



<http://dx.doi.org/10.12702/iii.inovagri.2015-a017>

USO DO ALGORITMO SAFER PARA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ÁREAS URBANAS

I.B. Américo¹, F.B.T. Hernandez², D.N. Coaguila³, A.H.C. Teixeira⁴

RESUMO: O uso combinado de estações agrometeorológicas em terra e imagens orbitais tem sido utilizado para estudos de consumo e transferência de água em áreas agrícolas. O *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (SAFER) é um dos algoritmos possível de ser utilizado nestes estudos, todavia, ainda não foi utilizado em estudos de áreas urbanas com elevada refletância e assim, foi aplicado a este estudo que teve como objetivo avaliar as condições ambientais reinantes na cidade de São José do Rio Preto, Estado de São Paulo no dia 1 de agosto de 2014 (10h15min) em 30 áreas diferentes. Utilizando-se da imagem do satélite LANSAT 8 verificou-se que condomínios consolidados e com áreas verdes apresentaram menor temperatura em relação àqueles que possuem solo exposto e núcleo urbano próximo, com 26,3 °C de média em toda a área de interesse, com mínimo de 23,1 °C (mata remanescente) e máximo de 27,6 °C (solo exposto de condomínio em construção). A evapotranspiração atual nas áreas verdes chegou a representar 76,2% de todo volume de água evapotranspirado no condomínio, em 24% da área total, diminuindo a temperatura média em até 1,7 °C. O algoritmo SAFER se mostrou adequado para estudos ambientais também em núcleos urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: uso da água, condomínios, temperatura da superfície

¹ Graduanda em Agronomia, Área de Hidráulica e Irrigação, Bolsista PIBIC – CNPq, UNESP, Caixa Postal 34, CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP. Fone (18)37431959. e-mail: isabaesso@gmail.com

² Prof. Doutor, Área de Hidráulica e Irrigação, UNESP, Ilha Solteira, SP.

³ Doutorando em Agronomia, Área de Hidráulica e Irrigação, UNESP, Ilha Solteira, SP.

⁴ Pesquisador, EMBRAPA Monitoramento por Satélite, Campinas, SP.

ALGORITHM SAFER USE FOR ANALYSIS OF THERMAL COMFORT AND EVAPOTRANSPIRATION IN URBAN AREAS

ABSTRACT: The combined use of meteorological earth stations and satellite images has been used to study and consumption of water transfer in farm areas. The SAFER (Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration) is one of the algorithms can be used in these studies, however, it has not been used in studies of urban areas with high reflectance then it was applied to this study that aimed to assess the environmental conditions reigning in the city of São José do Rio Preto, São Paulo on August 1, 2014 (10h15min) in 30 different areas. Using the satellite image LANSAT 8 it was found that consolidated condominiums and green areas had lower temperature compared to those with bare soil and nearby urban core, averaging 26.3 °C throughout the area of interest, with a minimum of 23,1 °C (remaining forest) and maximum of 27,6 °C (bare soil construction in a condominium). Actual evapotranspiration in the green areas has come to represent 76.2% of all volume of water evapotranspirado in the condo, 24% of the total area, reducing the average temperature to 1,7 °C. The SAFER algorithm is adequate for environmental studies also in urban centers.

KEYWORDS: water use, condominiums, surface temperature

INTRODUÇÃO

O desafio das grandes cidades é que o crescimento e o desenvolvimento urbano proporcionem geração de riqueza, qualidade de vida e ambiental para seus atuais e futuros habitantes. Esse é o princípio do desenvolvimento sustentável, o qual estabelece o meio ambiente como ponto comum e de equilíbrio entre a tecnologia e o progresso, na escala onde a vida acontece: o espaço urbano (Shams et al., 2009).

Estudos relacionados a conforto térmico e formação de ilhas de calor em centros urbanos vêm sendo explorados cada vez mais por pesquisadores que buscam alternativas sustentáveis e viáveis para diminuição da temperatura devido ao aumento de telhados, materiais que refletem alta energia e solos impermeabilizados devido aos edifícios e pavimentação de ruas. Segundo Velho & Fonseca (2015) as modificações causadas pelo homem, no ambiente, afetam o balanço de energia, gerando as ilhas de calor, afetando a qualidade do ar que é impactada pela emissão de efluentes atmosféricos (Cleugh, 1995; Peng & Li, 2009).

Com o aumento da procura pelo bem estar térmico e visual do paisagismo, no Brasil construtoras cada vez mais investem em sistemas automatizados de irrigação por aspersão em

condomínios, sendo o modelo mais procurado o do tipo escamotável ou "pop-up" que tem como característica permanecer sob o solo quando desligado, não alterando os procedimentos para manutenção das áreas verdes, tampouco interferindo na paisagem. Ainda são raros os trabalhos no Brasil que evidenciam ou avaliam qual o alcance e durabilidade do conforto térmico proporcionado pela irrigação em áreas urbanas.

Este trabalho teve por objetivo avaliar em áreas verdes urbanizadas a aplicação do modelo *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (SAFER) visando o cálculo do conforto térmico e evapotranspiração.

MATERIAL E METÓDOS

São José do Rio Preto é a cidade mais populosa do noroeste paulista e é um município brasileiro pertencente à mesorregião e microrregião de mesmo nome. Segundo dados do IBGE o clima de São José do Rio Preto tem por característica um tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Rodrigues, 2012) e atualmente possui uma área territorial de 431,963 km² com densidade demográfica de 945,12 hab km⁻².

A identificação das áreas e a aplicação do modelo SAFER foram feitas através da imagem do Landsat 8 no dia 05 de agosto de 2014, com passagem às 10:15 a.m. Dados agrometeorológicos como temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar, precipitação foram obtidos através do Centro Integrado de informações agrometeorológicas (CIIAGRO), pertencente ao Instituto Agrônômico (IAC) e o cálculo da evapotranspiração de referência foi feita através do Software SMAI - Sistema para Manejo da Agricultura Irrigada (<http://clima.feis.unesp.br/smai>).

O algoritmo SAFER - (Teixeira, 2010 e Teixeira et al., 2012) é baseado na equação de Penman-Monteith para obter a evapotranspiração atual em larga escala. No SAFER a relação entre a evapotranspiração atual e a de referência (ET_a/ET_o) é modelada e não há a necessidade de se identificar os extremos representados pelos pixel frio e pixel quente e a implementação é baseada em Teixeira (2010), porém utilizando o coeficiente "a" no valor de 1,0 conforme os trabalhos de Hernandez et al. (2012) e Teixeira et al (2014).

O cálculo do desconforto térmico foi baseado em três indicadores, vale ressaltar que foram utilizados dados de temperatura máxima que ocorreu às 15h e o valor mínimo da umidade relativa do ar, provenientes de uma estação agrometeorológica situada na cidade de São José do Rio Preto para que o desconforto fosse representado da melhor forma possível.

As metodológicas aplicadas foram:

- Metodologia proposta por Giles et al. (1990) para a obtenção do índice de desconforto (ID):

$$ID = Ta - 0,55 * [(1 - 0,01 * UR) * (Ta - 14,5)] \quad (1)$$

em que,

Ta – temperatura do ar, °C

UR –umidade relativa, % (Santos et al., 2011)

- Missenard (1937) também encontrou a relação entre a temperatura do ar e umidade relativa do ar para o cálculo da Temperatura Efetiva (TE) (Ono e Kawamura,1991):

$$TE = Ta - 0,4 * [(1 - UR/100) * (Ta - 10)] \quad (2)$$

em que,

Ta - temperatura do ar, °C

UR - umidade relativa do ar, %, com sensação térmica apresentada na Tabela 3 (Santos et al., 2011).

- Um índice que além de depender da temperatura e umidade relativa do ar, é necessário a velocidade do vento. Este índice chama-se temperatura efetiva em função do vento (TEv), de acordo com Santos et al. (2011) e é encontrando em Suping et al. (1992):

$$TEv = 37 - (37 - Ta) (0,68 - (0,0014 * UR) + (1(1,76+1,4*V0,75))) - 0,29 * Ta *(1 - (UR/100)) \quad (3)$$

em que,

Ta - temperatura do ar, °C

UR- umidade relativa, %

V- velocidade do vento, m/s.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No índice de desconforto térmico proposto por Giles et al. (1990) a temperatura efetiva (TE) resultou em 24,0 °C, Gouvêa (2006) relata que a TE entre 18,0 °C e 24,0 °C pode provocar sensação de tempo agradável ou ainda levemente quente. Já no índice de desconforto (ID) de Missenard (1937) que correlacionou temperatura do ar com umidade relativa do ar determinou que outros 50% da população estavam sentindo calor.

Para Souza e Nery (2012) o intervalo entre 22,0 °C e 25,0 °C do TEv é considerado como termicamente confortável, valores abaixo de 22,0 °C correspondem a sensações que variam de ligeiramente fresco a muito frio e acima de 25,0 °C variam de ligeiramente quente a muito quente. O TEv encontrado para este dia foi superior a 31°C, sendo classificado como quente.

A área margeada na Figura 1 é o Residencial Quinta do Golfe da cidade de São José do Rio Preto que possui uma área irrigada de 13.433 m² e uma lâmina líquida de 3,60 mm dia⁻¹, o que mantém o ambiente confortável e o gramado bem apresentado, tendo em vista que a evapotranspiração atual encontrada para esta data foi de 2,02 mm dia⁻¹ no total (Irrigaterra – Projetos de Irrigação – Microaspersão – Gotejamento). O condomínio margeado é um exemplo de que a irrigação juntamente com a evapotranspiração da área verde inserida, pode ser um dos fatores que levou a diminuição de até 3,2 °C dentro de determinada área, causando conforto visual e térmico a seus moradores.

A vegetação possui uma importante função na melhoria e estabilidade microclimática devido à redução das amplitudes térmicas, redução da insolação direta, ampliação das taxas de evapotranspiração e redução da velocidade dos ventos (Milano & Dalcin, 2000). Labaki et al. (2011) mostrou que algumas espécies arbóreas que constituem a área verde, atenuam a radiação, resultando em taxas maiores de evapotranspiração que em paralelo a aplicação de água pela irrigação, diminui a temperatura do ar.

Ao correlacionar a temperatura de superfície e o uso e ocupação do solo, se encontro que os locais com menores temperaturas foram principalmente nas áreas de interesse, os condomínios (Figura 1 e 2).

Na Tabela 6, é possível verificar que nas áreas verdes houve uma diminuição do albedo quando comparado com a área do condomínio total. Ao mesmo tempo houve um aumento do NDVI, ETa e diminuição da temperatura.

CONCLUSÕES

O estudo possibilitou consolidar informações a respeito da interação positiva entre área verde e área urbana com auxílio de sistemas automatizados de irrigação nas áreas de lazer dentro de condomínios, melhorando o conforto térmico e visual.

O SAFER se mostrou adequado para estudos urbanos, permitindo a identificação e a quantificação do Albedo, NDVI, Temperatura de superfície e evapotranspiração atual, que permitiu visualizar a importância de áreas verdes na diminuição de zonas de calor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLEUGH, H. Chapter 13: Urban Climate. In: HENDERSON-SELLERS, A. Future climates of the world: a modelling perspective. Londres: Elsevier, 1995. Cap. 13, p. 477-514. (World Survey of Climatology Volume 16).
- GILES, B.D.; BALAFOUTIS, C.; MAHEROS, P. 1990. Too hot for comfort: the heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *Int. J. Biometeorol.*, v.34, p. 98-104. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01093455>
- GOUVÊA, M. L. Cenários de impacto das propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HERNANDEZ, F.B.T.; NEALE, C.M.U; TAGHVAEIAN, S. ; TEIXEIRA, A.H.C. Avaliação preliminar do modelo sebal para estimativa da distribuição espacial da evapotranspiração em áreas irrigadas no noroeste paulista. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2011, Curitiba - PR. SBSR. São José dos Campos - SP: INPE, 2011. v. XV. p. 5209-5213.
- IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. NOTA 1: Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2014 publicada no Diário Oficial da União em 28/08/2014.
- LABAKI et al. Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. Fórum Patrimônio: Mudanças climáticas e o impacto das cidades, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p.23-42, fev. 2011.
- MILANO, M. S. Planejamento e replanejamento de arborização de ruas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, v.2, 1987, Maringá. Anais... p. 1-8.
- ONO, H.S.P.; KAWAMURA, T. 1991. Sensible Climates in Monsoon Asia. *International Journal of Biometeorology*, Vol. 35, nº XX, p.39-47. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01040962>
- PENG, H.; LI, H. Application study of urban heat island effect in the Northwestern City based on MODIS. Urban Remote Sensing Event, 2009 Joint, 2009.
- RODRIGUES, M. C.; Bignonáceas de dezoito fragmentos florestais remanescentes no noroeste paulista, brasil. 2012. 127 p. Dissertação (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Botucatu. Disponível em:http://www.ibb.unesp.br/posgrad/teses/botanica_me_2012_marianna_rodrigues.pdf. Acesso em: 11 abr 2014.
- SANTOS, J. B.; AMORIM, R. F. C.; CAVALCANTE, La. P. A. Análise do conforto térmico humano no município de Arapiraca – Alagoas, utilizando software matlab. *Revista Brasileira*

de Geografia Física, Pernambuco, v. 7, n. 05, vol.07, n.05 (Número Especial-VIWMCRHPE), (2014) 939-948.

SHAMS, J.C.A.; GIACOMELI, D.C.; SUCOMINE, N.M.. Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos. Revsbau - Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba, v. 4, n. 4, p.1-16, 28 dez. 2009.

SOUZA, D. Moreira de; NERY, J. T. O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. Geografia, Londrina, v. 21, n. 2, p.65-83, mai/ago. 2012.

SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L. 1992. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. Int. J. Biometeorol., v. 36, p. 63-8. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01208915>

TEIXEIRA, A.H.C. 2010. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the são francisco river basin (brazil) using remote sensing and penman-monteith equation remote sensing, v.2, p.1287-1319.

TEIXEIRA, A.H.C.; SHERER-WARREN, M.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L. water productivity assessment by using modis images and agrometereological date in petrolina municipality, brazil.remote Sensing, Edinburgh, United Kingdom, v. 8531, p. 1-10, 2012.

TEIXEIRA, A.H.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L.; SHERER-WARREN, M.; BASSOI, L.H. A Comparative Study of Techniques for Modeling the Spatiotemporal Distribution of Heat and Moisture Fluxes in Different Agroecosystems in Brazil. In: George G. Petropoulos. (Org.). 1ed.Boca Raton, Florida, USA: CRC Group, Taylor and Francis, 2014, p.165-187.

VELHO, L. F; FONSECA, E. L. Distribuição de temperatura de superfície e sua relação com indicador socioeconômico – Porto Alegre/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2015, João Pessoa. Anais... João Pessoa: INPE, 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/indexaut.htm#letraL>. Acesso em: 15 mai 2015.

Tabela 1. Dados meteorológicos no dia 01 de Agosto de 2014 utilizados nos três índices

Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade do vento (m s ⁻¹)
30,5	24,2	2

Tabela 2. Interpretação dos valores do índice de temperatura efetiva (TE)

TE (°C)	Sensação Térmica
TE < 25	Limite para conforto com relação ao calor
25 ≤ TE < 29,2	Sensação de calor moderado

Tabela 3. Desconforto Térmico através da proposta de Giles (1990).

ID	INTERVALO
Bem estar	ID < 21
Menos de 50% da população possui um ligeiro desconforto	21 ≤ ID < 24
Outros 50% da população possui um crescente desconforto	24 ≤ ID < 27
A maioria da população possui um relativo desconforto e há significativo deterioramento da condição psicofísica	27 ≤ ID < 29
Todos possuem um forte desconforto	29 ≤ ID < 32
Estado de emergência médica, um desconforto muito forte	ID ≥ 32

Tabela 4. Índice de Temperatura Efetiva em função do vento (Santos et al., 2011)

TEv (°C)	Sensação Térmica
TEv < 13	Muito frio
13 ≤ TEv < 16	Frio
16 ≤ TEv < 19	Frio moderado
19 ≤ TEv < 22	Ligeiramente frio
22 ≤ TEv < 25	Confortável
25 ≤ TEv < 28	Ligeiramente quente
28 ≤ TEv < 31	Quente moderado
31 ≤ TEv < 34	Quente

Tabela 5. Resultados dos três índices para o dia 01 de Agosto de 2014:

ID (°C)	TE (°C)	TEv (°C)
24	25	32

Tabela 6. Dados extraídos das áreas de interesse que possuem vegetação no seu interior, no caso, condomínios irrigados e não irrigado.

Área verde do condomínio				Condomínio			
Albedo	NDVI	Temperatura	Eta	Albedo	NDVI	Temperatura	Eta
0.18	0.29	26.6	0.25	0.22	0.63	28.1	0.99
0.17	0.41	27.9	0.53	0.23	0.53	28.8	0.99
0.16	0.48	25.2	0.95	0.23	0.71	26.8	1.72
0.16	0.36	26.9	0.37	0.24	0.69	29.7	1.53
0.16	0.42	27.0	0.59	0.21	0.6	28.4	1.40
0.15	0.49	26.0	0.83	0.23	0.7	27.3	1.79
0.16	0.45	26.1	0.67	0.21	0.61	27.8	1.86
0.16	0.50	25.2	1.06	0.23	0.75	26.5	1.93
0.17	0.29	26.9	0.27	0.21	0.52	28.1	1.17
0.15	0.62	24.9	1.43	0.22	0.71	27.1	2.21
0.15	0.49	25.2	0.74	0.22	0.59	28.4	1.47
0.15	0.55	24.6	1.05	0.22	0.75	27.8	2.02

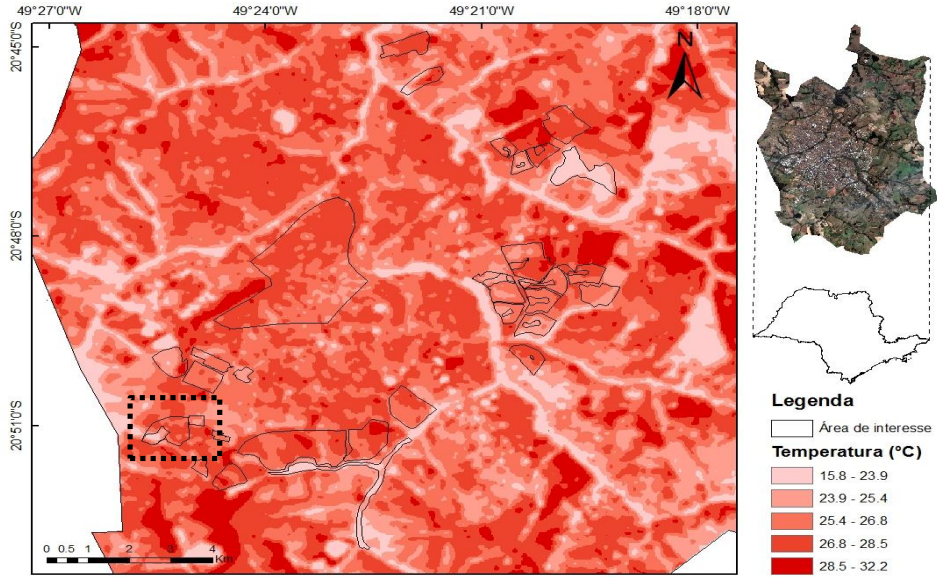


Figura 1. Temperatura de superfície da área de estudo.

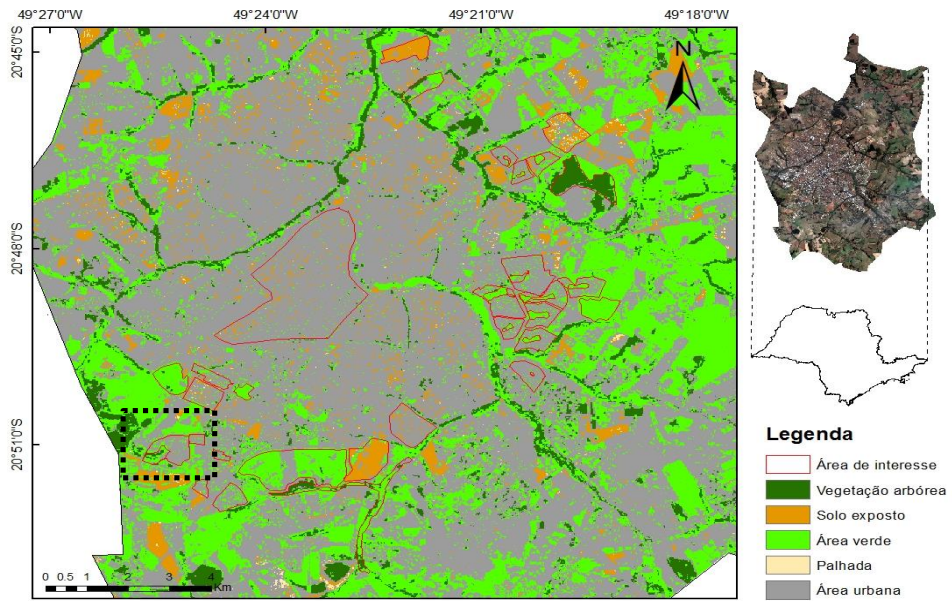


Figura 2. Mapa temático de uso e ocupação do solo