

Estimativa do albedo e do saldo de radiação da superfície no sistema de Baías Chacororé-Sinhá Mariana no Pantanal de Mato Grosso por sensoriamento remoto

Marcos Alves Fausto¹
Lucas Peres Angelini¹
Nadja Gomes Machado^{1,2}
José de Souza Nogueira¹
Marcelo Sacardi Biudes¹
Victor Hugo de Moraes Danelichen¹
Dalila Morgana de Souza Mützenbergl¹
Danielle Christine Stenner Nassarden¹
Heloisa Oliveira Marques¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso - Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental - UFMT/IF/PPGFA
Av. Fernando Correa da Costa, nº 2367, Bairro Boa Esperança, CEP 78.060-900, Cuiabá-MT
mffausto@hotmail.com, peres.angelini52@gmail.com,
nogueira@ufmt.br, marcelo@fisica.ufmt.br, danelichen@fisica.ufmt.br,
dalilamutzenberg@gmail.com, daniellec.s.nassarden@hotmail.com, heloisa@fisica.ufmt.br

² Instituto Federal de Mato Grosso - Laboratório de Biologia da Conservação (IFMT/LABIC)
Av. Juliano Costa Marques, s/n, Bairro Bela Vista, CEP 78.050-560, Cuiabá-MT
nadja.machado@blv.ifmt.edu.br

Abstract: The system of Bays Chacororé - Mariana Sinha is inserted in the Pantanal biome and have different behaviors throughout the year. The objective of this study was to estimate albedo and net radiation at the surface of Bays system Chacororé-Sinha Mariana in the Pantanal of Mato Grosso by remote sensing. The estimates were made using the SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) from 12 images of the reflectance measured by the sensor TM (Thematic Mapper) Landsat 5 acquired from the EarthExplorer site. The annual spatial variation of surface albedo and instantaneous and daily net radiation in Sinha-Mariana Bay were 1.6 to 15%, 484.8 to 758.4 W m⁻² and 95.1 to 184.6 W m⁻², and in the Chacororé Bay were 7 to 21%, 464.9 to 706.7 W m⁻² and 93.2 to 150.2 W m⁻², respectively. The highest values of surface albedo and net radiation occur during the wet season. The surface albedo was lower and the net radiation was higher in the Sinha Mariana Bay than in Chacororé Bay. The use of remote sensing to determine the surface albedo and the net radiation was efficient and the results were consistent with previously published work.

Palavras-chave: lakes, turbidity, wetlands, lagos, turbidez, áreas úmidas.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de Baías Chacororé - Sinhá Mariana está inserida no Bioma do Pantanal Matogrossense. Nesse sistema encontram-se áreas alagáveis, agrupamentos de espécies vegetais (terrestres e aquáticas) e uma conexão funcional com os rios bem distinta durante o ano (da Silva et al. 2012). As transformações decorrentes do uso do solo em torno das Baías podem alterar o albedo sobre esses corpos d'água e consequentemente o balanço de radiação. Em 2010, essas baías apresentaram a maior seca desde 1973, e cerca de 40% de Chacororé esteve sem água (Nunes et al., 2012). Muitos os fatores antrópicos podem modificar o funcionamento desse sistema, dentre eles o desmatamento da área circunvizinha, a retiradas das barreiras naturais dos leitos e dos corixos, as construções de estradas vicinais e a deposição de materiais orgânicos e inorgânicos transportados no período de cheias e enchentes são alguns deles (da Silva e Simoni, 2012). Esses fatores externos, além de alterar a dinâmica natural das Baías, também produzem mudança na distribuição da energia solar disponível ao ambiente (Silva et al. 2011).

Estudar esse sistema por meio dos fluxos radiativos ajuda a compreender a dinâmica do clima em escala regional (Nobre et al., 1996) e local. Nesse contexto, o sensoriamento remoto que constitui uma ferramenta eficaz para o monitoramento da superfície em diferentes escalas espaciais, seja em áreas vegetadas, agrícolas ou alagadas (Florenzano, 2011). Um dos mais destacados algoritmos do sensoriamento remoto é o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) e tem sido aplicado em diferentes áreas de estudo. Trata-se de um algoritmo que utiliza imagens orbitais e dados de superfície para estimar a evapotranspiração e dentre as suas etapas estima o saldo de radiação da superfície (R_n). O SEBAL tem vantagem em proporcionar o balanço de radiação de maneira econômica e com boa precisão, além de fornecer uma avaliação espacial e temporal dos parâmetros biofísicos (Bastiaanssen, 1995; Allen et al. 2007; Silva et al. 2011; Fausto et al. 2014).

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi estimar albedo e o saldo de radiação da superfície no sistema de Baías Chacororé-Sinhá Mariana no Pantanal de Mato Grosso por sensoriamento remoto.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

As Baías de Chacororé e Sinhá Mariana estão localizadas entre os municípios de Santo Antônio de Leverger e Barão de Melgaço, entre as coordenadas geográficas $16^{\circ} 18' 55''$ e $16^{\circ} 20' 45''$ de latitude sul e $55^{\circ} 49' 40''$ e $55^{\circ} 56' 10''$ de longitude oeste. Esse sistema de Baías estão inseridas na unidade de planície Pantanaeira Matogrossense (da Silva e Simon, 2012).

O sistema possuem alternância entre estações chuvosa e seca, e os ecossistema aquáticos da região apresentam quatro fases no regime hídrico: enchentes (Out/Dez), cheia (Jan/Mar), vazante (Abr/Jun) e estiagem (Jul/Set) na parte norte do Pantanal (da Silva, 1990; da Silva e Esteves, 1995). Os solos predominantes são Planossolo distrófico, plínico de textura areno-argilosa associada às Lateritas Hidromórficas distróficas de texturas médio argilosa e a Podzol hidromorfo arenoso (Radam Brasil, 1982). Quanto à extensão do sistema, a Baía Sinhá Mariana possui comprimento máximo de 8,75 km, largura máxima de 2,67 km, largura média de 1,29 km, profundidade máxima de 4,75 m e profundidade média de 3,58 m, representando um volume médio de $40,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ e área de $11,25 \text{ km}^2$. Já a Baía de Chacororé possui comprimento máximo de 10,9 km, largura máxima de 9,88 km, largura média de 6 km, profundidade de máxima de 4 m e profundidade média de 2,75 m, representando um volume médio de $156 \times 10^6 \text{ m}^3$ e área de $64,92 \text{ km}^2$ (Pinto Silva, 1980).

Em relação à conexão com os rios, Sinhá Mariana é alimentada pelas águas transparentes do Rio Mutum, um rio de planície com água pretas transparente com baixa

concentração de íons dissolvidos (da Silva e Figueiredo, 1999; da Silva e Simoni 2012). Segundo da Silva e Figueiredo (1999), a Baía de Sinhá Mariana mantém conexão funcional com o rio Cuiabá durante todo o ano e mais fortemente com o Rio Mutum por ser uma continuidade deste rio. Já a Baía de Chacororé mantém conexão com o Rio Cuiabá apenas no período das cheias ficando isolada ou com pouco fluxo de água na estiagem. A conexão de chacororé é feita através dos corixos. Na cheia a entrada de água ocorre diretamente através do corixo Manéisaque e de saída indiretamente pelo corixo do Mato o qual a conecta à Baía Sinhá Mariana (da Silva e Simoni, 2012).

Nesse estudo foram utilizadas 12 imagens de reflectância do sensor TM do Landsat 5 (Órbita 226 e ponto 71) corrigidas para o efeito da atmosfera obtidas gratuitamente no site EarthExplorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). As imagens foram obtidas em 10/01, 31/03, 16/04, 02/05, 18/05, 03/06, 21/07, 06/08, 22/08, 07/09, 09/10 e 10/11 do ano de 2009. O Processamento, desde a composição das bandas espectrais, recorte da área em estudo e obtenção do albedo e do saldo de radiação da superfície foram realizados no software ERDAS imagine 2011, enquanto que os Mapas foram elaborados no software Arcgis 10.1.

Foram selecionados 6 alvos sobre as Baías, sendo 3 em Chacororé (C1, C2 e C3) e 3 em Sinhá-Mariana (SM1, SM2 e SM3). Em cada um desses alvos foram definidos uma grade de 9 pixel para melhor caracterização dos valores dos parâmetros em estudo.

Os dados de superfície utilizados para cálculo do saldo de radiação da superfície foram coletados em uma torre micrometeorológica de 32 m de altura (16°39'50''S; 56°47'50''O) localizada na área experimental da Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN SESC – Pantanal, município de Barão de Melgaço – MT. Nessa torre foram obtidos a radiação solar incidente e da temperatura e umidade relativa do ar no momento da passagem do satélite e diário.

O saldo de radiação no momento da passagem do satélite (Rn_{inst}) foi obtido pela Equação (1).

$$Rn_{inst} = R_{sol,inc} (1 - \alpha_{sup}) - R_{ol,emit} + R_{ol,atm} - (1 - \epsilon_o) R_{ol,atm} \quad (1)$$

em que $R_{sol,inc}$ é a radiação solar incidente ($W m^{-2}$), $R_{ol,emit}$ é radiação de onda longa emitida pela superfície ($W m^{-2}$; Equação 2), $R_{ol,atm}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície ($W m^{-2}$; Equação 3) e α_{sup} é o albedo da superfície (Equação 4) considerando zero o albedo da própria atmosfera (α_p), pois os efeitos da atmosfera foram corrigidos nas imagens de reflectâncias.

$$R_{ol,emi} = \epsilon_o \cdot \sigma \cdot T_{sup}^4 \quad (2)$$

$$R_{ol,atm} = \epsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (3)$$

$$\alpha_{sup} = \frac{(\alpha_{To} - \alpha_p)}{\tau_{sw}^2} \quad (4)$$

em que T_{sup} é a temperatura da superfície (K), T_a é a temperatura do ar (K), ϵ_a é a emissividade da atmosférica e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica. Mais detalhe da metodologia estão disponíveis nos trabalhos de Allen et al. (2007), Silva et al. (2011), Gusmão et. al. (2011) e Fausto et al. (2014). Os autores citados anteriormente usaram valores de radiancias no processamento do balanço de radiação enquanto nesse trabalho o processamento iniciou a partir das imagens de reflectância fornecida pela USGS-NASA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de Baías Chacororé-Sinhá Mariana revelaram valores distintos de albedos, Rn_{inst} e Rn_{24h} em escala espacial e temporal (Figura 1). Foram encontrados valores menores de albedo na estação seca que compreende a vazante e a estiagem e valores maiores na estação chuvosa com fortes influencia das enchentes e cheias (Figura 1). O contrates entre as baías está relacionado a características físicas e químicas das águas. Segundo Mitsch e Gosseliwk (2000), as condições da água estão relacionada à influência do nível d'água, clima, geomorfologia, sedimentos, químicas do solo e outros fatores como a presença de aves aquáticas, microorganismo e principalmente plantas aquáticas.

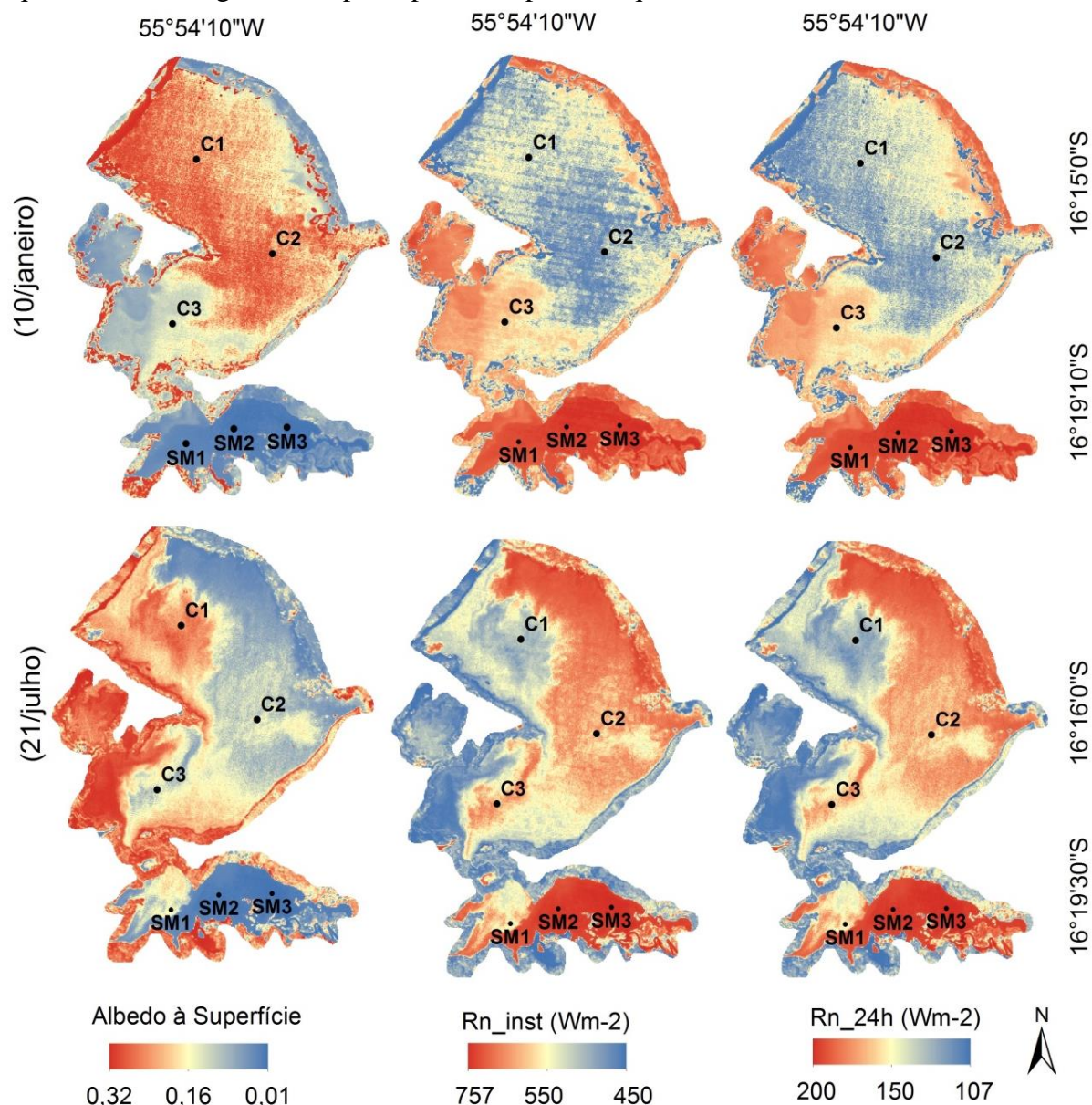


Figura1: Carta Térmica do Albedo à Superfície, Rn_{inst} e Rn_{24h} na imagem do dia 10 de Janeiro (Estação Chuvosa) e 03 de junho (Estação seca) do ano de 2009 no sistema de Baías Chacororé (C) - Sinhá Mariana (SM)

O albedo médio variou 1,6 a 6% na baía de Sinhá-Mariana e entre 7 a 13% na Chacororé entre 16 de abril a 6 de agosto (Figura 2a). Durante a estação chuvosa o albedo

variou entre 3 e 14% na Baía Sinhá-Mariana e entre 9 e 21% na Baía de Chacororé (Figura 2a). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Giongo (2008), entre 1,7 e 10,4% em áreas de corpos d'água na região de Santa Rita do Passa Quatro-SP e Dantas et al. (2010), entre 4 a 13% no reservatório de água em Quixeré-CE. Os valores de albedo obtidos no entorno da Baía de Chacororé (chegando a 21%) e da Baía Sinhá-Mariana (chegando a 15%) durante a estação chuvosa diferiram dos encontrados em áreas com cobertura vegetal (Floresta, Cerrado e Pastagem) conforme descrevem Silva et al. (2005), Dantas et al. (2010) e Fausto et al. (2014).

Em relação aos alvos selecionados sobre as Baías, o albedo apresentou menor variação sobre a Baía de Chacororé (C1, C2 e C3) em maior variação sobre a Baía Sinhá-Mariana (SM1, SM2 e SM3) (Figura 2b). O alvo SM3 apresentou maior variação no albedo devido à conexão pelo corixo do Mato com a Baía Chacororé no período das cheias e enchentes (Figura 2b). Nunes et al. (2012) realizou uma pesquisa de campo no sistema de Baías Chacororé - Sinhá Mariana entre 2001 e 2002 e encontram valores distintos de turbidez em três sítios localizados em diferentes posições na extensão das baías. Os autores revelaram maior turbidez nos sítios localizados na Baía de Chacororé, seguido pelo sítio de transição Sinhá-Mariana/Chacororé e menor em Sinhá-Mariana/Mutum no período da estiagem, e durante as cheias o sítio Sinhá-Mariana/Mutum apresentaram os menores valores na turbidez, enquanto que a Baía Chacororé os maiores valores. Os resultados obtidos por Nunes et al. (2012) pode justificar as variações do albedo da superfície indicadas na Figura 2b.

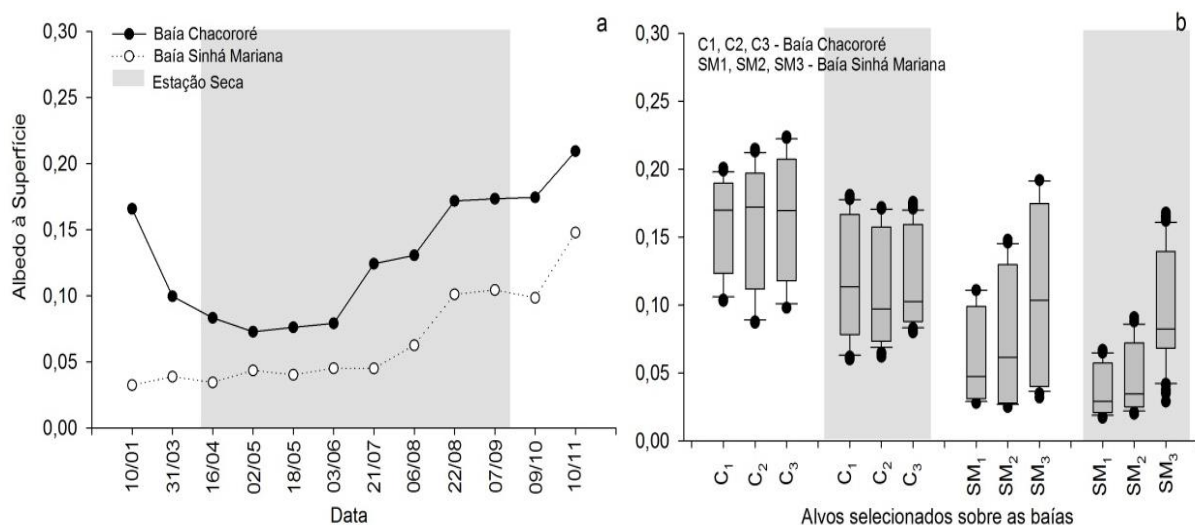


Figura 2: Variação média do albedo da superfície (a) e boxplot sobre os alvos selecionados (b) no sistema de Baías Chacororé (C) e Sinhá Mariana (SM) durante o ano de 2009.

Na Baía de Chacororé, o Rn_{inst} variou entre 464,9 e 615,1 $W m^{-2}$ na estação seca e entre 622,9 a 706,7 $W m^{-2}$ na estação chuvosa. Enquanto que na Baía Sinhá Mariana, o Rn_{inst} variou entre 484,8 e 666,8 $W m^{-2}$ na estação seca e entre 662,7 e 758,4 $W m^{-2}$ na estação chuvosa (Figura 3a). As diferenças nos valores do Rn_{inst} entre as Baías estão relacionadas ao albedo, ângulo de incidência dos raios solares e a sazonalidade da radiação solar. Os resultados foram semelhantes ao encontrados por Gusmão et al. (2011) na Ilha do Bananal-TO, com valores altos de Rn_{inst} em áreas de corpos d'água e acima de 575 $W m^{-2}$, enquanto Silva et al. (2005b) encontraram valores de 751,3 $W m^{-2}$ no Lago de Sobradinho-BA.

Nos alvos selecionados sobre as Baías, o Rn_{inst} na Baía de Sinhá-Mariana foi maior aos encontrados na Baía de Chacororé durante a estação chuvosa (Figura 3b) e nas duas Baías o Rn_{inst} foi maior durante a estação chuvosa. Assim como ocorreu com o albedo, a maior variação de Rn_{inst} foi em SM3 em relação a SM1 e SM2. Observa-se na figura 3b que a

variação média de Rn_{inst} nos alvos C1, C2 e C3 foram semelhantes na estação seca e chuvosa (Figura 3b).

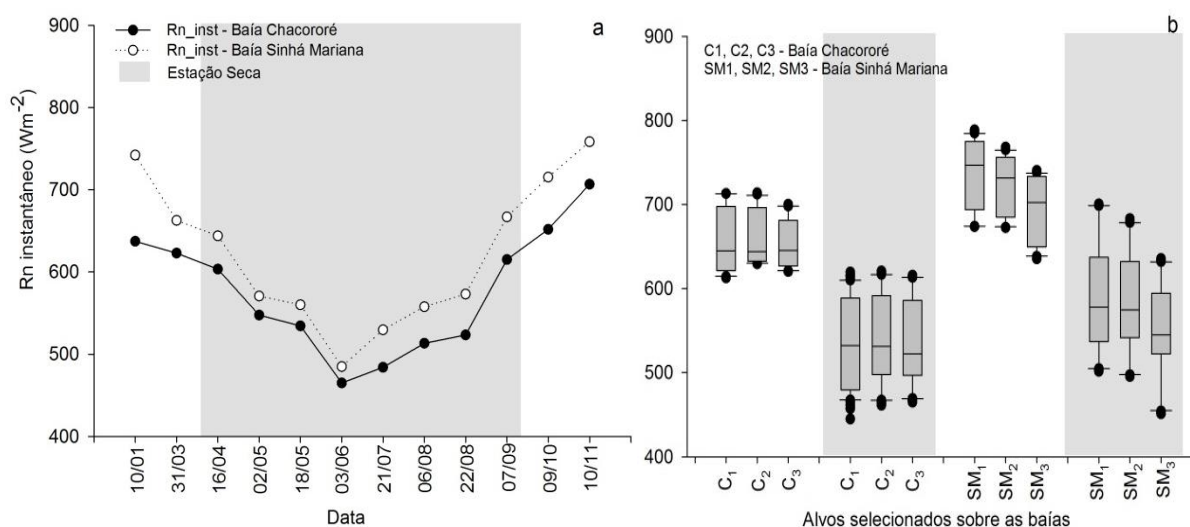


Figura 3: Variação média do Rn_{inst} (a) e boxplot sobre os alvos selecionados (b) no sistema de Baías Chacororé (C) e Sinhá Mariana (SM) durante o ano de 2009.

O Rn_{24h} (Figura 4) seguiu comportamento semelhante ao Rn_{inst} (Figura 3) apresentando valores menores na estação seca e maiores na estação chuvosa. O Rn_{24h} na Baía de Chacororé variou entre 93,2 e 131,7 W m⁻² na estação seca e entre 132 e 150,2 W m⁻² na estação chuvosa. O Rn_{24h} na Baía Sinhá-Mariana variou entre 95,1 e 144,5 W m⁻² na estação seca e entre 144,4 e 184,6 W m⁻² na estação chuvosa (Figura 4a). Os resultados encontrados foram semelhantes ao de Gusmão et al. (2011) em que obtiveram valores superiores a 150 W m⁻² em corpos d'água na ilha do Bananal-TO.

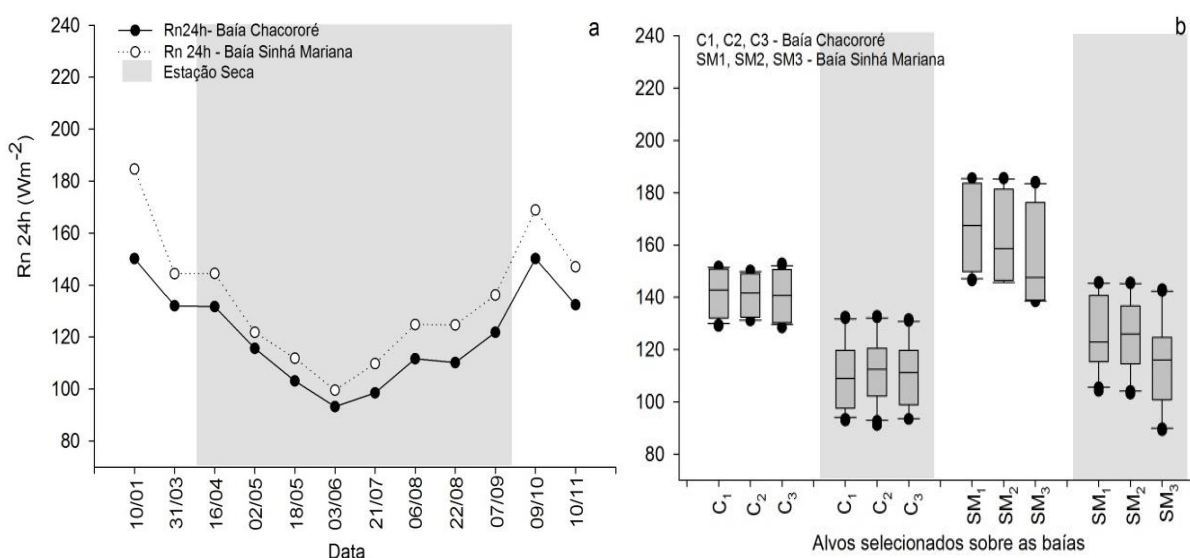


Figura 4: Variação média do Rn_{24h} (a) e boxplot sobre os alvos selecionados (b) no sistema de Baías Chacororé (C) e Sinhá Mariana (SM) no ano de 2009.

As estimativas de Rn com sensoriamento remoto tem revelado resultados eficientes quando comparados aos dados de superfícies. Fausto et. al. (2014) encontraram correlação de 0,996 e 0,998 para Rn_{inst} e de 0,989 e 0,998 para Rn_{24h} em uma área de Cerrado localizada na Bacia do alto rio Paraguai usando dados de duas estações micrometeorológica em comparação

as estimativas realizadas pelo SEBAL, e também Giongo (2008) encontrou correlação de 0,984 em área de Cana-de-açúcar e 0,994 em área de Cerrado em Santa Rita do Passa Quatro/SP, usando dados de estações meteorológicas e sensoriamento remoto para avaliar o balanço de radiação à superfície.

4. CONCLUSÕES

O estudo revelou diferenças no balanço de radiação entre a Baía de Chacororé e Sinhá Mariana durante o ano de 2009. Na Baía Sinhá Mariana o albedo da superfície foi menor e o saldo de radiação foi maior que na Baía de Chacororé. As variações dos parâmetros revelaram a influência das águas da Baía de Chacororé sobre a Baía Sinhá Mariana na estação chuvosa. O uso do sensoriamento remoto para determinar o albedo da superfície e o saldo de radiação foi eficiente em revelar a dinâmica dessas variáveis sobre essas Baías ao se comparar os resultados encontrados nesse estudo com de outros autores.

AGRADECIMENTOS

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R. Satellite-Based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (Metric) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.133, n.4, p.380-394, 2007.

Bastiaanssen, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1995.

Brasil, Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos naturais. Folha SD-21-Cuiabá. V. 26. Boletim técnico. Rio de Janeiro: MME-DNPM, 1982, p. 25-175.

da Silva, C.J. Influência da variação do nível d'água sobre a estrutura e funcionamento de uma área alagável do Pantanal Matogrossense (Pantanal de Barão de Melgaço) - MT. 1990, 250f. Tese (Doutorado) - universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1990.

da Silva, C.J., Esteves, F.A., Dinâmica das características limnológica das baías Porto de Fora e Acurizal (Pantanal de Mato Grosso) em função da variação do nível da água. Rio de Janeiro, UFRJ, *Oecologia Brasiliensis*, 1, p. 47-60, 1995.

da Silva, C.J., Figueiredo, D.M. Variação limnológica do sistema de baías Chacororé-Sinhá Mariana. *Revista Mato-grossense de Geografia*, n.3/4, p.57-75, 1999.

da Silva, C.J.; Simoni, J. Água, Biodiversidade e Cultura do Pantanal. Cáceres, Ed. UNEMAT, 2012.
Dantas, F.R.C., Braga, C. C., De Souza, E. P.; Da Silva, S.T.A. Determinação do albedo da superfície a partir de dados AVHRR/NOAA e TM/Landsat-5. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.1, 24 - 31, 2010.

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*, Bellingham, USA, v. 8, 2014.
Florenzano, T. G; Iniciação ao Sensoriamento Remoto. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

Giongo, P.R. Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfícies, 2008. 92f (Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

Gusmão, A.C.V.L., Silva, B.B., Montenegro, S.M.G.L., Galvêncio, J. D. Determinação do saldo radiativo na Ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.16, n.10, p.1107–1114, 2012.

Land Surface Reflection (L4-5) TM. Disponível em: < <http://earthexplorer.usgs.gov/> >. Acesso em: 25 Out. 2014.

Mitsch, W.J., Gosselink, J.G.M. *Wetlands*. 3rd ed. New York; John Wiley & Sons, 2000.

Nobre, C.A., Fisch, G., Rocha, H.R.; Lyra, R.F.F.; Rocha, E.P.; Costa, A.C.L.; Ubarana, V.N. Observations of the atmospheric boundary layer in Rondônia. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (Eds.) *Amazonian Deforestation and Climate*. New York: J. M. Wiley and Sons, 1996, p.413-424.

Nunes, J.R.S., Da Silva, C.J., Abdo, M. As águas do sistema de Baías Chacororé - Sinhá Mariana. In: Da Silva, C.J.; Simoni, J. (Org.). *Água, Biodiversidade e Cultura do Pantanal*. Cáceres, Ed. UNEMAT, 2012.

Pinto Silva, V. Variações diurnas de fatores ecológicos em quatro lagoas naturais do Pantanal Mato-Grossense e seu estudo comparativo em dois lagos, um na Amazônia Central e um lago artificial (Represa do Lobo, Broa, São Carlos, SP). 1980, 281f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1980.

Silva, B. B. da; Lopes, G. M.; Azevedo, P. V. de. 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., Lopes, G.M., Azevedo, P.V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.2, 243-252, 2005b.

Silva, B.B.; Silva, S.T. A.; Gomes, H.B. Balanço de Radiação no Perímetro Irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens Orbitais, *Revista Caatinga*, Mossoró, v.24, n. 3, p. 143-152, 2011.