onda (μm)	Coeficiente de calibração ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)		Constante solar ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
		A	b	
Banda 1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	152,0	1958,00
Banda 2 (verde)	0,53 – 0,61	-2,84	296,81	1828,00
Banda 3 (vermelho)	0,62 – 0,69	-1,17	204,3	1559,00
Banda 4 (infravermelho próximo)	0,78 – 0,90	-1,51	206,2	1045,00
Banda 5 (infravermelho médio)	1,57 – 1,78	-0,37	27,19	219,00
Banda 6 (infravermelho termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
Banda 7 (infravermelho médio)	2,10 – 2,35	-0,15	14,38	75,00

Fonte: Serviço Geológico dos E.U.A.

Tabela 03: Mapeador Temático (TM) Landsat 5: descrição, intervalo de comprimentos de onda e coeficientes de calibração, radiâncias espectrais mínima (a) e máxima (b) e irradiância espectral no topo da atmosfera para imagens pós 04/05/2003

Descrição dos canais	Comprimento de onda (μm)	Coeficiente de calibração ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)		Constante solar ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$)
		A	b	
Banda 1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957,00
Banda 2 (verde)	0,53 – 0,61	-2,84	365,0	1826,00
Banda 3 (vermelho)	0,62 – 0,69	-1,17	264,0	1554,00
Banda 4 (infravermelho próximo)	0,78 – 0,90	-1,51	221,0	1036,00
Banda 5 (infravermelho médio)	1,57 – 1,78	-0,37	30,2	215,00
Banda 6 (infravermelho termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
Banda 7 (infravermelho médio)	2,10 – 2,35	-0,15	16,5	80,6

Fonte: Serviço Geológico dos E.U.A.

Etapa 1 – Radiância

Para a conversão dos níveis digitais (ND) de cada uma das bandas do TM Landsat 5 em radiância espectral monocromática, que representa a energia solar refletida e a energia emitida pela superfície da Terra, de cada pixel, por unidade de tempo, de área, de ângulo sólido e de comprimento de onda medido ao nível do satélite, utilizou-se a equação apresentada por Markham e Barker (1986).

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

Em que, a e b são radiâncias espectrais mínimas e máximas ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), conforme tabela 04 e 05; ND são os níveis digitais de cada pixel da imagem variando de 0 a 255; e i são as bandas (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7) do satélite TM Landsat 5.

Etapa 2 – Reflectância

Para a obtenção da reflectância, que é a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação global incidente, utilizou-se a equação apresentada por Allen *et. al.* (2002):

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

Em que, $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral monocromática de cada banda do TM Landast 5; $k_{\lambda i}$ é a irradiância espectral solar no topo da atmosfera de cada banda (Tabela 04 e 05); Z é o ângulo zenital; e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol em unidades astronômicas de acordo com o dia do ano.

Para a estimativa de d_r se considera a equação apresentada por Duffie e Beckman (1980):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos(2 \pi \text{DDA} / 365) \quad (3)$$



Sendo que DDA é o dia do ano contado consecutivamente de 01 de janeiro até a data de passagem do sensor, considerando fevereiro com 28 dias.

Etapa 3 – Albedo planetário

O albedo planetário corresponde ao poder de reflexão da superfície mais a atmosfera e seus componentes para os comprimentos de onda curta (0,3 – 3,0 μm). Sua obtenção se dá através do ajuste linear das reflectâncias espectrais ρ_λ com pesos ω_λ através da equação a seguir (GOMES, 2009):

$$\omega_{\lambda,b} = \frac{ESUN_{\lambda,b}}{\sum ESUN_{\lambda,b}} \quad (4)$$

Etapa 4 – Albedo corrigido

O poder refletor da superfície ou albedo de superfície pode ser entendido como o coeficiente de reflexão da superfície para a radiação de onda curta, corrigidos os efeitos atmosféricos. Trata-se de uma medida adimensional que pode ser avaliada pela razão entre a radiação direta e a difusa em função do ângulo zenital solar. A obtenção do albedo de superfície se deu por meio da equação recomendada por Allen *et. al.* (2002).

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (5)$$

Sendo que, α_{toa} é o albedo planetário e α_p é a radiação solar refletida pela atmosfera variando de 0,025 a 0,04. E τ_{sw} é a transmissividade da atmosfera que nas condições de transparência calcula-se utilizando a equação de acordo com Allen *et. al.* (2002).

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

Em que z é a altitude em metros de cada pixel da imagem.

Etapa 5 - NDVI

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo (IV ρ) e do vermelho (V ρ), pela soma das mesmas:

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

Onde IV ρ e V ρ correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do LandSat-5 Sensor TM.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para demonstrar a eficiência do NDVI na identificação de modificações nos sistemas de usos da terra e alterações no albedo de superfície, faz-se necessário demonstrar os dados referentes ao mapeamento do uso do solo no município de Várzea da Palma, conforme apresentado na figura 02 e a tabela 04:

Figura 02: Mapas de uso da terra do município de Várzea da Palma (1985, 2005 e 2010)

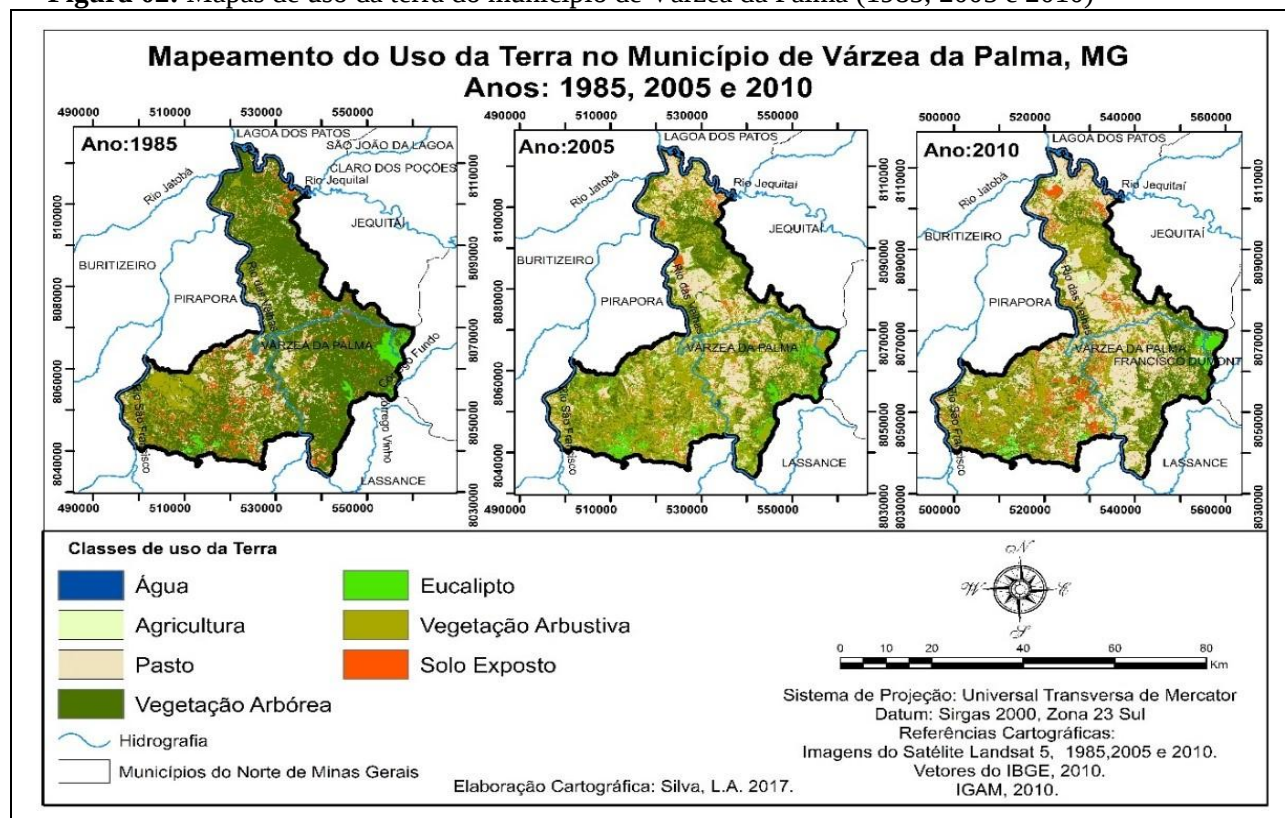


Tabela 04: Percentual da distribuição espacial dos usos da terra no município de Várzea da Palma (1985, 2005 e 2010)

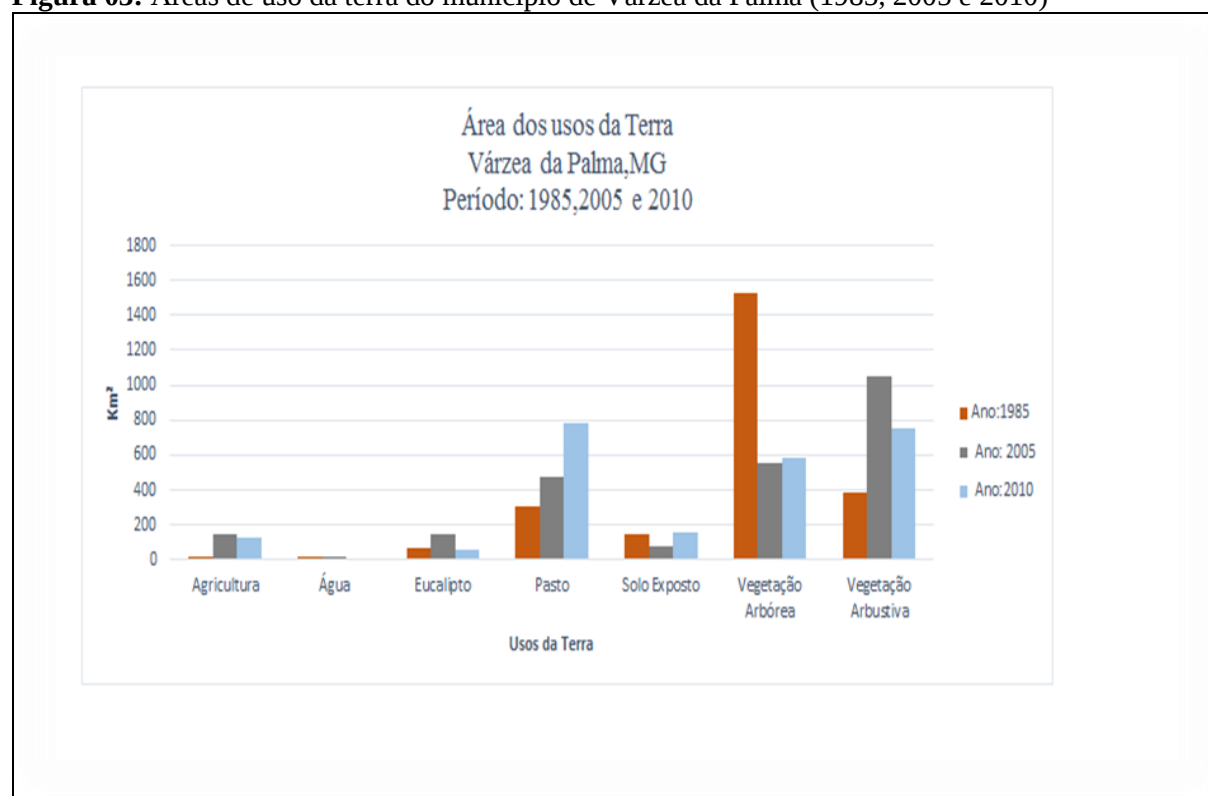
Usos da Terra	Área em km ²		
	1985	2005	2010
Agricultura	16,51	151,35	124,74
Água	14,55	12,82	9,37
Eucalipto	66,06	148,65	54,48
Pasto	309,86	475,27	782,16
Solo Exposto	142,24	79,38	155,79
Vegetação Arbórea	1.530,05	551,68	585,45
Vegetação Arbustiva	385,79	1.045,92	753,08

Fonte: Imagens do Satélite Landsat-5, referentes aos anos de 1985, 2005 e 2010.

Organização: Silva, L. A. 2017.

Para melhor demonstração, segue na figura 03, o gráfico referente as áreas ocupadas para cada forma de uso da terra:

Figura 03: Áreas de uso da terra do município de Várzea da Palma (1985, 2005 e 2010)



Organização: Silva, L. A. 2017

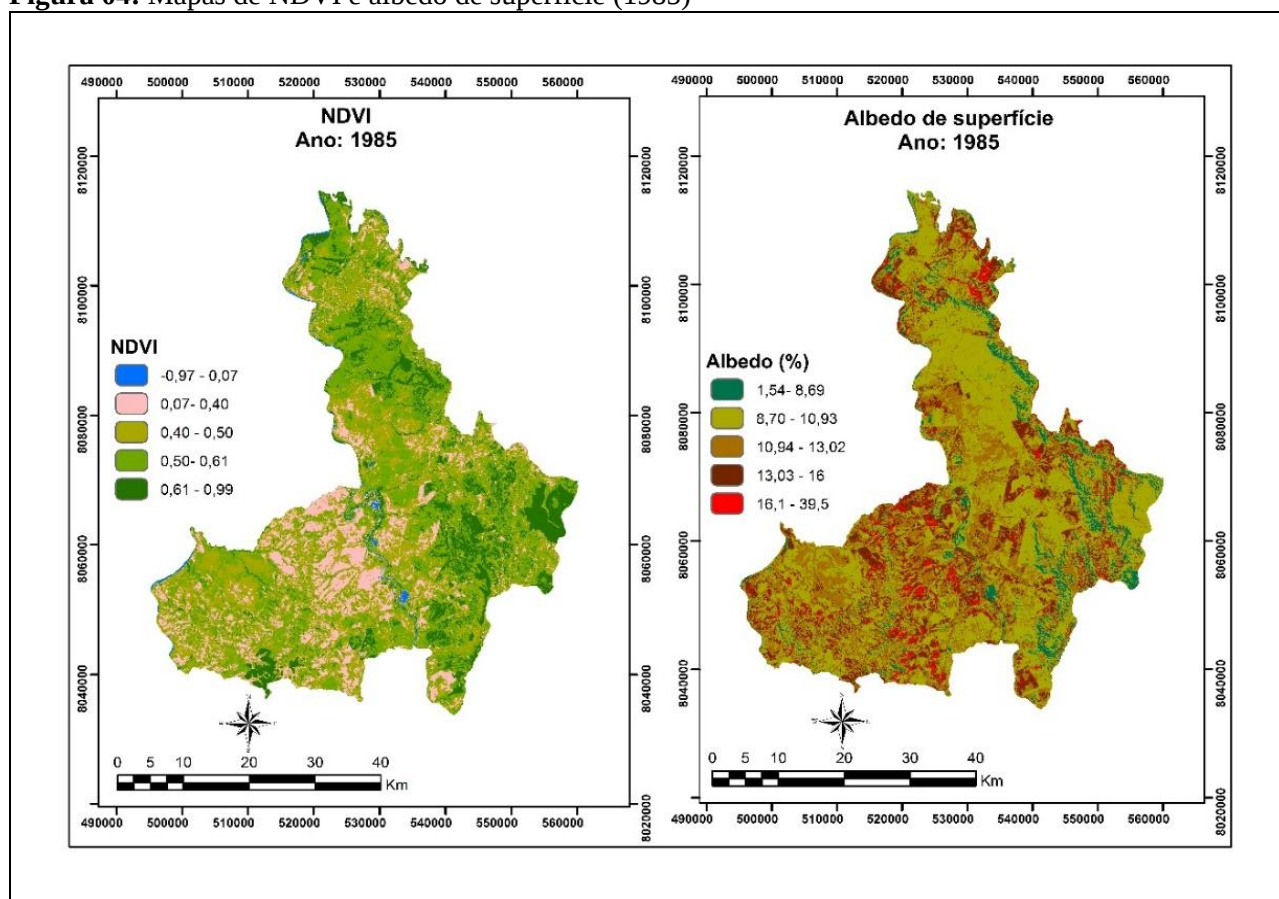
No tocante ao mapeamento do uso do solo dentro dos anos especificados no município de Várzea da Palma, percebe-se grande variabilidade dos sistemas de usos, dando ênfase para a constante evolução espacial das áreas de pasto, que, dentro do intervalo de 25 anos (1985, 2005 e

2010), obteve crescimento de praticamente o triplo de sua área ocupada, conforme demonstrado na tabela 04.

Com a ênfase dada ao crescimento das áreas ocupadas por pastagem, pode-se destacar também o decréscimo de vegetação nativa, denominadas de vegetação arbustiva e arbórea. Este decréscimo foi computado em 23,42% da área ocupada dentro do intervalo de 25 anos. Tal comportamento pode estar relacionado ao crescimento das ocupações de áreas antropogênicas, a exemplo da ênfase dada para áreas de pastagem.

Conforme apresentado no objetivo desta pesquisa, utilizou-se o NDVI como suporte para identificar as modificações nos sistemas de usos da terra e variações no albedo de superfície da área de estudo. Seguem apresentados na figura 04 os mapas de NDVI e albedo de superfície para o ano de 1985.

Figura 04: Mapas de NDVI e albedo de superfície (1985)



No que tange à espacialização do NDVI no ano de 1985, nota-se a relação intrínseca deste parâmetro com os usos da terra, onde os valores de NDVI entre -0,97 e 0,07 estão destinados aos

corpos hídricos inseridos na localidade. Esta afirmativa pode ser corroborada ao analisar o mapa da figura 2 referente ao ano de 1985, e os dados expostos na figura 4 com o mapa de NDVI.

Referindo-se ao albedo de superfície nestas áreas (corpos hídricos), foram estimados valores entre 1,54% e 8,69%. Ainda para este intervalo de reflexão de radiação solar, estão inseridas porções de áreas de eucalipto e vegetação arbórea (principalmente aos topos da serra do Cabral ao Leste do município), no intervalo de 0,61 a 0,99 dos valores de NDVI. Ainda se referindo aos valores de NDVI neste período de estudo (02/07/1985), os valores estimados entre 0,40 e 0,50 são destinados a grandes extensões de vegetação arbustiva, fato este que pode ser observado ao sudoeste do município que detém extensões mapeadas entre os intervalos de 0,40 e 0,50. No que tange ao albedo de superfície, foram estimados percentuais entre 10,94% e 13,02%. Ainda sobre o albedo de superfície, as áreas mapeadas e demonstradas na figura 2 como vegetação arbórea estimaram percentuais entre 8,70% e 10,93% de reflexão de radiação solar. Essas áreas estão dentro do intervalo de 0,50 a 0,99 de índice de vegetação, conforme o mapa de NDVI na figura 4.

Para os sistemas de usos da terra denominados como pasto e solo exposto, o índice de vegetação foi mensurado entre o intervalo de 0,07 e 0,40, e a reflexão de radiação solar, entre 13,03% e 39,5%. Estes valores mais elevados estão relacionados à baixa densidade de cobertura vegetal da pastagem e constante exposição à incidência de radiação solar dos solos expostos. A classe mapeada como agricultura obteve valores de 0,40 a 0,61 de índice de vegetação, e 8,70% e 13,02% de albedo de superfície.

No tocante às análises feitas para 2005, observa-se grande variabilidade dos valores de NDVI e albedo de superfície, em função das variações dos sistemas de uso da terra, conforme demonstrado na tabela 04 e figura 02. Na figura 05, estão apresentados os mapas com a espacialização do NDVI e albedo de superfície para o período analisado em 2005.

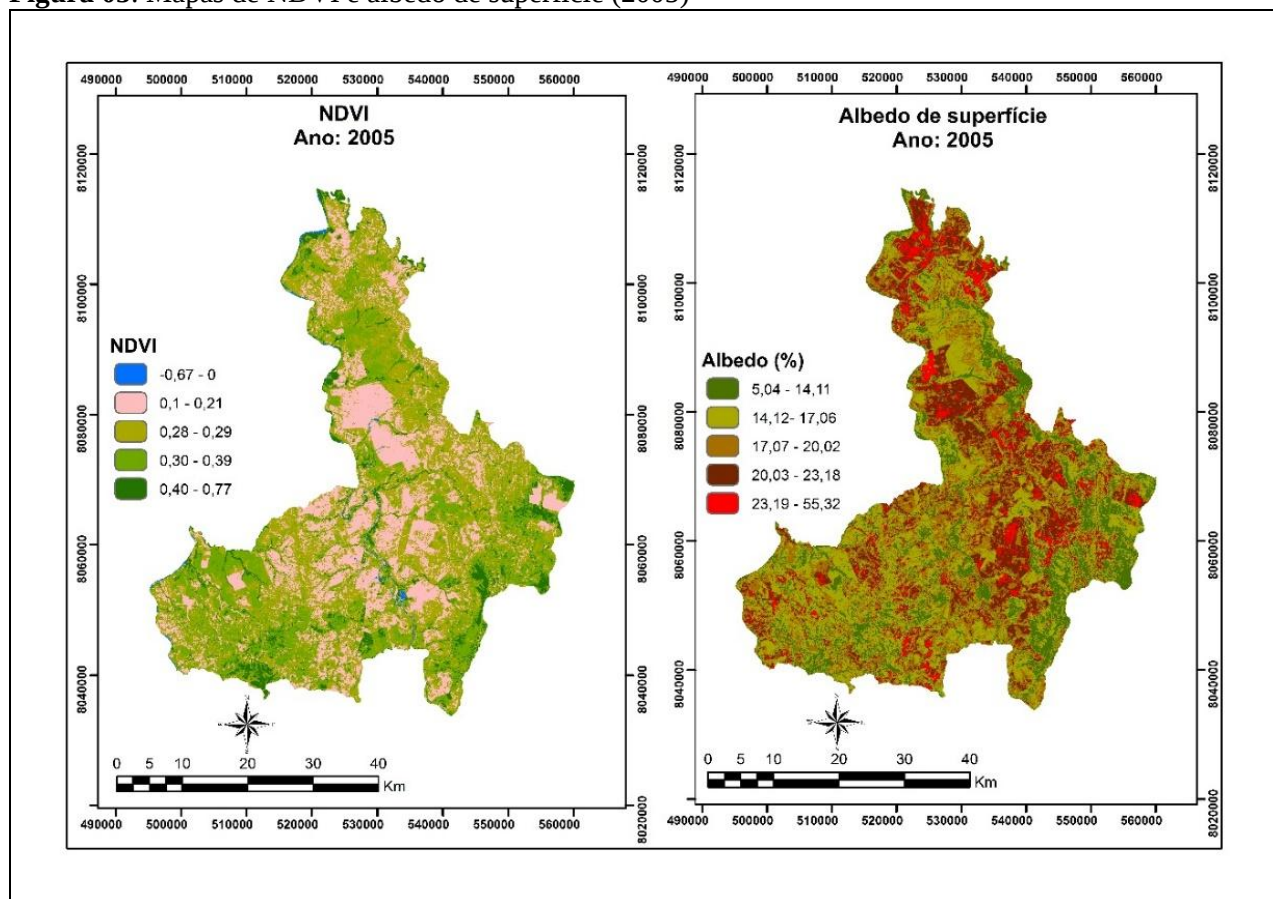
Os valores de NDVI entre -0,67 e 0 estão direcionados aos corpos hídricos do município de Várzea da Palma, onde estes obtiveram reflexão de radiação solar entre 5,04% e 14,11%, conforme apresenta o mapa de albedo na figura 5.

Em 2005, os maiores valores de NDVI estão direcionados às áreas de eucalipto e porções de vegetação arbórea, sendo essas as áreas que possuem os valores de albedo de superfície entre 5,04% e 14,11%.

As áreas de vegetação arbustiva obtiveram índices de vegetação estimados entre 0,28 e 0,39, com albedo de superfície entre 14,12% e 17,06%. De acordo com a tabela 4, esta classe teve acréscimo de 26,78% em área, de 1985 a 2005, porém este fato por apresentar um determinado acréscimo não é obrigatoriamente positivo, uma vez que, com ocorrência deste acréscimo, ocorreu

decréscimo da vegetação arbórea, tendo como condutor o desmatamento intensificado no município de Várzea da Palma. Este desmatamento pode estar relacionado ao acréscimo de áreas de pastagem, de 6,71% na ocupação do município.

Figura 05: Mapas de NDVI e albedo de superfície (2005)



O NDVI apontou este comportamento da dinâmica do uso da terra, pois os valores de NDVI entre 0,1 e 0,21 estão sobrepostos nas áreas mapeadas como pastagem (em grande maioria), conforme o mapeamento do uso do solo para 2005, e apresentado no mapa de NDVI também para o ano de 2005, na figura 2.

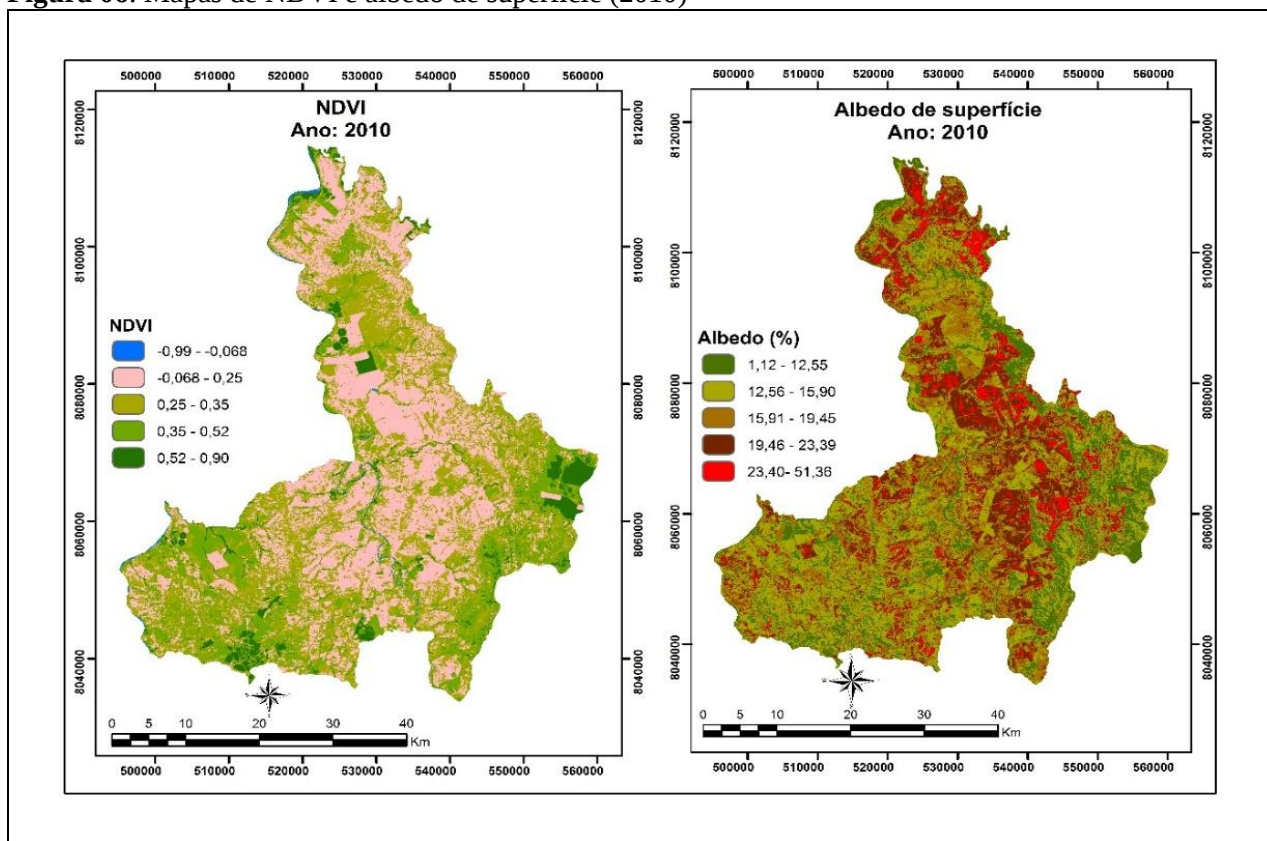
Este avanço de pastagens conduziu a constante espacialização do albedo de superfície no período analisado em 2005, uma vez que as áreas de pastagens são representadas dentro do intervalo de 20,03% e 23,18% da reflexão de radiação solar.

As áreas mapeadas como solo exposto estão inseridas no intervalo de 0,1 e 0,21 no que tange ao NDVI. Estas áreas, por não possuírem cobertura vegetal e ficarem em exposição à radiação solar, obtiveram valores entre 23,19% e 55,32% do albedo de superfície.

As classes mapeadas como eucalipto e agricultura são pertencentes ao intervalo de NDVI entre 0,30 e 0,77, com albedo de superfície destinado entre 5,04% e 17,06% de reflexão.

No tocante à 2010, se segue o comportamento do período analisado em 2005, em termos de variabilidade intensa dos sistemas de usos da terra, levando a modificações no NDVI e albedo de superfície (Figura 06).

Figura 06: Mapas de NDVI e albedo de superfície (2010)



No que se refere à variação do NDVI, os valores entre -0,068 e 0,25 estão sobrepostos a grandes extensões de pastagens e solo exposto. Para corroborar este levantamento, é necessário observar a figura 2, com ênfase no mapa de uso do solo para o período analisado em 2010 (24/08/2010), onde é notório a predominância da classe denominada como pasto. Este sistema de uso da terra obteve acréscimo de 12,45%, entre 2005 e 2010, e variabilidade do albedo de superfície foi intensificada, com valores entre 19,91% e 23,39% de reflectividade. Algumas porções de pastagens também estão inseridas no intervalo de 23,40% e 51,36%.

Os valores estimados de albedo de superfície neste estudo para áreas de pastagem, corroboram com alguns estudos, como os de Leite e Brito (2012), que encontraram valores de reflexão entre 10,30 e 15,58% para áreas de pastagens na bacia hidrográfica do rio Vieira, no Norte de Minas Gerais, de Giongo e Vettorazzi (2014), que encontraram valores de albedo de superfície em áreas de pastagem entre 25% e 34%, e o estudo de Izimons & Mayer (2002) que, avaliando o

comportamento do albedo em áreas de pastagens no sudoeste da Alemanha, entre 1991 e 1996, constatarem variação no período estudado com valores entre 22,2 a 36%.

A maior parte dos valores entre 23,40% e 51,36% está destinada às áreas de solo exposto, e estes valores apresentados nesta pesquisa corroboram com os resultados que OKE (1987), citado Silva (2005), que encontrou albedo de superfície de 40% em regiões desérticas. Esses valores corroboram também com os dados encontrados por Leite e Brito (2012), que encontraram valores semelhantes de albedo de superfície para áreas de solo exposto, dentro do intervalo de 13,41% e 32,69%, estando dentro do intervalo encontrado neste estudo.

No trabalho de Veloso *et al.*, (2015), as áreas de solo exposto apresentaram percentuais de albedo de superfície entre 23 e 32% nas áreas irrigadas do projeto Jaíba no Norte de Minas Gerais. Gomes (2009) encontrou valores de percentuais de albedo de superfície entre 24% e 27% em uma análise no Estado de São Paulo. Já Silva (2005) encontrou valores na Caatinga de 20 a 30%, sendo que os maiores valores correspondem a solos expostos.

No que tange às áreas de agricultura e eucalipto, os índices de vegetação encontrados foram de 0,52 a 0,90, e essas áreas obtiveram valores de albedo de superfície, por volta de 12,55% e 19,45%. No que tange as áreas de vegetação nativa (Cerrado), denominadas de vegetação arbórea e arbustiva, obtiveram-se valores de NDVI entre 0,25 e 0,90, com valores de albedo de superfície estimados entre 12,56% e 19,45% de reflexão. Estes valores corroboram com os trabalhos de Leite e Brito (2011), com valores superiores em áreas de Cerrado entre 6,26 e 15,58%, ficando com maior concentração entre 6,26 e 10,29% de reflexão.

Gomes (2009) encontrou valores próximos de albedo de superfície para áreas de cerrado e eucalipto oscilando entre 9 e 13%. Observa-se que essas áreas de vegetação nativa (acompanhadas por áreas de eucalipto e porções de áreas agrícolas) detém os menores valores de albedo de superfície, comportamento semelhante aos trabalhos de Leite (2011) e Gomes (2009), assim corroborando também com os trabalhos de Giongo *et al.* (2010) e Oliveira *et al.* (2013). Para as áreas mapeadas como água, o NDVI variou entre -0,99 e -0,068, com albedo superficial estimado entre 1,12% e 12,55% de reflexão.

5 CONCLUSÃO

As variações dos parâmetros discutidos neste trabalho (NDVI e albedo) seguiram os avanços dos sistemas de usos da terra no município de Várzea da Palma, mantendo relação intrínseca nos períodos analisados.



Este estudo pode servir de documento e ferramenta técnica para a gestão do município de Várzea da Palma, uma vez que obteve resultados significantes no que diz respeito às alterações dos sistemas de usos da terra. O NDVI mostrou-se ferramenta singular para monitoramento e avaliação de mudanças na superfície terrestre, sendo considerado um instrumento que pode contribuir para o conhecimento das dinâmicas de usos da terra em escala temporal.

Como foi apresentado, os usos da terra com menores coberturas vegetais apresentaram menores índices de vegetação e maiores valores de albedo de superfície, e tais usos variam de solo exposto à pastagem. Os usos da terra com maiores coberturas vegetais apresentaram maiores índices de vegetação e menores valores de albedo de superfície, tais como, vegetação arbórea e arbustiva, eucalipto e agricultura (em alguns pontos).

Avaliações espaço temporal de uma determinada região é fundamental para estudos sobre as dinâmicas dos usos da terra com os modelos econômicos, neste caso específico o agropecuário, e, por conseguinte, poder entender a variação dos índices de vegetação e albedo de superfície diante das conversões dos sistemas de usos da terra.

A variabilidade dos usos da terra encontrada no município de Várzea da Palma em uma escala temporal de 25 anos abre caminhos para trabalhos futuros para entender o comportamento da evapotranspiração em diferentes sistemas de usos nesta localidade diante dessas conversões/modificações.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G., TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) Advanced Training and Users Manual** – Idaho Implementation, version 1.0, 97 p., 2002.

AZEVEDO, P. V.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SOUSA, I. F.; MACIEL, G. F. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 5, 1, 1990, 403-410.

BLAD, B. L.; BAKER, D. G. Reflected radiation from soybean crop. **Agronomy Journal**, 64, 1972, p. 277-280.

BASTIAANSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate. **PhD. Dis.**, CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, the Netherlands. 272p. 1998.

CHARNEY, J.; STONE, P. H.; QUIRK, W. J. Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. **Science**, 187, 1975, p. 434-435.

CORREIA, F. W. S.; ALVALÁ, R. C. S.; GIELOW, R. Albedo do Pantanal Sul Mato-grossense durante o período de transição seco-úmido de 2001-2002, In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 12, 2002. Foz do Iguaçu, Anais... Foz do Iguaçu.

COSTA, A. H.; SILVA, L. A. Geotecnologias aplicadas ao mapeamento do uso do solo do município de Várzea da Palma - MG entre os anos de 2005 e 2016, In: **Anais XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos, Brasil, 28-31, Maio, 2017, INPE, p. 297-302.

DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A., **Solar Engineering of Thermal Process**, 1st ed. John Wiley and Sons, NY, 1980.

EFEITO ESTUFA E A CONVENÇÃO SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia: BNDES, 1999. 38 p.

GIONGO, P. R.; PADOVANI, C. R.; VETTORAZZI, C. A. Variabilidade espacial e temporal do albedo obtido a partir de imagens MODIS na região do Pantanal, In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4715-4722.999. 38 p.

GIONGO, P. R. 2008. Estimativa do balanço de radiação com técnicas de Sensoriamento remoto e dados de superfície. 2008. 92 p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)** Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife/PE.

GIONGO, P. R.; PADOVANI, C. R.; VETTORAZZI, C. A. Variabilidade espacial e temporal do albedo obtido a partir de imagens MODIS na região do Pantanal, In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4715-4722.

GOMES, H. F. B. Balanços de Radiação e Energia em Áreas de Cultivo de Cana-de-açúcar e Cerrado no Estado de São Paulo Mediante Imagens Orbitais. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Campina Grande - PB, 2009.

IZIOMONS, M. G.; MAYER, H. On the variability and modeling of surface albedo and long-wave radiation components. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 111, 2002, p. 141-152.

JACOB, F.; OLIOSO, A. Derivation of diurnal courses of albedo and reflected solar irradiance from airborne POLDER data acquired near solar noon. **Journal of Geophysical Research**, v. 110, n. D10104, 2005.

LEITÃO, M. M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M., Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, 2000, p. 214-218,

LEITE, M. R.; BRITO, J. L. S. Sensoriamento remoto aplicado à Análise temporal da relação uso da terra/temperatura e albedo de superfície na Bacia hidrográfica do Rio Vieira no Norte Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia** v. 10, p. 98, 2012.

LEITE, M. R. 2011. Sensoriamento remoto aplicado à Análise temporal da relação uso da terra/temperatura e albedo de superfície na Bacia hidrográfica do Rio Vieira no Norte Minas Gerais. **Dissertação (Mestrado em Geografia)** Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG, 2011.

LILLESAND, T. M; KIEFER R. W; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley & Sons, 6ª edição, 2007.



MARKHAM, B. L., BARKER, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. **EOSAT Landsat Technical Notes**, v. 1, p. 3-8, 1986.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 206 p.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação Pixel a Pixel de Imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. (Org.). Brasília, 2012, p. 191- 208.

MONTEITH, J. L. **Principles of environmental physics**. London: Edward Arnold. 1973. 291p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações, São Paulo. Blucher, 3ed., 2008.

OLIVEIRA, T. H. D.; MACHADO, C. C. C.; SILVA, J. S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. 2010. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 03, p. 55-69, 2010.

PONCE, V. M. 2009. Impacto hidrológico e ambiental da hidrovía no Pantanal Mato-grossense. Disponível em: <http://ponce.sdsu.edu/hidroviareportportuguesechapter4.html>.

SILVA, V. P. R. Estimativa das necessidades hídricas da mangueira. Campina Grande: UFPB, 2000. 129p. **Tese Doutorado**.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127–150, 1979.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital, 2. ed. Recife, 449 p. 2006.

VELOSO, G. A. FERREIRA, M.; ROSA, R. SILVA, B. B. Determinação do albedo de superfície em áreas irrigadas do projeto Jaíba (Minas Gerais) mediante imagens de Landsat 5- TM. **Revista RA'EGA**. Curitiba, v. 35, 2015, p. 126 – 146.

VIEIRA NETO, M. **Monografia de Várzea da Palma**. 2. ed. Belo Horizonte: edição do autor, 1982.

Recebido em 17 de agosto de 2017
Aprovado em 19 de outubro de 2017