

Artigo

Impacto da Conversão da Cobertura Natural em Pastagem e Área Urbana sobre Variáveis Biofísicas no Sul do Amazonas

Vagner Marques Pavão¹, Danielle Christine Stenner Nassarden¹, Larissa Leite Pavão¹,
Nadja Gomes Machado^{1,2}, Marcelo Sacardi Biudes¹

¹*Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física,
Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.*

²*Campus Cuiabá-Bela Vista, Instituto Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.*

Recebido em 13 de Outubro de 2016 – Aceito em 19 de Abril de 2017

Resumo

A substituição da cobertura natural por áreas de pastagem afeta o albedo superficial, que por sua vez influencia no saldo de radiação e na temperatura superficial. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar os impactos do desmatamento sobre variáveis biofísicas no município de Apuí-AM, por imagens Landsat 5 TM (Thematic Mapper). As imagens utilizadas nesse estudo foram fornecidas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). A imagem de 20/07/2010 foi processada por etapas intermediárias do SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land). O desmatamento no município de Apuí aumentou em 20% nos últimos 20 anos analisados. O *NDVI* da Floresta foi 20 e 43% maior que da pastagem e da área urbana, respectivamente. O albedo da superfície na pastagem e na área urbana foram 16% maiores que na área de Floresta e a temperatura de brilho da superfície na pastagem e na área urbana foram 16 e 10% maiores que na área de Floresta, respectivamente. O *Rn* na área de Floresta foi 8% e 6% maior que na área urbana e na pastagem, respectivamente. Portanto, a conversão da Floresta Amazônica modifica o balanço de radiação com maior disponibilidade de calor sensível da superfície nas áreas de pastagem e urbana.

Palavras-chave: mudança do uso do solo, sensoriamento remoto, desmatamento, floresta úmida.

Impact of the Conversion of Natural Coverage in Pasture and Urban Area on Biophysical Variables in the Southern Amazonas

Abstract

The replacement of natural cover by pasture areas affects the surface albedo, which in turn influences the balance of radiation and surface temperature. Thus, the objective of this work was to evaluate the impacts of deforestation on biophysical variables in the municipality of Apuí-AM, by Landsat 5 TM images (Thematic Mapper). The images used in this study were provided by the United States Geological Survey (USGS). The image of 07/20/2010 was processed by intermediate stages of the SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land). Deforestation in the municipality of Apuí increased by 20% in the last 20 years. Forest *NDVI* was 20 and 43% higher than pasture and urban area, respectively. The surface albedo in the pasture and in the urban area were 16% higher than in the Forest area and the surface gloss temperature in the pasture and in the urban area were 16 and 10% higher than in the Forest area, respectively. The *Rn* in the Forest area was 8% and 6% higher than in the urban area and in the pasture, respectively. Therefore, the conversion of the Amazon Forest modifies the radiation balance with greater availability of sensible surface heat in the pasture and urban areas.

Keywords: change of land use, remote sensing, deforestation, rainforest.

1. Introdução

A Floresta Amazônica desempenha papel fundamental na manutenção do clima em escala regional e global, influenciando diretamente na emissão ou retenção de car-

bono e no fornecimento de vapor de água para a atmosfera (Artaxo *et al.*, 2014). Sua extensão geográfica tem aproximadamente 7,5 milhões de km², dos quais 67% estão em território brasileiro distribuídos em nove unidades federati-

vas: Amazonas, Amapá, Acre, Roraima, Rondônia, Pará, Tocantins, Maranhão e Mato Grosso, denominado Amazônia legal (Ferreira e Coelho, 2015).

Devido ao alto armazenamento de energia radiativa, a Floresta Amazônica atua como zona de baixa pressão atraindo grandes quantidades de vapor d'água originadas no oceano atlântico por meio dos ventos alísios. Grande parte da umidade disponível na Amazônia é deslocada ao longo da América do Sul garantindo o regime de chuvas nas regiões centro sul do Brasil, Argentina e Paraguai (Reboita *et al.*, 2009).

Apesar dos serviços ambientais da Floresta Amazônica, parte de sua cobertura natural tem sido removida para exploração de madeiras, bem como para agricultura e pecuária (Fearnside, 2003; Domingues *et al.*, 2012). Mesmo com grandes áreas ainda intactas, há expressiva perda de vegetação, em especial no “arco do desmatamento” ao longo das bordas sul e leste da Floresta (Fearnside, 2003). De acordo com o projeto PRODES do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre 1988 a 2013 a Amazônia Legal foi desmatada em 402 mil km² (PRODES-INPE, 2015). Contudo, cerca de 92% do desmatamento realizado neste período ocorreu entre 1988 a 2008, com expressiva redução entre 2009 e 2013.

A redução do processo de degradação deste bioma nos últimos anos demonstra o avanço das políticas públicas. Contudo não diminuiu a abrangência das áreas desmatadas de aproximadamente 5.891 km²/ano em 2013 (equivalente a 825 campos de futebol). No sul do Amazonas encontra-se o município de Apuí, com aproximadamente 54 mil km², onde 60% de seu território é composto por Unidades de Conservação, e a principal fonte de renda local é baseada na pecuária. Devido a isso, a área desmatada até 2014 foi 2021.1 km². Área expressiva quando considerado um município com apenas 20 mil habitantes (PRODES-INPE, 2015; IBGE, 2016).

A substituição da cobertura natural por áreas de pastagem ou cultivadas, altera as características aerodinâmicas e radiativas da superfície e modifica o padrão das trocas de energia e massa na interface superfície-atmosfera (Biudes *et al.*, 2009; 2012; 2015; Pavão *et al.*, 2016). Variáveis como albedo, temperatura e saldo de radiação (R_n) são diretamente afetados por essas mudanças, principalmente quanto efetuadas em larga escala (Pavão *et al.*, 2014; 2015; 2016). Quanto maior a biomassa e vigor da vegetação, menor albedo e temperatura da superfície, e maior é o efeito termohidroregulador da superfície. Dessa forma, a energia disponível é usada prioritariamente para o processo de evapotranspiração, principalmente em áreas com grande disponibilidade hídrica como é o caso da Floresta Amazônica (Silva e de Paula, 2009; Biudes *et al.*, 2009; 2015). Por outro lado, áreas com baixa biomassa, como pastagem e áreas urbanas, o R_n é convertido prioritariamente em calor sensível, responsável pelo aquecimento do ar (Biudes *et al.*, 2009; 2015; Santos *et al.*, 2014; Fausto *et al.*, 2016).

O uso de variáveis como o albedo, temperatura da superfície e R_n são fundamentais na identificação e análise de impactos da conversão de áreas naturais em áreas antropizadas. Contudo, medir estas variáveis *in loco* implica em gastos elevados, tanto para instalação quanto para manutenção de sensores usados neste tipo de experimento. Ademais, a aferição por meio de interpolação dos valores pontuais em escalas maiores, muitas vezes não corresponde à realidade da região (Gusmão *et al.*, 2012).

Nesta perspectiva, técnicas de sensoriamento remoto acoplados a modelos físicos de trocas de energia têm possibilitado a obtenção e espacialização do albedo, do índice de vegetação, da temperatura da superfície e do R_n com rapidez e satisfatória precisão (Giongo *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2014; Fausto *et al.*, 2014). Outra grande contribuição do sensoriamento remoto é a possibilidade de análise da evolução da mudança do uso do solo ao longo dos anos, com destaque ao sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat 5 com dados de 1984 a 2011.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar os impactos do desmatamento sobre variáveis biofísicas no município de Apuí-AM, por imagens Landsat 5 TM (Thematic Mapper).

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em um quadrante medindo 77x62 km abrangendo áreas de Floresta e áreas antropizadas (aqui consideradas como pastagem, zona urbana e solo exposto) no município de Apuí no estado do Amazonas. O município de Apuí está localizado ao longo da Rodovia Transamazônica (BR 230), cerca de 610 km de Porto Velho – RO e 408 km ao sul da capital Manaus – AM com área de aproximadamente 54.000 km² (Fig. 1). Apuí surgiu com o avanço da malha viária, e, por conseguinte da atividade agropecuária na região após a construção da BR 230 no início da década de 1970. Em 1982, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), criou na região o Projeto de Assentamento Rio Juma (PARJ) que consiste em 5000 lotes em uma área de aproximadamente 444.000 hectares tornando-se município denominado Apuí em 1987 (IBGE, 2012).

O clima da região é classificado como Am segundo a classificação de Köpper (Alvares *et al.*, 2014), ou seja, clima tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho, com temperaturas variando entre 25 e 27 °C e umidade relativa do ar entre 85 e 90%. A região é composta basicamente por três tipos de fitofisionomias distintas. A primeira é Floresta Ombrófila Densa, caracterizada por fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas e precipitações bem distribuídas durante o ano. A segunda fitofisionomia é a Floresta Ombrófila Aberta que apresenta quatro faciações florísticas (Cipó, Palmeiras, Bambu e

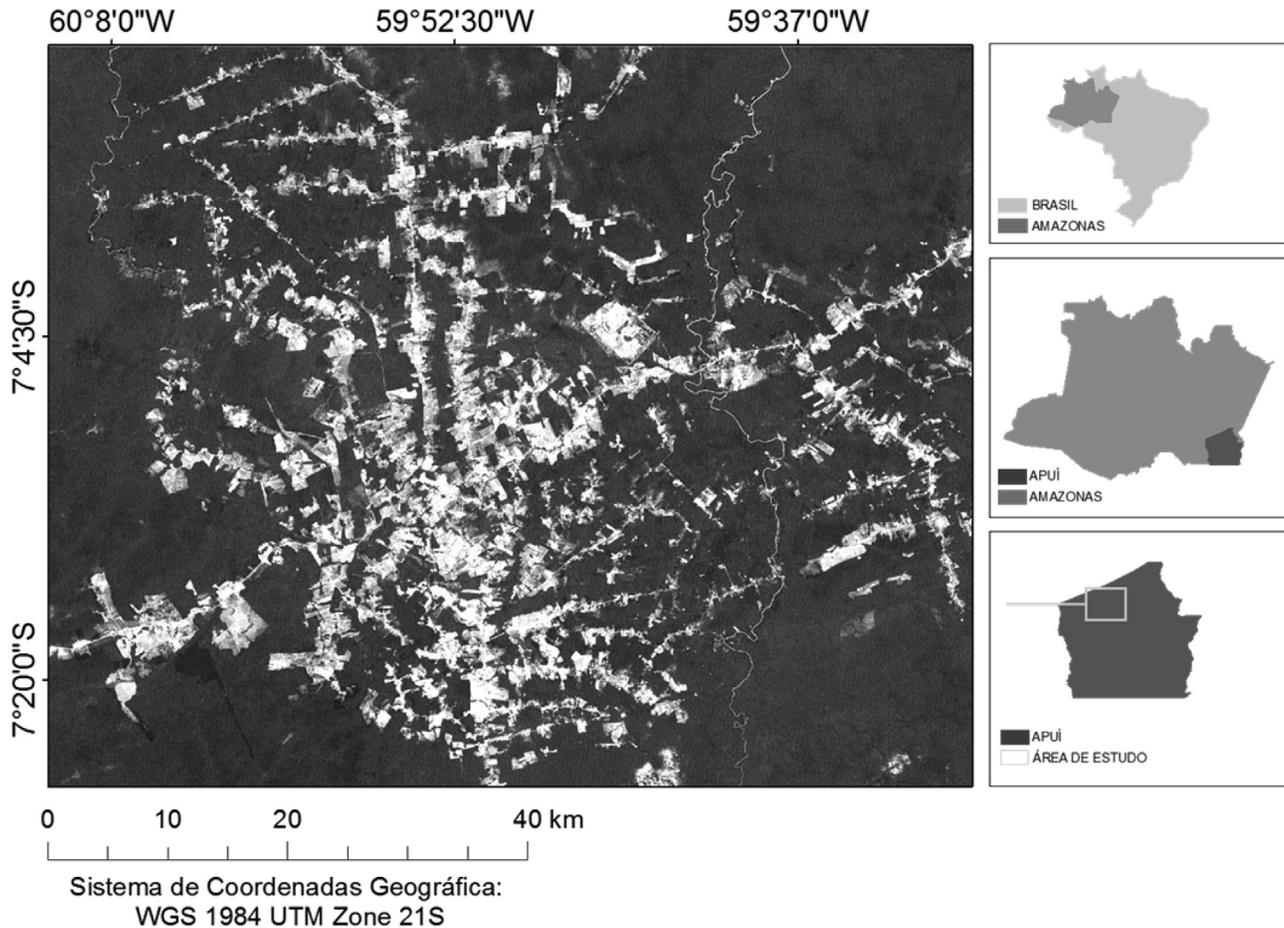


Figura 1 - Localização da área de estudo no município de Apuí, Amazonas.

Sororoca) e apresentam mais de sessenta dias secos por ano. A terceira fitofisionomia localizada na área de estudo é a Savana (Cerrado), conceituada como uma vegetação xeromorfa que ocorre em distintos tipos de clima, revestindo solos lixiviados aluminizados, com ocorrência em toda a Zona Neotropical e, prioritariamente, no Brasil Central (VELOSO *et al.*, 1991; IBGE, 2012).

2.2. Aquisição e processamento das imagens

As imagens de refletância da superfície e temperatura de brilho medida pelo Landsat 5 TM (Thematic Mapper) na órbita 230 e ponto 65 na data 20/07/2010 foram obtidas junto à U. S. Geological Survey (espa.cr.usgs.gov). A imagem da refletância da superfície passou por correção radiométrica, correção atmosférica, correção geométrica sistemática, correção de precisão usando chips de controle chão, e o uso de um modelo digital de elevação para corrigir erro de paralaxe devido ao relevo topográfico local (Claverie *et al.*, 2015).

Além da imagem utilizada na estimativa do R_n , também foram obtidas imagens de 12/09/1989 e 19/07/1998 para a classificação da ocupação. As imagens analisadas neste estudo foram classificadas pelo método da verossimi-

lhança considerando as classes Floresta e área antropizada (pastagem e área urbana), com objetivo de analisar a evolução do desmatamento ao longo dos anos. Todas as imagens analisadas nesse trabalho foram obtidas durante a estação seca da área de estudo por facilitar a comparação espaço-temporal dos alvos no município.

2.3. Modelos de estimativas das variáveis biofísicas

O saldo de radiação instantâneo (R_n) foi calculado de acordo com a Eq. (1).

$$R_n = R_{S\downarrow} (1 - \alpha_{sup}) - R_{L\uparrow} + R_{L\downarrow} - (1 - \varepsilon_0) R_{L\downarrow} \quad (1)$$

em que $R_{S\downarrow}$ representa a radiação solar global incidente ($W m^{-2}$), α_{sup} representa o albedo superficial, $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela superfície ($W m^{-2}$), $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera ($W m^{-2}$) e ε_0 é emissividade da superfície.

A radiação solar global incidente ($R_{S\downarrow}$) foi estimada de acordo com Allen *et al.* (2007), considerada como função da variação no ângulo de incidência dos raios solares (ângulo zenital) e condições atmosféricas locais, acrescida pela correção da excentricidade do sol. Neste modelo a influência atmosférica é abordada em termos de transmis-

sividade atmosférica local, que por sua vez é dependente principalmente da água precipitável na atmosfera, bem como a quantidade de poeira e aerossóis no ar (ASCE-EWRI, 2005) (Eq. (2)).

$$R_{S\downarrow} = R_0 d^2 \cos \theta_z \tau_{oc} \quad (2)$$

em que R_0 é a radiação solar incidente no topo da atmosfera (adimensional), $\cos \theta_z$ é o cosseno do ângulo zenital, d^2 é o quadrado da distância média Terra-Sol obtido pela Eq. (3) e τ_{oc} é a transmitância atmosférica obtida pela Eq. (4) (ASCE-EWRI, 2005).

$$d^2 = 1 + 0,33 \cos(DJ / 365) \quad (3)$$

em que DJ é o dia juliano ou dia sequencial do ano.

$$\tau_{oc} = 0,35 + 0,627 \exp \left[\frac{-0,00146 P_o}{K_t \cos \theta_z} - 0,075 \left(\frac{W}{\cos \theta_z} \right) \right] \quad (4)$$

em que P_o é a pressão atmosférica local (kPa) (considerada 99,9 kPa neste estudo), K_t é o coeficiente de turbidez atmosférico (utilizou-se $K_t = 0,65$) e W é o conteúdo de água precipitável na atmosfera em (mm) estimado pela Eq. (5) (Garrison e Aldler, 1990).

$$W = 0,14 e_a P_o + 2,1 \quad (5)$$

em que e_a é a pressão de vapor d'água atual do ar.

O albedo da superfície (α_{sup}) foi obtido pela combinação linear das refletâncias monocromáticas das bandas 1, 3, 4, 5 e 7 do sensor TM no Landsat 5 (Eq. (6)) (Liang, 2000).

$$\alpha_{sup} = 0,356 \rho_1 + 0,130 \rho_3 + 0,373 \rho_4 + 0,085 \rho_5 + 0,072 \rho_7 - 0,0018 \quad (6)$$

A radiação de onda longa incidente pela atmosfera ($R_{L\downarrow}$) e a emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$) foram obtidas pelas Eqs. (7) e (8), respectivamente.

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (7)$$

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (8)$$

em que σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \cdot 10^8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$); T_s é a temperatura de brilho da superfície (K) obtida a partir da banda 6 do Landsat 5 TM, T_a é a temperatura do ar para região de estudo, ε_a é a emissividade da atmosfera obtida de acordo com Duarte *et al.* (2003) e ε_0 é a emissividade da superfície obtida de acordo com Tasumi *et al.* (2003) (Eq. (9)).

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 IAF \quad (9)$$

em que IAF é o índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$). Os valores de ε_0 foram calculados pela Eq. (9) quando $0 < IAF < 3$, quando $IAF \geq 3$ foi utilizado $\varepsilon_0 = 0,98$, e quando $NDVI < 0$ (água) foi utilizado $\varepsilon_0 = 0,985$.

O IAF foi calculado pela Eq. (10) a partir do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index – $SAVI$), obtido pela Eq. (11) (Huete, 1988). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – $NDVI$) foi obtido pela Eq. (12).

$$IAF = - \frac{\ln \left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59} \right)}{0,91} \quad (10)$$

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{iv} - \rho_v)}{(L + \rho_{iv} + \rho_v)} \quad (11)$$

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (12)$$

em que L é função do tipo de solo, considerado nesse estudo $L = 0,1$, e ρ_{iv} e ρ_v são as refletâncias nas bandas 4 e 3 do satélite Landsat 5.

2.4. Análise estatística

Foram estudadas o $NDVI$, albedo, temperatura de brilho e o saldo de radiação das áreas de Floresta, pastagem e urbana. Para isso, foram amostrados 300 pixels aleatoriamente em cada uma das classes. As médias de cada variável em cada área com intervalo de confiança de $\pm 95\%$ foram calculadas por bootstrapping de 1000 iterações das reamostragens aleatórias com substituição (Efron e Tibshirani, 1993).

3. Resultado e Discussão

3.1. Evolução do desmatamento na área de estudo

As áreas de Florestas em Apuí foram substituídas por áreas antropizadas entre 1989 a 2010 (Fig. 2). Essa substituição, no quadrante de estudo, é de aproximadamente 20% nos últimos 20 anos. A área antropizada em 1998 foi 51% maior que em 1989, e em 2010, esse aumento foi de 59% em relação ao ano de 1998 (Tabela 1).

Entre 1989 e 1998, o Projeto de Assentamento Rio Juma (PRAJ) se encontrava em pleno desenvolvimento, quando o incentivo ao uso da terra e, conseqüentemente, ao desmatamento foi intenso. Contudo, a procura por terras na região norte do Brasil era pequena devido às dificuldades de acesso. Assim, a população estimada na região em 1992 foi de aproximadamente 6 mil habitantes. Porém, entre 1998 e 2010, houve um aumento na população local estimada em aproximadamente 18 mil habitantes em 2010 (IBGE, 2016).

3.2. Análise do $NDVI$, albedo, temperatura e saldo de radiação superficial

O $NDVI$ variou entre valores menores que 0 (cinza claro) a valores superiores a 0,8 (cinza escuro) ao longo da área de estudo (Fig. 3a). O albedo variou entre 0,02 (cinza

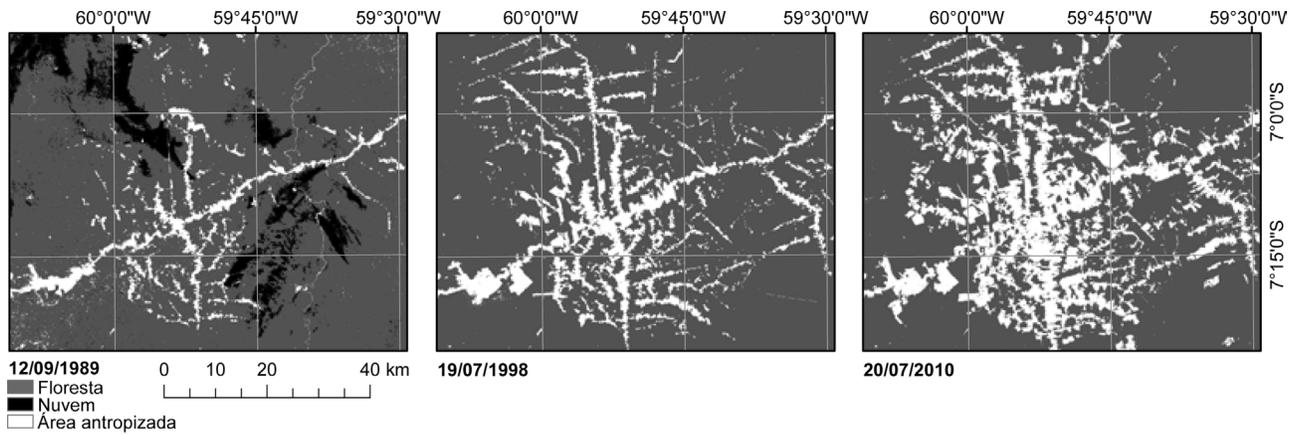


Figura 2 - Localização de áreas de Floresta e antropizada em 1989, 1998 e 2010 no município de Apuí, Amazonas.

Tabela 1 - Representação espacial em hectare e percentual das áreas de Floresta, antropizada, nuvem e o incremento de área antropizada em 1989, 1998 e 2010 no município de Apuí, Amazonas.

Ano	Floresta	Área antropizada	Nuvem	Incremento
12/09/1989	401344 (84%)	32680 (7%)	42825 (9%)	—
19/07/1998	410077 (86%)	66772 (14%)	—	34092 (51%)
20/07/2010	361207 (76%)	115642 (24%)	—	48870 (42%)

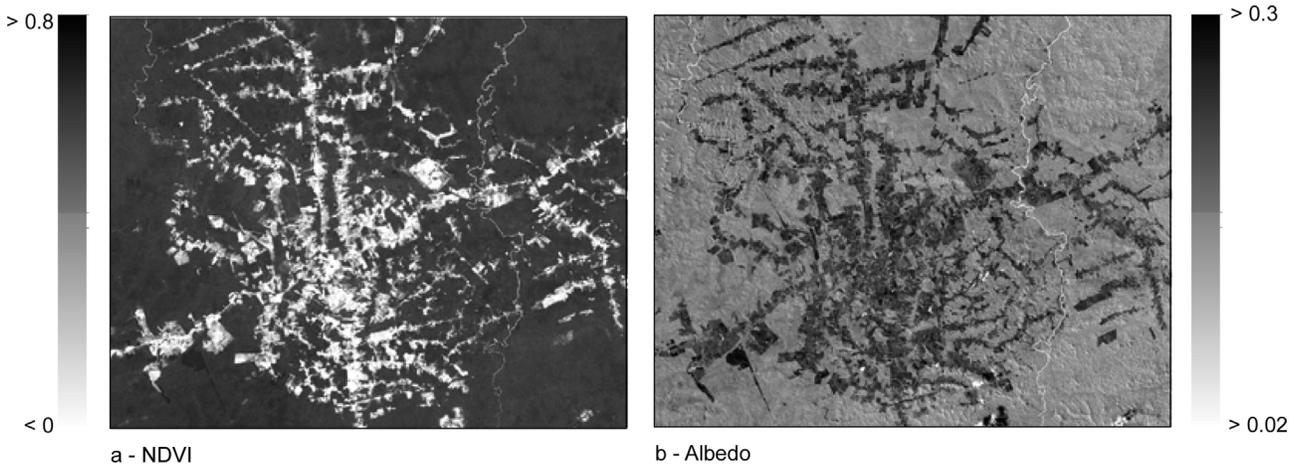


Figura 3 - Distribuição espacial do (a) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) e do (b) albedo da superfície em 2010 no município de Apuí, Amazonas.

claro) e 0,3 (cinza escuro) (Fig. 3b). Valores de *NDVI* menores que 0 e albedo variando entre 0 e 5% são, em sua maioria, oriundos de corpos d’águas, devido à baixa refletância da água em praticamente todo o espectro solar (Peireira *et al.*, 2007). Valores de *NDVI* superiores a 0,7 indicam uma vegetação sadia com pleno crescimento ativo, com baixa refletância na faixa do vermelho, e alta refletância no infravermelho próximo. Valores do albedo entre 0,25 e 0,3 são provavelmente oriundos de áreas de solo exposto e pastagem, pois, quando secos, esses locais apresentam uma coloração clara e, por conseguinte maior albedo (Galvêncio *et al.*, 2006; Pavão *et al.*, 2014; 2015).

O *NDVI* foi significativamente diferente entre as áreas de Floresta, pastagem e área urbana. O *NDVI* da Floresta foi em média 20 e 43% maior que da pastagem e da área urbana, respectivamente (Tabela 2). Esse resultado corrobora com Walker *et al.* (2009) que observaram a redução do *NDVI* à medida que a vegetação foi substituída pelo agronegócio (pastagem e agricultura). Menores valores de *NDVI* em áreas de pastagem e urbana é devido à menor densidade e distribuição da vegetação nesses locais. Ademais, por se tratar de imagens do período seco, o déficit hídrico limita o crescimento e o desenvolvimento da vegetação tanto na pastagem quanto na área urbana. Os maiores

valores de *NDVI* na Floresta é devido à vegetação densa e ao maior conteúdo de água disponível no solo, proporcionando assim maior biomassa verde (Santos *et al.*, 2014, Pavão *et al.*, 2016).

O albedo foi significativamente diferente entre a Floresta e a pastagem, e entre a Floresta e a área urbana, mas não diferiu significativamente entre a pastagem e a área urbana (Tabela 2). O albedo na área de Floresta foi 16% menor quando comparado com os demais ambientes. O albedo da superfície relacionou inversamente com o *NDVI* (Fig. 4a). Os maiores valores do albedo na pastagem e na área urbana estão relacionados ao tom/coloração da vegetação, estrutura vertical, bem como à presença de área construída em cada local (Santamouris, 2014). Áreas de Floresta costumam ter vegetação mais escura e mais alta e possui pequenos clareiras que proporcionam a entrada da radiação solar que fica aprisionada no interior do dossel devido à sucessivas reflexões. Esses fatores influenciam na menor refletividade de radiação solar pelo dossel da Floresta que nas áreas de pastagem e urbana. Essas por sua vez, apresentam solo exposto e baixa densidade vegetativa, detém menor quantidade de radiação solar (Santos *et al.*, 2014; Querino *et al.*, 2016). As diferenças encontradas no albedo dos diferentes locais fornecem um indicativo quantitativo da redução na absorção na radiação solar pela superfície antropizada (Silva *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2014).

O albedo se relaciona com as trocas de radiação e energia, influenciando na variação espacial da temperatura da superfície, e nos fluxos calor latente e sensível da superfície, podendo alterar significativamente o balanço energético da atmosfera (Santos *et al.*, 2014). Silva *et al.* (2005) encontraram valores de albedo em áreas de solo exposto entre 0,30 e 0,45. Moura *et al.* (1999) encontraram valores de albedo em pastagem e Floresta na região Amazônica de 0,204 e 0,139, respectivamente. Esses autores afirmaram que, provavelmente essa diferença no albedo entre pastagem e Floresta se dê em função da época de seca e do grande aumento de queimadas na região Amazônica, aumentando a quantidade de aerossóis e consequentemente aumento da radiação difusa.

A temperatura de brilho da superfície variou entre valores menores que 15 °C (cinza claro) a valores superiores a 24 °C (cinza escuro) ao longo da área de estudo (Fig. 4a). O saldo de radiação (*Rn*) superficial variou entre 320 W m⁻² (cinza claro) e 500 W m⁻² (cinza escuro) (Fig. 5b). Valores abaixo de 15 °C da imagem de temperatura de brilho da superfície são referentes à presença de nuvem no momento da passagem do satélite Landsat 5, as quais também são identificadas em função de suas sombras nas imagens de albedo (Fig. 3b) e *Rn* superficial (Fig. 5b).

A temperatura de brilho da superfície foi significativamente diferente entre as áreas de Floresta, pastagem e urbana (Tabela 2). Os maiores valores da temperatura de

Tabela 2 - Média (\pm 95% intervalo de confiança) do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – *NDVI*), do albedo da superfície, da temperatura de brilho da superfície (°C) e do saldo de radiação (*Rn*; W m⁻²) da superfície nas áreas de Floresta, pastagem e urbana no município de Apuí, Amazonas.

Sítios	<i>NDVI</i>	Albedo	Temperatura	<i>Rn</i>
Área de Floresta	0,84 \pm 0,002	0,13 \pm 0,0015	20,2 \pm 0,040	510,1 \pm 1,1
Pastagem	0,66 \pm 0,014	0,15 \pm 0,0020	22,6 \pm 0,151	480,4 \pm 1,6
Área urbana	0,47 \pm 0,016	0,15 \pm 0,0015	24,1 \pm 0,081	472,2 \pm 1,2

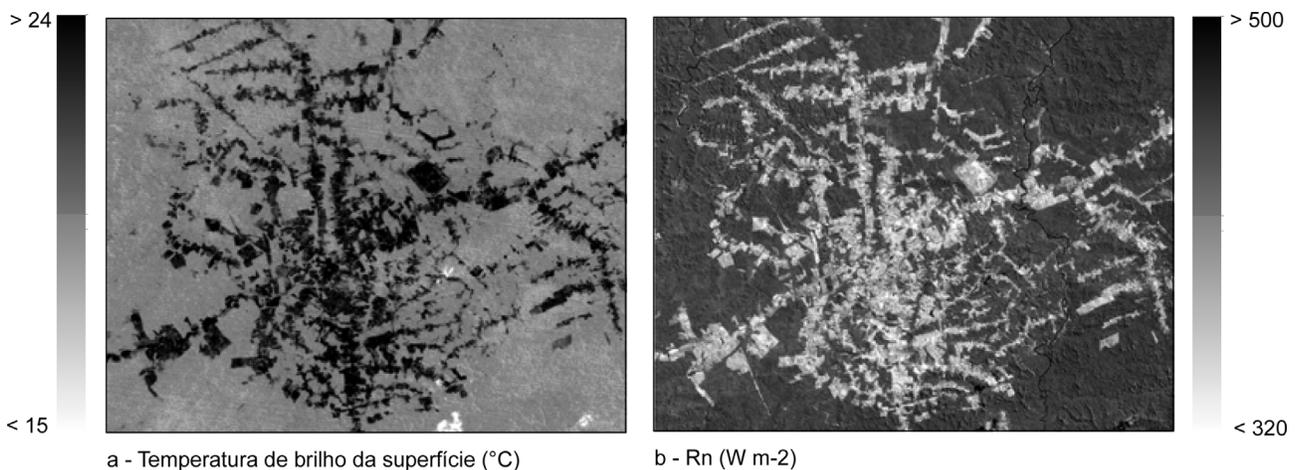


Figura 4 - Relação entre (a) o *NDVI* e o albedo da superfície, (b) o *NDVI* e a temperatura de brilho da superfície, (c) o albedo e o saldo de radiação (*Rn*) da superfície e (d) a temperatura de brilho e o *Rn* da superfície nas áreas de Floresta, pastagem e urbana no município de Apuí, Amazonas.

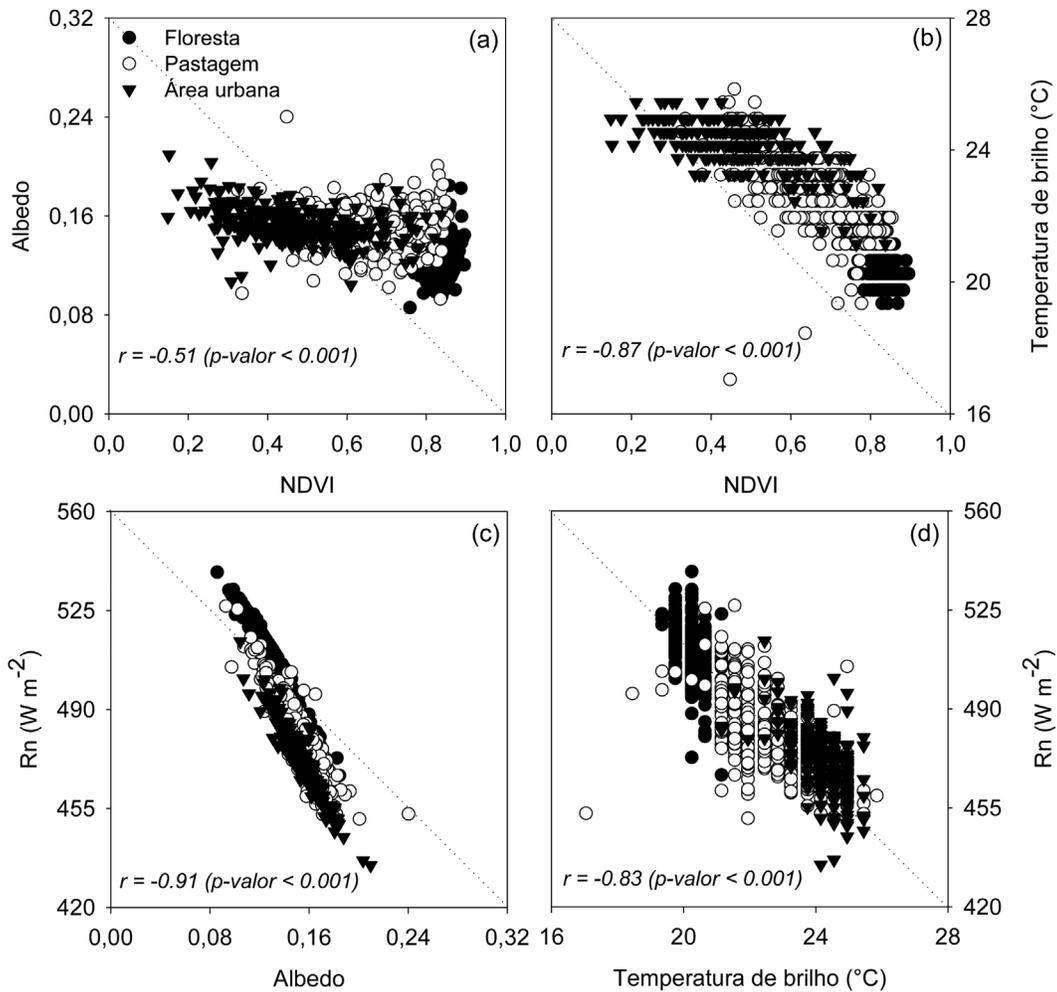


Figura 5 - Distribuição espacial da (a) temperatura de brilho superficial e do (b) saldo de radiação (R_n) da superfície em 2010 no município de Apuí, Amazonas.

brilho foram observados na área urbana, seguido pela pastagem e as áreas de Floresta. A temperatura de brilho na área urbana e na pastagem foi 16 e 10% maiores que na Floresta, respectivamente. A temperatura de brilho da superfície foi inversamente relacionada com o $NDVI$ (Fig. 4b).

Estes resultados corroboram com os obtidos por Querino *et al.* (2016), que identificaram aumento na temperatura de brilho da superfície com a substituição contínua de áreas de floresta por pastagens para a produção de gado no estado de Rondônia. Pastagens e áreas urbanas apresentam baixa densidade de vegetação, o que resulta em maiores valores de temperatura de brilho da superfície, pois a energia disponível ao ambiente é utilizada prioritariamente para aquecimento do solo e do ar adjacente à superfície. Em função da maior densidade de vegetação na área de Floresta e à maior disponibilidade de água no solo, a energia disponível ao ambiente é utilizada prioritariamente no processo de evapotranspiração, o que torna a vegetação um termorregulador da superfície (Biudes *et al.*, 2009, 2015).

O R_n da superfície foi significativamente diferente entre as áreas de Floresta, pastagem e urbana (Tabela 2). O R_n na área de Floresta foi 8% e 6% maior que na área urbana e na pastagem, respectivamente. O R_n da superfície foi inversamente proporcional ao albedo e à temperatura de brilho da superfície (Figs. 4c e 4d).

Esses resultados indicam o impacto ambiental pela substituição de áreas de Floresta por pastagem e área urbana na área de estudo. A retirada da Floresta resulta na diminuição da absorção da radiação solar global pela superfície e na maior remissão da radiação de onda longa da superfície, conseqüentemente, o R_n é reduzido sobre a região desmatada (Andrade *et al.*, 2014). A redução do comprimento de rugosidade em áreas desmatadas é capaz de afetar o transporte turbulento de calor e vapor de água próximo à superfície (Eltahir e Bras, 1994). O aumento do albedo e da temperatura da superfície e redução do R_n nas áreas desmatadas, resulta em menor evapotranspiração nesses locais, reduzindo assim, a disponibilidade de energia para convecção e precipitação (Santos *et al.*, 2014).

4. Conclusões

Os padrões do *NDVI*, albedo, temperatura de brilho e *Rn* da superfície nas diferentes coberturas do solo, segue o padrão esperado. Os resultados confirmam a hipótese do trabalho, em que a mudança na ocupação do solo influencia no balanço de radiação superficial.

As relações obtidas neste estudo indicam que a substituição da vegetação por pastagem ou área urbana aumenta significativamente o albedo e a temperatura de brilho superficial e diminui o *NDVI* e o *Rn* superficial.

O sensoriamento remoto nesse estudo apresentou-se como uma ferramenta útil na obtenção da distribuição espacial dessas variáveis ambientais.

Agradecimentos

A pesquisa foi apoiada pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA/IF/UFMT), Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo nº 303625/2015-5; Edital Universal 01/2016, processo nº 407463/2016-0) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT – PRONEM 2014, processo nº 561397/2014).

Referências

- ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; MORSE, A.; TREZZA, R.; WRIGHT, J.L. *et al.* Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) - Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, p. 395-406, 2007.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GOLÇALVES, J.L. de MORAES GONÇALVES, J.L. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-718, 2014.
- ANDRADE, A.M.D.; MOURA, M.A.L.; SANTOS, A.B. dos S.; CARNEIRO, R.G.; JUNIOR, R.S. da S. Radiação fotossinteticamente ativa incidente e refletida acima e abaixo do dossel de Floresta de Mata Atlântica em Coruripe, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 1, p. 68 - 79, 2014.
- ARTAXO, P.; da SILVA DIAS, M.A.F.; NAGY, L.; LUIZÃO, F.J.; DA CUNHA, H.B. *et al.* Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da Floresta Amazônica. **Ciência e Cultura**, v. 66, n. 3, p. 41-46, 2014.
- ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Report, ASCE, Reston, v. 2005.
- BIUDES, M.S.; NOGUEIRA, J.S.; DALMAGRO, H.J.; MACHADO, N.G.; DANIELICHEN, V.H.M. *et al.* Mudança no microclima provocada pela conversão de uma Floresta de cambará em pastagem no norte do Pantanal. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 10, p. 61-68, 2012.
- BIUDES, M.S.; CAMPELO JUNIOR, J.H.; NOGUEIRA, J.S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método de razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 135-143, 2009.
- BIUDES, M.S.; VOULITIS, G.L.; MACHADO, N.G.; DE ARRUDA, P.H.Z.; NEVES, G.A.R. *et al.* Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, p. 112-124, 2015.
- CLAVERIE, M.; VERMOTE, E.F.; FRANCH, B.; MASEK, J.G. Evaluation of the Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM + surface reflectance products, **Remote Sensing of Environment**, v. 169, p. 390-403, 2015.
- DOMINGUES, M.S.; BERMAN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, n. 2, p. 1-13, 2012.
- DUARTE, H.F.; DIAS, N.L.; MAGGIOTTO, S.R. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloud skies in Southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 139, p. 171-181, 2006.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R.J. **An introduction to the bootstrap**. Chapman & Hall, New York. p. 443, 1993.
- ELTAHIR, E.A.B.; BRAS, R.L. Sensitivity of regional climate to deforestation in the Amazon basin. **Advances in Water Resources**, v. 17, p. 101-115, 1994.
- FAUSTO, M.A.; MACHADO, N.G.; NOGUEIRA J.S.; BIUDES, M.S. Net radiation estimated by remote sensing in Cerrado areas in the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, n. 1 p. 1-17, 2014.
- FAUSTO, M.A.; ANGELINI, L.P.; MARQUES, H.O.; FILHO, A.S.; MACHADO, N.G. *et al.* Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 2, p. 350-361, 2016.
- FEARNSIDE, P.M. A Floresta amazônica nas mudanças globais. Manaus: INPA, 2003.
- FERREIRA, M.D.P.; COELHO, A.B. Desmatamento Recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p. 91-108, 2015.
- GALVÍNCIO, J.D.; CORRÊA, A.C.B.; ARAÚJO, M.S.B. Determinação do albedo no município de Belem do São Francisco, com base em imagens Landsat 7. **Revista de Geografia**, v. 23, n. 3, p.103-118, 2006.
- GARRISON, J.D.; ADLER, G.P. Estimation of precipitable water over the United States for application to the division of solar radiation into its direct and diffuse components. **Solar Energy**, v. 44, p. 225-241, 1990.
- GIONGO, P.R.; MOURA, G.B.A.; SILVA, B.B.; ROCHA, H.R.; MEDEIROS, S.R.R.; 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 Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 279-287, 2010.
- GUSMÃO, A.C.V.L.; SILVA, B.B.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; GALVÍNCIO, D. Determinação do saldo radiativo na Ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1107-1114, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**. Censo. 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**. Censo. 2016.

- LIANG, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 213- 238, 2000.
- MOURA, M.A.L.; LYRA, R.F.F.; BENINCASA, M.; SOUZA, J.S.; NASCIMENTO FILHO, M.F. Variação do albedo em áreas de Floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, p. 163-168, 1999.
- PAVÃO, V.M.; QUERINO, C.A.S.; BENEDITTI, C.A.; PAVAO, L.L.; QUERINO, J.K.A.S. *et al.* Temperatura e albedo da superfície por imagens TM Landsat 5 em diferentes usos do solo no Sudoeste da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 169-183, 2015.
- PAVÃO, V.M.; QUERINO, C.A.S.; BENEDITTI, C.A.; PAVAO, L.L.; QUERINO, J.K.A.S. *et al.* Variação espacial e temporal do saldo de radiação superficial em uma área do sul do Amazonas, Brasil. **Revista Ra'ega**, v. 37, p. 333-352, 2016.
- PAVÃO, V.M.; QUERINO, C.A.S.; QUERINO, J.K.A.S.; MARTINS, P.A.S.; SIQUEIRA, L.F. *et al.* Análise da radiação solar global (R_g) e albedo superficial sobre um ecossistema de Floresta nativa em Humaitá AM durante o período chuvoso. **Revista EDUCAmazônia - Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 12, p. 42-56, 2014.
- PEREIRA, G.; MORAES, E.C.; ARAI, E. OLIVEIRA, L.G.L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 55-61, 2007.
- PRODES-INPE, 2015. Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/TerraClass_2012.pdf. Acesso em: 30 out. 2015.
- QUERINO, C.A.S.; BENEDITTI, C.A.; MACHADO, N.G.; DA SILVA, M.J.G.; QUERINO, J.K.A.S. *et al.* Spatiotemporal NDVI, LAI, albedo, and surface temperature dynamics in the southwest of the Brazilian Amazon forest. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 10, n. 2, p. 026007, 2016.
- REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R.P. Relationship between the Southern Annular Mode and Southern Hemisphere Atmospheric Systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p.48-55, 2009.
- SANTAMOURIS, M. Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy**, v. 103, p. 682-703, 2014.
- SANTOS, C.A.C.; WANDERLEY, R.L.N.; ARAÚJO, A.L.; BEZERRA, B.G. Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e Floresta na Amazônia (estação seca) através do sensor MODIS. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 29, n. 3, p. 420-432, 2014.
- SILVA, B.B.; LOPES, G.M.; AZEVEDO, P.V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 - TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.
- SILVA, B.B.; BRAGA, A.C.; BRAGA, C.C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo - PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 145-152, 2011.
- SILVA, R.W.C.; de PAULA, B.L. Causa do aquecimento global: antropogênica vs. natural. **Terra e Didática**, v. 5, n. 1, p. 42-49, 2009.
- TASUMI, M.; ALLEN, R.G.; TREZZA, R. Estimation of at surface reflectance and albedo from satellite for routine, operational calculation of land surface energy balance. **Journal of Hydrology**, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: **IBGE**, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 124 p., 1991.
- WALKER, R.; DEFRIES, R.S.; VERA-DIAZ, M.D.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; VENTURIERI, A. The expansion of intensive agriculture and ranching in Brazilian Amazonia. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, G.; DIAS, P.S. (Org.). **Amazonia and Global Change**. Ed. American Geophysical Union, 1ª ed. 61-81p., 2009.