

Albedo superficial estimado por sensoriamento remoto, entre os anos de 1984 e 2011, sobre floresta e pastagem na região central de Rondônia, Brasil.

Carlos Alexandre Santos Querino^{1,2}

Cristina Aparecida Beneditti^{1,5}

Marcelo Sacardi Biudes²

Nadja Gomes Machado^{2,4}

Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino³

Marcelo José Gama da Silva¹

Luiz Alves dos Santos Neto¹

Vagner Marques Pavão³

Larissa Leite Pavão³

¹Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, Centro Regional de Porto Velho
Av. Lauro Sodré, 6500, Aeroporto, Porto Velho – RO, Brasil. Cep. 76803-260

carlos.querino@sipam.gov.br

cristina.beneditti@sipam.gov.br

marcelo.gama@sipam.gov.br

luiz.santo@sipam.gov.br

²Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT)

Programa de Pós Graduação em Física Ambiental – PPGFA

Av. Fernando Correa da Costa, nº 2367, Bairro Boa Esperança, Cuiabá-MT Cep. 78.060 - 900

marcelo@fisica.ufmt.br

³Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA

Rua 29 de Agosto, 786, Centro, Humaitá – AM, Brasil. Cep. 69800-000.

julianekayse@hotmail.com

⁴Instituto Federal do Mato Grosso (IFMT)

Laboratório de Biologia da Conservação

Av. Juliano Costa Marques, s/n, Bairro Bela Vista. Cep. 78.050 – 560, Cuiabá – MT.

nadja.machado@blv.ifmt.edu.br

⁵Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP

Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente

Avenida 24 A,1515 Cep.13506-900 Rio Claro - SP

Abstract. The Amazon forest is the biggest, in extension and biodiversity, tropical rain forest of the world. Although, throughout the last 40 years it has been passing by an uncontrolled exploration due to the anthropogenic pressure which implies in put the forest down and replace by pasture and agricultural plantations. Thus, natural land cover is changed, and as consequence, modification on the surface radiation balance is expected. Nevertheless, the main component of the radiation balance is the surface albedo that on the other hand, is totally affected by the land cover modification. The main aim of this paper was to analyze and compare the surface albedo, estimated by using remote sensing, thru 27 years above native forest and pasture. Landsat 5 images of two areas with different land covers (natural forest and pasture), in the years of 1984, 1991, 2000 and 2011, in a central region of Rondônia state, Brazil, were downloaded. Afterward, the images were processed using ArcGis 10.2 and SEBAL model to estimate the surface albedo for all imageries. The results had shown that the deforestation, changing native forest land cover into grassland, increase the surface albedo from 12% to 18%, which implies in an increment of 38% on the total amount of solar radiation reflected by the surface.

Palavras-chave: Amazon Forest, SEBAL, pasture, Amazônia, SEBAL, pastagem.

1. Introdução

A Floresta amazônica é considerada a maior floresta tropical do planeta, não só pela sua extensão territorial, como também por possuir uma das maiores biodiversidade do mundo. A Amazônia possui uma flora de aproximadamente 30.000 espécies (o equivalente a cerca de 10% das plantas do planeta e 2/3 da flora de todos os outros biomas brasileiros), e uma fauna com 1,8 mil espécies de peixes continentais, 1,3 mil de aves, 311 de mamíferos e 163 de anfíbios (SALATI et al., 2006; FILHO et al., 2009). A abundância em espécies animais e vegetais atraem pesquisadores de vários países que buscam o entendimento sobre o ecossistema amazônico como um todo. Contudo, tanta riqueza natural passa despercebida a olhos de exploradores, que de forma irracional, e visando lucros abusivos, avançam sobre a floresta, para desenvolver a pecuária, e mais recentemente, a agricultura que se dá, principalmente, com a expansão das plantações de soja. Dessa forma, tratores avançam lentamente derrubando a floresta que, por milênios, abrigou em perfeita simbiose apenas mata fechada e animais pertencentes ao bioma, para dar espaço ao gado (WALKER et al., 2009). Ainda segundo os autores, a exploração da floresta amazônica tem se tornado um dos pontos chaves na discussão sobre o crescimento econômico do Brasil através do avanço agrícola e agropecuário. Essa exploração desenfreada da floresta tem levado à substituição da cobertura vegetal alterando o balanço radiativo superficial e consequentemente o balanço energético. Por sua vez, o principal componente do balanço radiativo é o albedo superficial.

O albedo é a razão entre a radiação refletida por uma determinada superfície e a quantidade de energia que nela chega. Na natureza, por exemplo, essa relação se dá pela razão entre a radiação solar refletida na superfície terrestre pela radiação solar incidente (MOURA, 2000; KUSHARI e KONITPONG, 2011). Alguns fatores, como coloração, umidade e rugosidade da superfície, explicam as diferenças e variações no albedo da superficial (CORREIA et al., 2002). O albedo é de extrema importância, pois se torna peça fundamental nos modelos de previsão de tempo e na caracterização do clima da terra, e por isso, o impacto no clima devido a sua alteração tem sido bastante estudado por diversos estudiosos do mundo (DAVIDSON e WANG, 2004; WANG, 2005; LEITCH et al., 2010; KIRSCHBAUM et al., 2011; KUSHARI e KONITPONG, 2011). Contudo, esse tipo de medida é extremamente oneroso, principalmente em regiões de florestas, pois demanda uma logística complexa, o que dificulta a aquisição de valores confiáveis. Devido a isso, o uso do sensoriamento remoto tem se tornado muito importante na estimativa do albedo superficial, por meio de imagens oriundas de satélites e aplicação de modelos que propiciem a estimativa de variáveis meteorológicas.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variação espaço-temporal do albedo superficial por sensoriamento remoto na região central de Rondônia, sudoeste da Amazônia.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em uma região que abrange a Fazenda Nossa Senhora (FN), localizada no município de Jarú – RO, distante 47 km a noroeste de Ji-Paraná e a Reserva Biológica do Jarú (Rebio Jarú), pertencente ao município de Ji-Paraná, ambas na região central de Rondônia, Brasil (Figura 1). A Rebio Jarú possui uma área de 346.861,17 hectares de floresta preservada pertencente ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), localizada a 80 km ao norte da cidade de Ji-Paraná. A região é cortada pelo rio Jarú e caracteriza-se por ser floresta primária de mata fechada cujo a copa das árvores tem em média de 33 m de altura (CULF et al., 1996). Já a fazenda Nossa Senhora é uma área de pastagem localizada a 50 km a nordeste do município de Ji-Paraná. Caracteriza-se por ser o centro de uma imensa clareira com aproximadamente 50 km de raios de pastagem, e a forrageira cultivada é a *Brachiaria Brizantha*, além de pequenas palmeiras dispersas (MOURA et al., 1999).

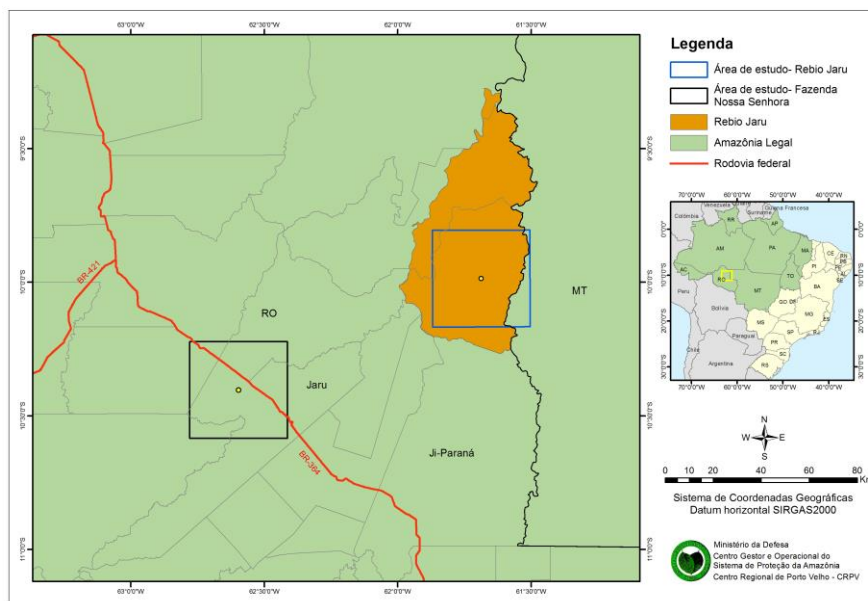


Figura 1. Localização da Fazenda Experimental Nossa Senhora, no município de Jarú e da Reserva Biológica do Jarú, em Ji Paraná, ambas na região central de Rondônia, Brasil.

2.2. Aquisição e Processamento das Imagens

Para esse estudo foram obtidas Imagens Landsat 5 TM (Thematic mapper) órbita 231 e ponto 67 adquiridas junto ao site da *U. S. Geological Survey* (www.glovis.usgs.gov). As imagens foram coletadas durante a estação seca da região central do estado de Rondônia. Foram intercaladas cenas a cada 7 anos da primeira para a segunda (1984 e 1991) e 10 anos nas subsequentes (2000 e 2011). Foi analisada apenas uma cena, que cobria a região da Fazenda Nossa Senhora e da Reserva Biológica do Jarú ao longo dos diferentes anos.

2.3. Modelo utilizado para estimativa do albedo superficial

O albedo superficial foi calculado em uma das etapas do SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) utilizando a refletância superficial, calculada a partir das cartas de radiância (BASTIAANSEN, 1995; BASTIAANSEN, et al. 1998), seguindo os passos abaixo.

2.3.1. Calibração radiométrica - $L_{\lambda i}$

A calibração radiométrica de cada banda se dá quando o nível de cinza de cada pixel da imagem obtida é transformado em radiância espectral monocromática ($L_{\lambda i}$). Essa calibração é feita nos canais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 obtidas pelo sensor TM do satélite Landsat 5. Para este estudo a $L_{\lambda i}$ foi obtida pela Equação (1) (MARKHAM e BAKER, 1987):

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

em que a e b são as radiâncias mínimas e máximas; ND é o nível de cinza ou número digital do pixel (de 0 a 255) e i identifica a banda de 1 a 7 do sensor TM.

2.3.2. Refletância monocromática - $\rho_{\lambda i}$

A refletância monocromática ($\rho_{\lambda i}$) foi calculada por meio da Equação 2, que foi proposta por Allen et al. (2002):

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

onde $L_{\lambda i}$ e $k_{\lambda i}$ são a radiância espectral e a irradiância solar espectral, respectivamente, de cada banda no topo da atmosfera ($W. m^{-2} \mu m^{-1}$), d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (em unidade astronômica – UA), determinado através da Equação 3 e proposta por Iqbal (1983) e Z o ângulo zenital solar, que consiste no ângulo contado a partir da vertical local até a linha de visada do sol, sendo igual a 0° no Zênite e 90° no horizonte (FATTORI e CEBALLOS, 2005) e foi determinado pela Equação 4:

$$d_r = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{D_j * 2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

$$\cos(z) = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (4)$$

em que D_j representa o dia Juliano, ou seja, o número corrido de determinado dia no ano e E é o ângulo de elevação do sol, obtido no cabeçalho de cada imagem.

2.3.3. Albedo da superfície (α)

Para se obter o albedo da superfície (α) que por definição física é a razão entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente em uma determinada superfície, utiliza-se a Equação 5:

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

onde, α_{TOA} é o albedo planetário e α_p é determinado pela porção média da radiação solar refletida pela atmosfera e que varia entre 0,025 e 0,040. Para o algoritmo SEBAL, recomenda-se o uso do valor de $\alpha_p = 0,03$ (Bastiaanssen, 2000), e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica para onda curta, que para condições de céu claro pode ser obtida pela Equação 6 (ALLEN et al., 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^5 . z \quad (6)$$

sendo z a altitude de cada pixel (m) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica de onda curta.

3. Resultados e Discussões

O albedo superficial é um dos principais componentes do balanço radiação, pois determina a parte de radiação solar que fica no sistema após a reflexão da mesma pela superfície (QUERINO et al., 2006; 2011). O conhecimento sobre essa variável torna-se fundamental para determinar o impacto, no balanço radiativo superficial e conseqüentemente energético, que a alteração da cobertura da terra pode ter no microclima local, regional e até global (CULF et al., 1996, MOURA et al., 1999, QUERINO et al., 2006).

A substituição de áreas de floresta amazônica por pastagem tem se tornado hábito comum e controverso, em estados que se desenvolvem através do agronegócio, devido ao grande valor ecológico dessa região (WALKER et al., 2009). Na Figura 2 tem-se o albedo superficial para os anos de 1984, 1991, 2000 e 2011 sobre a Fazenda Nossa Senhora. Observa-se que os valores de albedo aumentaram mais de 5 pontos percentuais entre 1984 e 2011. Inicialmente no ano de 1984, o albedo médio da cena era de 13%, com alguns valores acima dos 18% devido à abertura de estradas dentro da floresta, conhecidas como espinhas de peixe. Em 1991, os valores médios de albedo aumentaram para a faixa dos 15%, permanecendo nesse

patamar até o ano de 2000. Ou seja, observa que nesses 10 anos intermediários, há uma estagnação, pelo menos na área das cenas, no que diz respeito à alteração da cobertura vegetal. O mesmo não se observa entre os anos de 2000 e 2011, pois a devastação passou a ser quase que total e o albedo médio na região da Fazenda Nossa Senhora, e no seu entorno, atingiu patamares superiores aos 18%, indicando que praticamente toda a floresta foi substituída por pastagem, provocando um incremento de aproximadamente 38% no albedo superficial, corroborando com os resultados encontrado por QUERINO et al. (2006).

Os valores aqui encontrados, assemelham-se aos medidos durante o experimento ABRACOS (*Anglo Brazilian Climate Observational Study*) (CULF et al., 1996). Na mesma região Querino, et al. (2006) analisou valores de albedo medidos sobre o pasto da Fazenda Nossa Senhora e encontrou valores médios de 18%. Liberato (2011) estudou o albedo e o índice de área foliar (IAF) na mesma área estimado por meio de imagens do satélite Landsat 5 em 2006, e encontrou valores de albedo próximos aos que foram aqui encontrados. O motivo para a elevação dos valores ao longo desses 27 anos é primordialmente devido à substituição da cobertura natural da área (floresta nativa) por pastagem. A substituição de florestas natural por áreas de pasto eleva o albedo e altera o balanço de radiação superficial. Essa alteração no balanço radiativo pode acarretar diversos impactos microclimáticos, sentidos principalmente pela alteração da temperatura superficial, que podem acarretar mudanças no ciclo de precipitação local e que vem sendo estudado por diverso estudiosos ao longo dos anos (CULF et al., 1996; MOURA et al., 1999; WANG, 2005; KIRSCHBAUM et al., 2011; KUSHARI e KONITPONG, 2011; LEITCH et al., 2010; QUERINO et al., 2006; 2011).

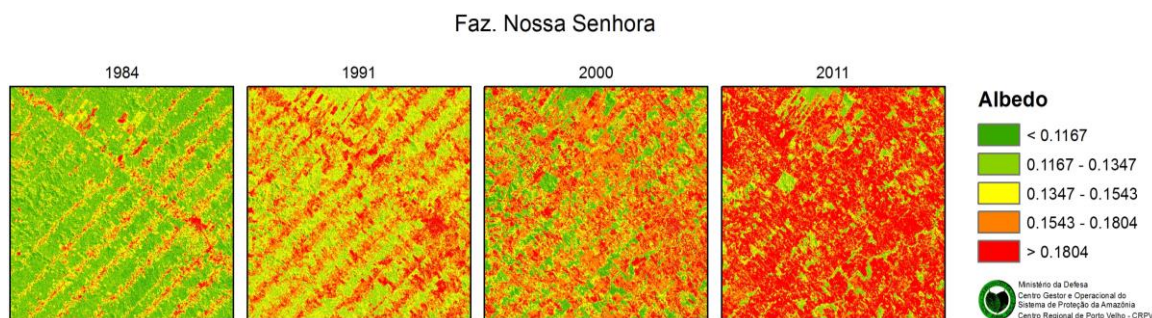


Figura 2. Albedo superficial, para os anos de 1984, 1991, 2000 e 2011, sobre a região da Fazenda Experimental Nossa Senhora, estimado utilizando imagens de satélite e processadas com o modelo SEBAL.

Sobre a região de floresta devido aos inúmeros fatores como coloração da folhas, ângulo de reflexão dos dóceis das árvores, além da penetração da radiação no interior da floresta, o albedo tende a ser menor que em regiões de pastagem (CULF et al., 1996; MOURA et al., 1999). Na Figura 3 observa-se o albedo estimado sobre a região da Rebio Jarú durante os anos de 1984, 1991, 2000 e 2011. Por se tratar de uma área de reserva de conservação, espera-se que não haja alteração significativa na cobertura superficial ao longo dos anos, e com isso poucas mudanças no albedo.

Observa-se na Figura 3 que durante os anos, aqui analisados, o albedo para área de floresta não sofreu alterações, oscilando entre 11 e 12.5%. Essa pequena alteração possivelmente está atribuída à intensidade da época seca de cada ano aqui estudado. Durante a época das imagens (período de seca), as folhas das árvores tendem a ficar mais secas e conseqüentemente mais claras implicando num leve aumento da porção de radiação de ondas curtas que é refletida pelo dossel, ao passo que durante épocas mais úmidas, as folhas tendem a estarem mais escuras, absorvendo mais radiação do que refletindo (MOURA et al., 1999). Culf et al. (1996), Querino et al. (2006) e Liberato, (2011) analisaram albedo sobre a área da Rebio Jarú. Os autores encontraram valores médio de albedo de 12% e atribuíram as pequenas

variações ao longo do ano a sazonalidade. Outro motivo, também relacionado com a sazonalidade, foi a variação do ângulo zenital. Querino et al. (2006) estudaram a influência do ângulo zenital sobre o albedo. Os autores observaram que quanto maior o Z maior o albedo, pois quanto maior o ângulo de incidência maior tende ser a reflexão dos raios na superfície. Como o ângulo zenital depende estritamente da declinação solar, é de se esperar que o mesmo varie ao longo do ano tornando mais inclinado em determinadas épocas, e conseqüentemente, provocando um leve aumento no albedo superficial.

Moura et al. (1999), Querino et al. (2006;2011) estudaram o albedo sobre uma área de floresta tropical. Os autores encontraram valores que variam entre 11 e 13% ao longo do ano, não diferindo aos encontrados aqui em nossas análises. Isso indica que em um ambiente intacto tende a estar em equilíbrio no que se diz respeito ao balanço radiativo e energético sobre aquela área. Com isso, todo microclima tende a estar num ótimo sendo influenciado apenas por processos de meso e grande escala. Dessa forma, alterações na cobertura vegetal, implicará em mudanças no microclima local, e dependendo do tamanho da devastação, pode impactar o clima em escala regional (CULF et al., 1996)

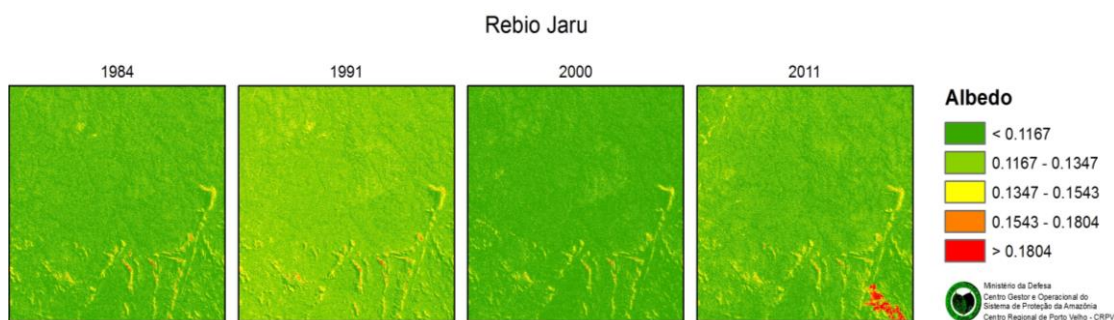


Figura 3. Albedo superficial sobre a região da Reserva Biológica do Jarú, estimado utilizando imagens de satélite e processadas com o modelo SEBAL ao longo dos últimos 27 anos. Em a) 1984, b) 1991, c) 2000 e d) 2011.

4. Conclusões

De acordo com os resultados aqui encontrados e com as discussões a eles elucidadas, constatou-se que a substituição de florestas por pastagem provoca um considerado incremento no albedo superficial, salientado principalmente, nas análises da região da pastagem, que teve sua área de floresta destruída por completo ao longo dos anos de análise aqui propostos, elevando de 12 para 18% o total refletido pela superfície na mesma área. Por se tratar de uma unidade de conservação federal de proteção integral, não se constatou nenhuma alteração substancial sobre a área da Rebio Jarú, o que indica que a criação de reservas biológicas, pelo menos neste caso, demonstrou eficácia na proteção de áreas de mata nativa.

5. Referências Bibliográficas

- Allen, R. G.; Tasumi, M.; Trezza, R.; Waters, R.; Bastiaanssen, W. **Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL)**. Advanced Training and users Manual, Kimberly, Idaho, v.10, 97p. 2002.
- Bastiaanssen, W.G.M., 1995. 288p. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**, Ph.D. thesis, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1995.
- Bastiaanssen, W. G. M. Sebal based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hidrology**, v.229, p.87-100, 2000.
- Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M.; Feddes, R. A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hidrology**. v. 212-213, p. 198-212, 1998.

Correia, F.W.S.; Alvalá, R.C. dos S.; Gielow, R.; Manzi, A.O.; Souza, A. de. Albedo do Pantanal Sul Matogrossense durante o período de transição seco – úmido de 2001 – 2002. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002 Foz do Iguaçu - PR. Anais... 1 CD ROM.

Culf, A.D.; Esteves, J.L.; Marques Filho, A. de O.; da Rocha, H.R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia. In. Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (Org). **Amazonian deforestation and climate**. West Sussex, London: Editora John Wiley & Sons, 1996, cap. 10, p. 175 - 191.

Davidson, A.; Wang, S. The effects of sampling resolution on the surface albedos of dominant land cover types in the North American boreal region. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, p. 211– 224. 2004.

Fattori, P.A.; Ceballos, J.C. Glossário de termos técnicos em radiação atmosférica, 1997. Disponível em <<http://tucupi.cptec.inpe.br/satelite/metsat/pesquisa/gloss/capa.htm>>. Acesso em 19 jul. 2005.

Filho, A. C.; Souza, O. B. Atlas de Pressões e Ameaças às Terras Indígenas na Amazônia Brasileira, **Série Cartô Brasil Socioambiental, ISA (instituto socioambiental)**, São Paulo, novembro de 2009. 48p.

Iqbal, M. **An Introduction to Solar Radiation**. Ed. AP. Vancouver Canadá, 1983. 389p.

Kirschbaum, M.U.F.; Whitehead, D.; Dean, S.M.; Beets, P.N.; Shepherd, J.D.; Ausseil, A.G.E. Implications of albedo changes following afforestation on the benefits of forests as carbon sinks. **Biogeosciences**, v.8, p.3687–3696, 2011.

Kushari, B.; Kanitpong, K. Surface Albedo of Bangkok Roads. **Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, Vol.8, 2011.

Leitch, W.R.; Lohmann, U.; Russell, L.M.; Garrett, T.; Shantz, N.C.; Toom-Sauntry, D.; Strapp, J.W.; Hayden, K. L.; Marshall, J.; Wolde, M.; Worsnop, D.R.; Jayne, J.T. Cloud albedo increase from carbonaceous aerosol. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.10, p.7669–7684, 2010.

Liberato, A.M. Estimativa do albedo e índice de área foliar na Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 01, p. 22 – 32, 2011.

Markham, B. L.; Barker, J. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

Moura, M.A.L. **Balanco de Radiação à superfície e fluxo de calor no solo em áreas de floresta nativa e pastagem no Oeste da Amazônia brasileira**. Botucatu, 2000. 118p. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP.

Moura, M.A.L.; Lyra, R.F.F.; Benincasa, M.; Souza, J.L.; Nascimento F, 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.

Querino, C.A.S.; Moura, M.A.L.; Lyra, R.F.F. Mariano, G.L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, p.42-49, 2006.

Querino, C.A.S.; Moura, M.A.L.; Querino, J.K.A.S.; Von Radow, C.; Marques Filho, A.O. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p.204 – 294, 2011.

Salati, E.; Santos, Â. A.; Klabin, I. Temas ambientais relevantes, **SciELO- ESTUDOS AVANÇADOS** 20 (56), p. 107 – 127, 2006.

Walker, R.; DeFries, R.; Vera-Dias, M.C.; Shimbukuro, Y.; Venturieri, A. The expansion of intensive agriculture and ranching in Brazilian Amazonia. In: Michael Keller et al. **Amazonia and Global Change**. Washington, DC. Editora American Geophysical Union, 2009. Section I, cap.5, p. 61 - 81.

Wang, S. Dynamics of surface albedo of a boreal forest and its simulation. **Ecological Modelling**, v.183, p.477-494. 2005.