



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Balanco de radiação com imagens captadas com Drones

Gabrielly Gregório da Luz, Josiclêda Domiciano Galvinctio

Gabrielly Gregório da Luz E-mail: gabrielly.gregorio@ufpe.br Graduanda em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco
Josiclêda Domiciano Galvinctio. e-mail: josicleda.galvinctio@ufpe.br. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Ciências Geográficas. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA. Bolsista de pesquisa do CNPq. Pesquisador Mentor da Agência Pernambucana de Água e Clima-APAC

Artigo recebido em 18/03/2022 e aceito em 26/04/2022

RESUMO

O balanço de radiação é uma variável muito importante para o entendimento da radiação, condições climáticas e de gestão dos recursos hídricos de uma região. Ao longo de muitos anos pesquisadores tem reunido esforço com o intuito de melhor entender o saldo de radiação de diferentes alvos a superfície. O maior desafio está na falta de monitoramento e observação de dados de radiação a superfície. A obtenção dessas informações é de alto custo e por esse motivo pouco desconhecido. Nesse sentido, desenvolver modelos que estimem saldo de radiação de forma precisa tem sido uma busca constante dos pesquisadores. Como o avanço tecnológico algumas alternativas tem surgido e se destacado em função da precisão de obtenção dos dados. Diante do exposto, o objetivo deste estudo é estimar o balanço de radiação com imagens de drone. Foi utilizado como metodologia o embasamento do SEBAL- Surface Energy Balance for Land. Os resultados obtidos mostram que a estimativa do saldo de radiação com drones é promissora, uma vez que as informações obtidas estão bastante coerentes com dados observados e já publicados em artigos científicos. Ainda foi possível mostrar que existe uma ótima relação do albedo a superfície com o saldo de radiação. Essa informação é importante quando se deseja disponibilizar modelos de simples utilização para a gestão dos recursos hídricos e agricultura de precisão.

Palavras-chave: drone, saldo de radiação, sensoriamento remoto.

Radiation balance with imagens captured with Drones

ABSTRACT

The radiation balance is a very important variable for understanding radiation, climatic conditions and the management of water resources in a region. Over many years, researchers have gathered efforts in order to better understand the radiation balance of different targets on the surface. The biggest challenge is the lack of monitoring and observation of surface radiation data. Obtaining this information is expensive and for this reason little unknown. In this sense, developing models that accurately estimate the radiation balance has been a constant search for researchers. As the technological advance, some alternatives have emerged and stood out due to the precision of obtaining the data. Given the above, the objective of this study is to estimate the radiation balance with drone images. The basis of the SEBAL- Surface Energy Balance for Land was used as a methodology. The results obtained show that the estimate of the radiation balance with drones is promising, since the information obtained is quite consistent with observed data and already published in scientific articles. It was still possible to show that there is an excellent relationship between the surface albedo and the net radiation. This information is important when you want to provide simple-to-use models for the management of water resources and precision agriculture.

Keywords: drone, radiation balance, remote sensing.

Introdução

O Nordeste brasileiro é um dos territórios que mais sofre em decorrência dos eventos climáticos como escassez de chuvas em determinados municípios, com fortes estiagens que atinge diretamente o cotidiano dos seus moradores. A região Nordeste sofre problemas com a

irregularidade em seu regime pluvial, atingindo setores como agricultura e a hidrologia, segundo (Da Silva, et, al 2005). A utilização do sensoriamento remoto para monitorar de forma espacial as problemáticas que norteiam a área acima mencionada é utilizada em diversas pesquisa. Tal análise é capaz de identificar em

tempo real, as mudanças que ocorrem sejam elas promovidas por eventos naturais ou/ e antrópicos. (Gomes, et, al 2009; Galvinctio e Luz 2021). Utilizando imagens de satélites, diferentes metodologias são utilizadas para calcular o balanço de radiação nos diversos biomas brasileiros. Mudanças ocorridas ao longo dos tempos por fatores naturais ou antrópicos tornam-se cada vez mais comum. Avaliações das informações obtidas por meio do sensoriamento remoto vem gerando resultados satisfatórios tanto pela agilidade dos dados quanto pelas precisões, (Cavalcante et., al 2018).

Balanço de radiação é o estudo dos fluxos de propriedade atmosférica que norteia o nosso ambiente. Segundo Cunha et, al 1993, a magnitude do saldo de radiação interfere em diversos fatores que estão relacionado com os componentes de ondas curtas e longas. Diversas são as pesquisas no território brasileiro que quantificam os componentes que formam o balanço de radiação, desenvolvendo modelos que estimam o saldo de radiação conforme pode ser verificado em Cunha et., al 1993, Galvani et, al 2001, Da Silva et, al 2009, de Souza et., al 2015. Dois componentes de bastante importância no saldo de radiação é a T_s (temperatura da superfície) e o albedo. O seu monitoramento permite identificar mudanças no uso do solo, que promovem consequências importantes para o ambiente e clima nas escalas local e regional, Gomes, et, al. 2009.

Para uma melhor eficiência do uso de água através do monitoramento de perdas evaporativas utiliza-se a estimativa da evapotranspiração que consequentemente e um dos componentes de maior importância no processo de balanço de radiação (Araujo,2010).

O SEBAL- Surface Energy Algorithm for Land para além do conhecimento do saldo de radiação (R_n), tem produtos como índices de vegetação (NDVI-SAVI), albedo, e temperatura da superfície, dentre outros que contribuem para análises espaciais e temporais das mudanças na cobertura do solo, Silva, et al 2016, gestão dos recursos hídricos, Luz e Galvinctio, 2022.

Sabe-se que os veículos aero não tripulados (VANTS), vem tomando espaço nos meios científicos como uma das alternativas mais viável em pesquisa de campo, consequentemente, no monitoramento ambiental e em análises de cunho específico em terrenos etc. Por ser um equipamento relativamente barato, junto com os softwares a ferramenta é capaz de gerar dados precisos e eficientes através de seu mapeamento na coleta de imagens. Galvinctio 2019, estimou a temperatura da superfície com imagens obtidas por drones enfatizando os desafios de gerar os dados através das imagens que devem ser calibradas para obtenção dos dados mais precisos.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é avaliar o balanço de radiação utilizando imagens captadas através de drones: um estudo de caso na bacia do riacho Milagres, Verdejante-PE.

Material e métodos

Área de Trabalho

O voo foi realizado na área com coordenadas centrais -7.9792325, -39.0806782, a área de pesquisa encontra-se no semiárido nordestino precisamente no estado de Pernambuco. Esse voo se localiza no município de Verdejantes, em uma área conhecida como Sitio Lagoa dos Milagres. Foi realizado um voo no dia 08/03/2022 as 11:20h, horário local.

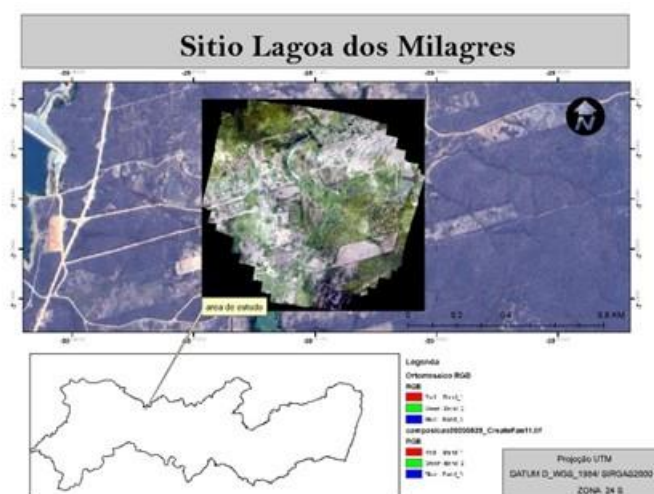


Figura 1- Localização da área em estudo.

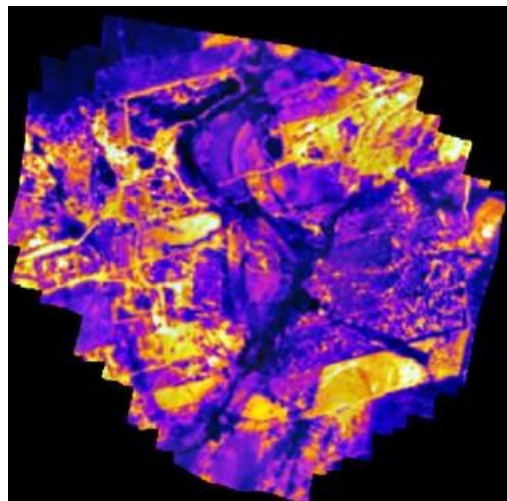
Metodologia

O plano de voo foi realizado através do aplicativo pix4dmappear, disponível gratuitamente para ios e android, de forma automática ao realizar o mapeamento da área. Sendo capturados imagens tanto na faixa Termal quanto RGB-RED, GREEN e BLUE, através do Drone MAVIC dual enterprise,

que possui uma câmera com resolução 4056 x 3040 no RGB e termal de 640x480, Figura 2 Os procedimentos preliminares para processamentos dos dados e obtenção do ortomosaicos das imagens obtidas com drones estão distribuídos no fluxograma, Figura 3.



RGB



Termal

Figura 2- Orthomosaicos RGB e Termal utilizados neste estudo.

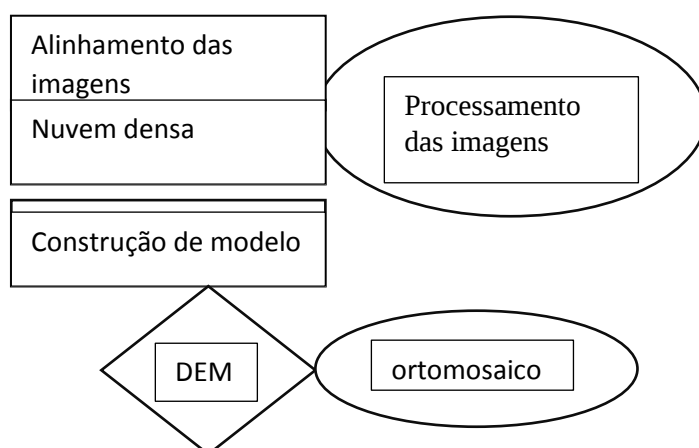


Figura 3. Fluxograma da criação do ortomosaico.

Para obtenção do saldo de radiação foi necessário obter a banda do NIR e para isso utilizou-se o estudo de Arai et al., (2016) como referência.

Etapa-2- Obtenção do balanço de radiação

Para obtenção do saldo de radiação (R_n) constitui-se inicialmente do cômputo da radiancia espectral de cada banda ($\lambda_i L$), ou seja, efetivação da Conversão Radiométrica, em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiancia espectral monocromática. Essas

radiancias representam a radiação solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda. A calibração é efetivada segundo a equação (Markham and Baker, 1986):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND$$

Em que a e b são constantes de calibração, que neste estudo foi utilizada do Landsat 5.

Em seguida foi obtida a radiação solar refletida, utilizando a equação:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r}$$

Em que $d_r = 1 + 0,033 \cos(DSA2\pi/365)$, sendo o DSA o dia sequencial do ano. O $\cos z = \cos(90 - E)$ que é cos do ângulo zenital foi obtido em função da elevação solar E. A elevação solar foi obtida utilizando a calculadora do site https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt colocando as coordenadas do lugar, ano, mês, dia e horário do voo. E posteriormente, obtido o cos de Z. k_{λ_i} é a irradiância no topo da atmosfera para cada faixa espectral. Neste artigo foi utilizado as irradiâncias do landsat 5.

Após obtenção das reflectâncias foi obtido o albedo no topo da atmosfera, utilizando a seguinte equação:

$$\alpha_{toa} = 0,29\rho_{Blue} + 0,274\rho_{Green} + 0,233\rho_{Red} + 0,201\rho_{NIR}$$

em que ρ é a reflectância de cada banda.

O albedo da superfície $\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2}$, com base

em Bastiaanssen (2000) $\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z$. é a transmissividade atmosférica que para condições de céu claro, pode ser obtida por esta equação proposta por Allen et al., (2002). Como a área é muito pequena em voo de drone não foi utilizado a variação do relevo e o $\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z$ foi adotado 0,75. α_p é a da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para este estudo foi utilizado o valor de 0,03, com base em Bastiaanssen (2000).

Índices de vegetação

Calculou-se o NDVI-, NDWI, SAVI e LAI

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

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V}$$

Em que, IVp e Vp correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM. O NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1 e para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 e 1; já para a água e nuvens o NDVI

geralmente é menor que zero. Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI) que é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo, pode-se utilizar a expressão (Huete, 1988).

O Índice de Área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem e ele foi computado pela seguinte equação empírica obtida por Miranda et al. (2020):

$$IAF = 11 \times (SAVI^2) + 0.2$$

Temperatura da superfície

Para obtenção da calibração da temperatura da superfície foi obtida durante o voo os valores de temperatura de 16 pontos, Tabela 1, e correlacionados com o número digital-ND desse ponto e obtivemos o modelo de regressão linear.

Tabela 1 – Número digital-ND e temperatura da superfície-TEMP_SUP em dezesseis pontos espacialmente distribuídos.

ND	TEMP_SUP
229	45.1
225	44.5
203	40.8
189	39
216	41.7
244	45.5
219	45.4
219	43.9
213	45.5
218	45.1
218	45.1
182	42.2
194	41.5
195	42.7
201	40
218	41.7

A equação de regressão linear obtidas desses dados foram utilizadas para obter a imagem de temperatura da superfície para a área inteira imageada.

Para obtenção da Radiação de longa curta emitida $R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4$ é necessário dados de emissividade no domínio da banda larga ε_0 (5 – 100 μm), temperatura à superfície (kelvin) e σ é a constante de Stefan-Boltzman. Segundo Allen et al. (2002), as emissividades ε_0 podem ser obtidas, pelo IAF, segundo:

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01\text{IAF}$$

Para obtenção da Radiação de longa curta incidente $R_{s\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw}$ em que S é a constante solar (1367 Wm^2), Z é ângulo zenital solar, d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica. R_s pode ser considerado constante em toda a área de estudo, quando a mesma é de pequena dimensão (50 Km x 50 Km, por exemplo). Como é o caso deste estudo.

A Radiação de onda longa incidente foi considerada constante e sendo obtida pela temperatura do ar (kelvin), constante de Stefan-Boltzman e emissividade atmosférica.

Finalmente, o Saldo de radiação foi obtido com a seguinte equação:

$$Rn = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0) R_{L\downarrow}$$

Em que, $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente (ou radiação solar global), α é o albedo corrigido, $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel, $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e ε_0 é a emissividade de cada pixel.

Foi utilizado o método de regressão linear para obter a relação existente entre o albedo e o saldo de radiação. Foi aplicado nos dados brutos e nos percentis de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90. O intuito foi obter a relação existente entre as duas variáveis e desenvolver um modelo que estime saldo de radiação utilizando o albedo.

O modelo foi avaliado utilizando os critérios de: coeficiente de correlação e VIF-variance inflation fator.

Resultados e discussão

Neste artigo apresentamos alguns produtos obtidos com as imagens de drone para obtenção do saldo de radiação. O albedo no topo da atmosfera, Figura 4, é uma das variáveis necessárias para obtenção do albedo a superfície. Nota-se que o albedo no topo da atmosfera variou entre 0,16 a 0,434, sendo entre 0,25 a 0,30 os valores que mais se repetiram na área em estudo. O albedo a superfície, Figura 5, variou entre 0,24 a 0,71, sendo que os valores que mais se repetiram estiverem entre 0,38 a 0,48. Nota-se que essa área apresenta pouca cobertura vegetal que interfira na diminuição do albedo. Em geral, o índice de área foliar esteve entre 0,2 a 5, Figura 6. Esses valores estão coerentes com Miranda et al., (2020) que avaliou resultados do IAF para caatinga em Petrolina.

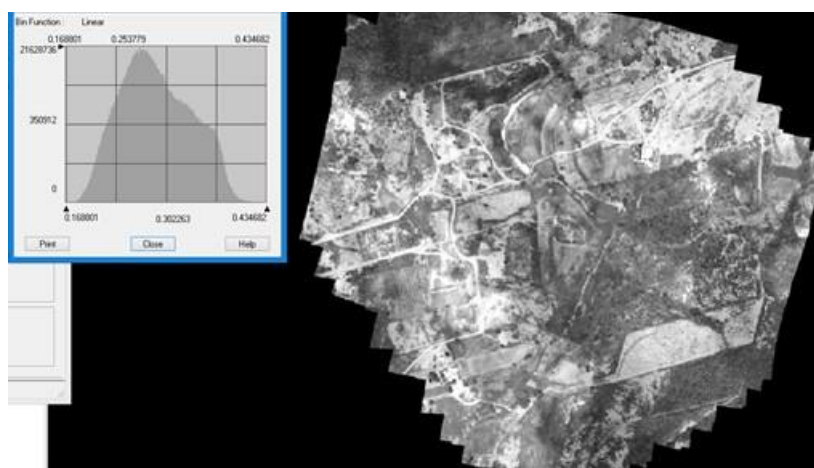


Figura 4- Albedo no topo da atmosfera.

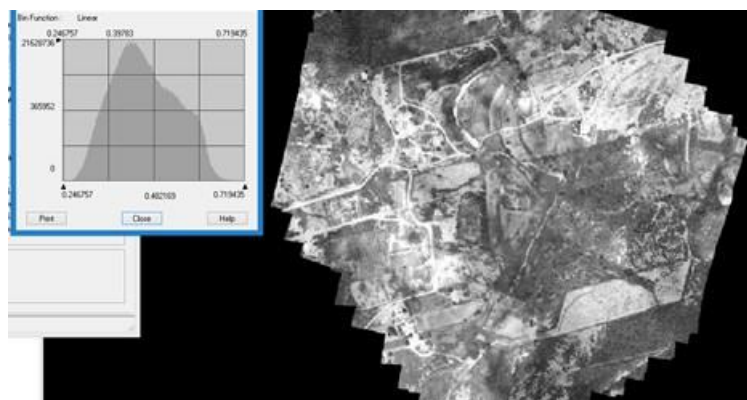


Figura 5- Albedo a superfície.

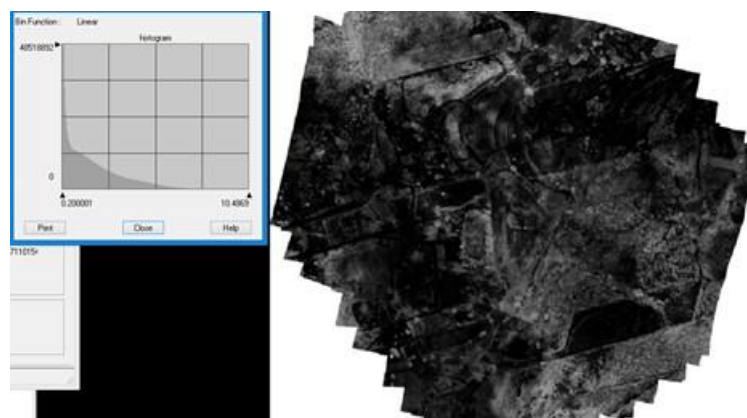


Figura 6 -Índice de área foliar.

A temperatura da superfície, Figura 7, esteve entre 296 a 320 K. No perfil horizontal analisado, Figura 8, a temperatura esteve entre 297 a 320K. Nota-se que no solo exposto e área construída as temperaturas estiverem entre 315b a

320K, na vegetação em torno de 302K, na água em torno de 297K e na área agrícola em torno de 305K.

O saldo de radiação esteve entre 701 a 1200 (Wm^{-2}). Em geral, o saldo esteve em torno de 1000(Wm^{-2}), Figura 9.

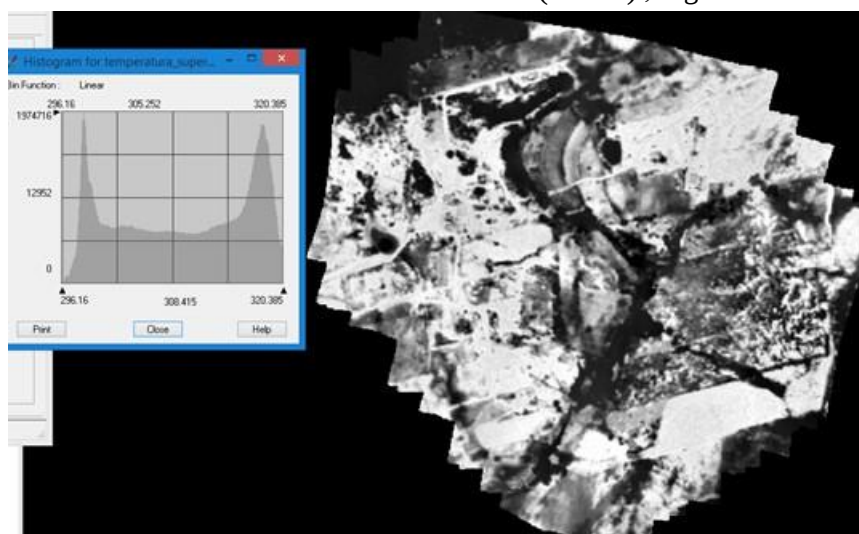


Figura 7- Temperatura a superfície(K).



Figura 8- Temperatura a superfície (K).

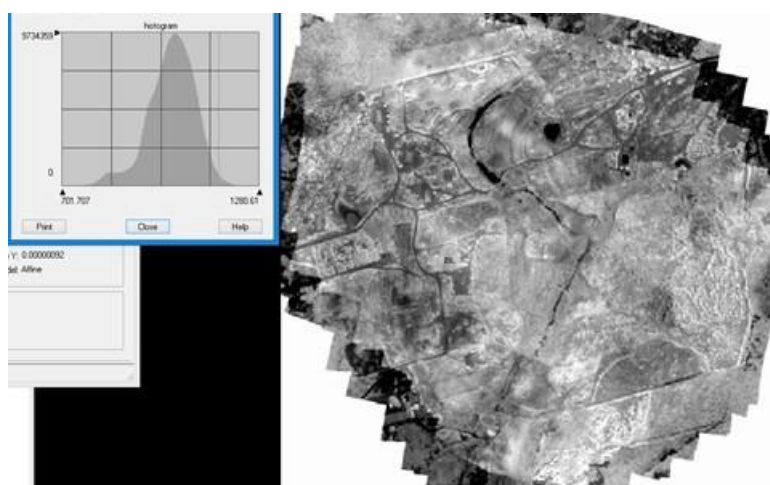


Figura 9- Saldo de radiação (Wm^{-2}).

A Figuras 10 mostra perfil horizontal do saldo de radiação passando por diferentes uso e ocupação do solo. Em áreas de vegetação caatinga densa o saldo de radiação foi em torno de $1100 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$. Em água livre foi de $780 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$. A agricultura irrigada em torno de $1000 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$ e o preparo para o plantio ou solo exposto em torno de $900 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$. Souza et al., (2015) encontrou um saldo de radiação médio diário para caatinga densa

de $870 \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$ no ano de 2012 utilizando dados observados em estação micrometeorológica em Petrolina. Ano considerado muito seco na área que Souza estudou. Assim, considera-se que as estimativas encontradas neste estudo para caatinga em ano com chuvas normais estão coerentes. Consequentemente as outras estimativas seguem a mesma precisão. Assim, considera-se que efetuar estimativas do saldo de radiação com imagens de drone sejam eficientes.

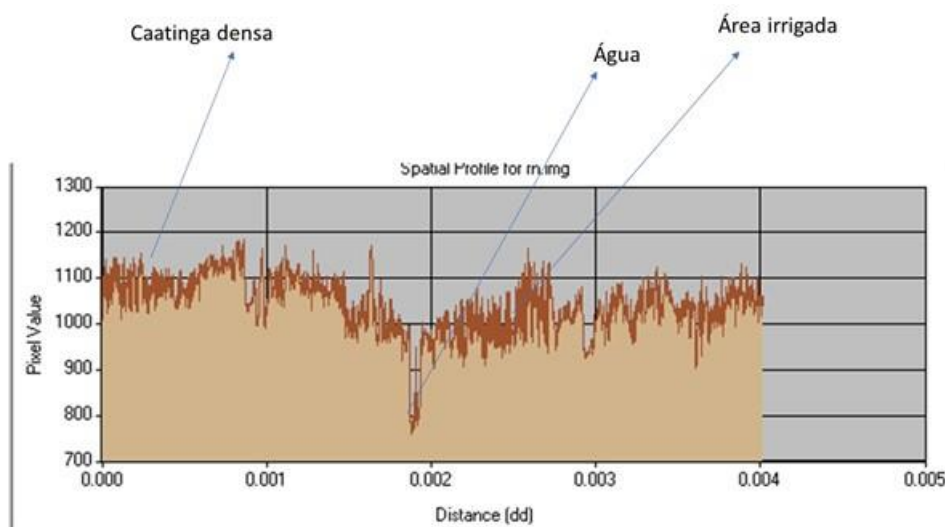


Figura 10- Perfil horizontal do saldo de radiação (Wm^{-2}) .

Relação albedo e saldo de radiação

A Tabela 1 mostra a estatística descritiva dos dados utilizados nesta análise. Neste recorte espacial foram utilizadas 65535 amostras de Saldo de radiação-RN e Albedo a superfície estimados. A

média do saldo de radiação foi de $1060 (\text{Wm}^{-2})$ e do albedo foi de 0,41. Foram obtidos os percentis dessas duas variáveis.

Tabela 1- Estatística descritiva de recorte espacial analisados da imagem de drone.

Statistics		RN	albedo
N	Valid	65535	65535
	Missing	0	0
Mean		1060.683376	.4151182634
Std. Error of Mean		.2341706131	.0002846150
Median		1062.780762	.4122304916
Mode		0E-11	0E-12
Std. Deviation		59.94721959	.0728608805
Variance		3593.669	.005
Range		1247.098145	.6471776962
Minimum		0E-11	0E-12
Maximum		1247.098145	.6471776962
Sum		69511885.04	27204.77539
Percentiles	10	992.3604004	.3220084012
	20	1014.205364	.3446243703
	30	1031.182349	.3678492188
	40	1047.254492	.3910452724
	50	1062.780762	.4122304916
	60	1076.974170	.4349627554
	70	1092.074707	.4583153844
	80	1106.678564	.4816554308
	90	1126.432764	.5089777423

A Tabela 2 mostra que a correlação espacial entre o RN e albedo a superfície é negativa

e em torno de -0.63, com nível de significância de 0,01.

Tabela 2- Correlação do RN e albedo da superfície da amostra espacial.

Correlations		RN	albedo
RN	Pearson Correlation	1	-.631**
	Sig. (2-tailed)		.000
	Sum of Squares and Cross-products	235507513.2	-180681.028
	Covariance	3593.669	-2.757
	N	65535	65535
albedo	Pearson Correlation	-.631**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	Sum of Squares and Cross-products	-180681.028	347.901
	Covariance	-2.757	.005
	N	65535	65535

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Na tentativa de encontrar um modelo que estime RN utilizando albedo foi realizada a linearização dos dados com os percentis. Os dados dos percentis foram correlacionados e encontrado

uma correlação de 0,99 com nível de significância de 0,01, Tabela 3. Após linearização dos dados.

Tabela 3- Correlação entre RN e albedo a Superfície após linearização dos dados utilizando os percentis.

Correlations			
		RN	Albedo_Sup
Pearson Correlation	RN	1.000	.999
	Albedo_Sup	.999	1.000
Sig. (1-tailed)	RN	.	.000
	Albedo_Sup	.000	.
N	RN	9	9
	Albedo_Sup	9	9

Os coeficientes do modelo desenvolvido estão apresentados na Tabela 4. Para estimar Rn

utilizando o albedo a superfície recomenda o uso do modelo $RN=697\text{albedo_sup}+772$.

Tabela 4- Coeficientes do modelo desenvolvido para estimara saldo de radiação com o albedo da superfície.

Coefficients ^a													
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	772.776	5.962		129.618	.000	758.679	786.874					
	Albedo_Sup	697.296	14.271	.999	48.862	.000	663.551	731.041	.999	.999	.999	1.000	1.000

a. Dependent Variable: RN

A Figura 11 mostra a relação entre os valores observados e estimados com o modelo desenvolvido neste estudo. Nota-se que os valores

estiveram em torno da reta. Mostrando assim ótimas estimativas.

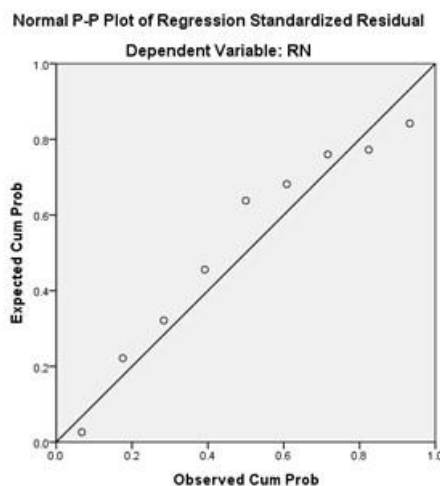


Figura 11- Relação entre saldo de radiação estimado pelo modelo criado e valores de referência.

Conclusão

É possível obter ótimas estimativas do balanço de radiação utilizando imageamento com drones. Para facilitar estimativas do saldo de radiação é possível obtê-lo utilizando o albedo a superfície, com ótimos resultados estatísticos.

Com drones é possível obter informações físicas do terreno de forma rápida, detalhada e precisa. Sabendo que conhecer a variável saldo de radiação é de grande importância para a gestão dos recursos hídricos e do avanço a agricultura de precisão. Sabendo que possível obter estimativas confiáveis e rápidas na escala espacial com drones, pode-se

afirmar que o uso de drones para estimar saldo de radiação pode trazer ganhos significativos na gestão dos recursos hídricos e na gestão da agricultura irrigada

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade de pesquisa. A FACEPE pelo projeto pesquisador Mentor através do processo BPV-0010-3.07/21.

Referência

Allen, R. Tasumi, M. Trezza, R., 2002. SEBAL- Surface Energy Balance Algorithms for Land, Version 1.0, University of Idaho, Kimberly, Idaho.

Araujo A., L., (2010), Calibração do balanço de radiação diário através de dados de superfície e de sensores orbitais. Dissertação de mestrado 1-1015. 2010.

Arai, K., Gondoh, K., Shigetomi, O., Miura, Y. (2016). Method for NIR reflectance estimation with visible camera data based on regression for NDVI estimation and its application for insect damage detection of rice paddy fields. *Int. J. Adv. Res. Artif. Intell*, 5, 17-22.

Bandim, C. G. A., Galvêncio, J. D. (2021). Mapping water storage areas in depression, using lidar data: Caxangá avenida case study. [Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados lidar: Estudo de caso avenida caxangá] *Revista Brasileira De Geografia Fisica* 14, 58-67. doi:10.26848/rbgf.v14.1.p058-067

Bastiaanssen, W. G. 2000. SEBAL - based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology* 229, 87-100.

Cavalcante, H., Cruz, P. S., Viana, L. G., de Lucena S., D., de Lucena B., J. E. (2018). Influence of the use and the land cover of the catchment in the water quality of the semiarid tropical reservoirs. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7, 389-398

Cunha, G. R., Paula, J. D., Bergamaschi, H., Saibro, J. D., & Berlato, M. A. (1993). Balanço de radiação em alfafa. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 1-10

Christen, A., Vogt, R. (2004). Energy and radiation balance of a central European city. *International Journal of Climatology: A*

Journal of the Royal Meteorological Society 24, 1395-1421.

Da Silva, B. B., Lopes, G. M., Azevedo, P. V. (2005). Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. *Revista Brasileira de Meteorologia* 20, 243-252.

De Souza, L. S. B., de Moura, M. S. B., Sediya, G. C., da Silva, T. G. F. (2015). Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no Semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 41-55.

Galvani, E., Escobedo, J. F., Pereira, A. B. (2001). Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. *Bragantia* 60, 139-147.

Galvêncio, J. D., 2019. Estimativa da temperatura da superfície com imagens obtidas com drones, *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 9-397-406 2019.

Gettelman, A., Forster, P. M. D. F., Fujiwara, M., Fu, Q., Vömel, H., Gohar, L. K., Ammerman, M. (2004). Radiation balance of the tropical tropopause layer. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109. 1-12 Doi <https://doi.org/10.1029/2003JD004190>

Gomes, H. B., da Silva, B. B., Cavalcanti, E. P., Da Rocha, H. R. (2009). Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. *Geosciences= Geociências* 28, 153-164.

Huete AR (1988) A soil- adjusted vegetatiion index (SAVI). *Remote sens Evir* 25, 295-309

Luz, G. G. Galvêncio., J. D. (2022) Balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do riacho Milagres-PE, utilizando o SUPER. *Revista Brasileira de Geografia Física* 15, 1094-1107.

Markham and Barker, 1986 Markham, B.L., Barker, J.L., 1986. Landsat MSS and TM Post-calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures: EOSAT Landsat Technical Notes, vol. 1, pp. 3-8.

Miranda, R. D. Q., Nóbrega, R. L. B., Moura, M.S. B. D., Raghavan, S., Galvêncio, J. D. (2020). Realistic and simplified models of plant and leaf area indices for a seasonally dry tropical forest. *International Journal of Applied Earth Observation and*

- Geoinformation, 85, 101992.
doi:10.1016/j.jag.2019.101992
- Miranda, R. Q., Galvêncio, J. D., Morais, Y. C. B., de Moura, M. S. B., Jones, C. A., & Srinivasan, R. (2018). Dry forest deforestation dynamics in Brazil's pontal basin. [Dinâmica do desmatamento de floresta seca na bacia do Pontal no Brasil] *Revista Caatinga* 31, 385-395. doi:10.1590/1983-21252018v31n215rc.
- Monteith, J. L., Szeicz, G. (1961). The radiation balance of bare soil and vegetation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 87, 159-170. DOI <https://doi.org/10.1002/qj.49708737205>
- Silva, L. C. D., Cunha, J. M., Machado, N. G., Campos, M. C. C., Biudes, M. S. (2016). Estimativa do balanço de radiação por sensoriamento remoto de diferentes usos de solo no sudoeste da Amazônia brasileira. *Sociedade & Natureza* 28, 131-146.