

Utilização de imagens do satélite Landsat 8 para a análise da emissividade e da temperatura de superfície da aglomeração urbana de Rennes (França)

Hiago Pereira Barbosa¹

Vincent Dubreuil¹

Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim²

¹ Universidade de Rennes II, LETG-Rennes-COSTEL
UMR 6554 CNRS

Caixa Postal 35000 - Place Recteur Henri le Moal - Rennes, França
hiagopb30@gmail.com; vincent.dubreuil@uhb.fr

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Presidente Prudente
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Grupo de Pesquisa
Interações na superfície, água e atmosfera (GAIA).
Rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente, SP, Brasil
mccta@fct.unesp.br

Abstract. This paper aims to analyze the emissivity and surface temperature for the agglomeration of Rennes, France. For this, two formulas of emissivity (estimated from the Normalized Difference Vegetation Index, NDVI data) were used and their results were compared. The estimation of surface temperature was conducted from the emissivity data obtained in the previous stage. The form of the surface heat island (SHI) varied according to the emissivity used and the season. We conclude that the two formulations can be used for calculating the surface temperature and that the vegetation and its water content was shown to be an important variable in the analysis emissivity and surface temperature in the temperate zone.

Palavras-chave: emissivity, surface temperature, Landsat 8, emissividade, temperatura de superfície, Landsat 8

1. Introdução

A teledetecção aplicada aos estudos do infravermelho térmico tem como base o princípio de que cada objeto ou superfície possuidor de uma temperatura acima do zero absoluto (0K) emite energia eletromagnética. Desta forma, os diferentes sensores acoplados nos satélites são capazes de detectar a energia emitida por uma superfície que varia em função de sua temperatura (Baptista, 2002).

Diferentes autores realizaram investigações a partir de imagens de satélite destinadas a estimação da temperatura de superfície e o estudo das ilhas de calor urbanas de superfície (Lombardo, 1985; Mendonça, 1994; Nichol, 2005; Martin, 2008; Amorim & Dubreuil, 2016). Alguns autores analisaram a temperatura de superfície e suas relações com as ilhas de calor em Rennes (Dubreuil et al., 2016; Quénoel et al., 2010; Amorim et al., 2009).

A temperatura de superfície dos alvos é uma medida indireta de temperatura que necessita de correções das propriedades radiativas da superfície (Voogt & Oke, 2003) e notadamente, a emissividade de superfície.

De acordo com Liu (2006) o desconhecimento dos valores de emissividade de uma superfície pode introduzir um erro significativo na estimação da temperatura de superfície. Diferentes estudos realizados em áreas da zona temperada mostram que o erro da estimativa da temperatura de superfície aumenta quando o valor de emissividade diminui (Dash et al., 2002; Schadlich et al., 2001 apud Liu, 2006).

Neste contexto, este artigo tem por objetivo analisar a emissividade e a temperatura de superfície obtidas a partir de imagens do satélite Landsat 8 para a aglomeração urbana de Rennes, para todas as estações do ano.

2. Metodologia de trabalho

A área de estudo compreende o município de Rennes e alguns municípios do entorno, todos localizados na região da Bretanha, no oeste da França conforme ilustrado na figura 1.

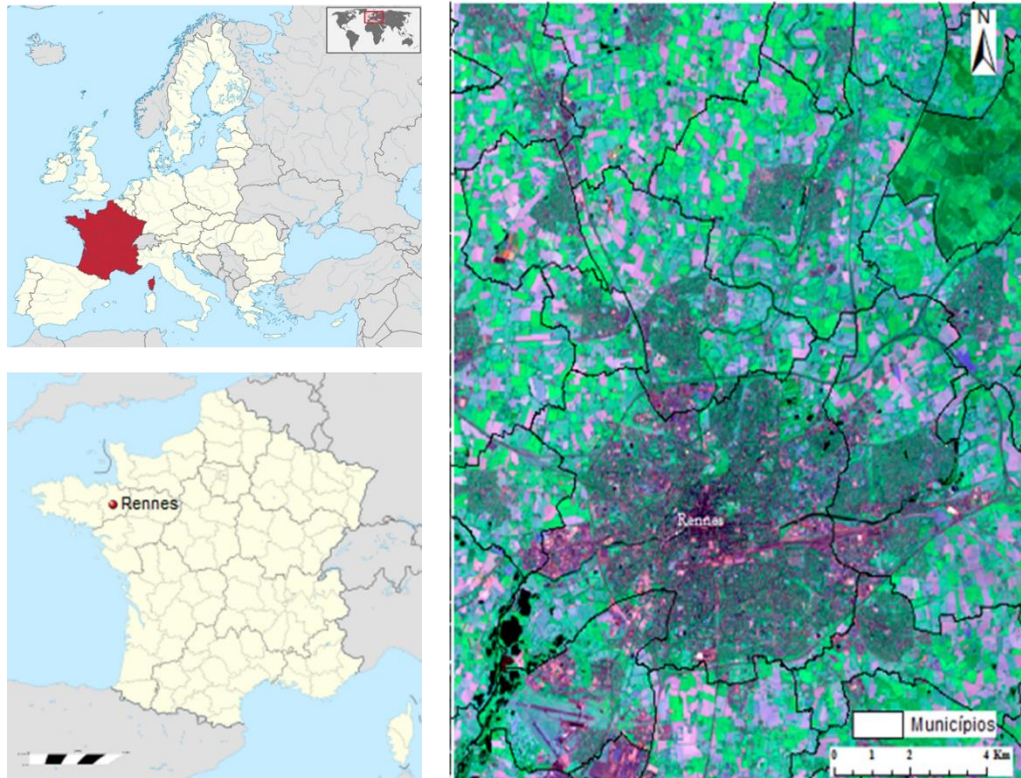


Figura 1. Localização da área de estudo e janela da área de estudo realizada a partir de composição colorida RGB (6, 5, 4) de falsa cor. Imagem do satélite Landsat 8 tomada no dia 8/07/2013.

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger a região faz parte do tipo climático temperado oceânico sem estação seca (Cfb). Os totais de precipitação são bem distribuídos durante todos os meses de ano, sendo raros os episódios de queda de neve. Para Rennes, a intensidade média da ilha de calor atmosférica pode atingir os 4°C em episódios de verão (Quénol et al., 2010) e as ilhas de calor de superfície são mais intensas para as imagens tomadas no verão (Dubreuil et al., 2016).

Para a geração das cartas de emissividade e temperatura de superfície, foram utilizados os produtos do satélite Landsat 8, órbita/ponto 201/27 de 1/02/2014, 9/04/2015, 8/07/2013 e 13/11/2013. Este satélite possui resolução temporal de 16 dias, resolução espacial de 15 a 100 metros dependendo da banda, com passagem no horário de 10h59 UTC na área de estudo. As imagens foram baixadas no site do *EarthExplorer*¹ e são disponibilizadas em UTM 30 N e datum WGS 84.

Para o cálculo da emissividade de superfície, as fórmulas de Vand de Griend e Owe (1993) e de Xiaolei et al. (2014) foram utilizadas. Os primeiros procedimentos realizados foram as correções atmosféricas de radiância e reflectância. Em seguida, os cálculos do índice de vegetação e de emissividade foram efetuados.

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) foi elaborado para reduzir os efeitos de iluminação, sombra, atenuação atmosférica e variação topográfica (Huete et al., 2002). O *Vegetation Fraction* (VF) é extraído do índice de NDVI e utilizado para estimar os valores

¹ Imagens disponíveis para *download* no site: <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

médios da quantidade de vegetação de uma determinada área a partir dos valores mínimos, máximos e absolutos do NDVI.

$$NDVI = \frac{\text{banda do infravermelho próximo} - \text{banda do vermelho}}{\text{banda do infravermelho próximo} + \text{banda do vermelho}} \quad (1)$$

$$VF = \left(\frac{NDVI - NDVI \text{ min}}{NDVI \text{ max} - NDVI \text{ min}} \right)^2 \quad (2)$$

Os valores estipulados são 0,2 e 0,5 para NDVI min e NDVI max, respectivamente. Este cálculo é realizado após correções atmosféricas nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho.

Para a fórmula de Van de Griend e Owen (1993) o índice de vegetação NDVI é realizado e inserido nos cálculos de emissividade. Nesta fórmula utiliza-se uma correlação empírica entre emissividade e NDVI obtidos em campo.

Para $NDVI < \text{ou} = 0,24$, considerado como solo nu, $\varepsilon = 0,94$.

$$NDVI > 0,24 \quad \varepsilon = 1,0094 + 0,047 \ln NDVI \quad (3)$$

Para a fórmula proposta por Xiaolei et al. (2014) utiliza-se apenas a banda do vermelho para o cálculo da emissividade. Os índices de NDVI e FV são apenas utilizados de forma indireta para a verificação dos valores médios de solo nu e vegetação. Para um pixel considerado solo nu ($FV = 0$), quando $NDVI < 0,2$. Nestas circunstâncias, a emissividade pode ser estimada de forma empírica a partir da banda do vermelho.

$$\varepsilon \text{ banda } 10 \text{ Landsat } 8 = 0,973 - 0,047 * \text{ banda do vermelho} \quad (4)$$

Em seguida, o cálculo da temperatura de superfície foi realizado a partir de fórmulas disponibilizadas no site do USGS². Estes procedimentos contemplaram uma correção atmosférica a partir de cálculos dos valores de transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida. Os valores de emissividade utilizados foram inseridos a partir dos resultados obtidos na fase anterior de acordo com as duas fórmulas utilizadas.

As temperaturas de superfície dos alvos obtidas foram convertidas para graus Celsius (°C) com a subtração do valor da temperatura do ponto de congelamento da água ao nível do mar, ou seja, 273, 15 graus Kelvin (K).

Estes cálculos foram realizados com auxílio da função *Image Calculator* presente no *software* TerrSet³.

3. Discussão dos resultados

3.1 Emissividade de superfície

Conforme a figura 2, para as quatro datas analisadas, a emissividade de superfície apresenta valores mais elevados para as áreas com presença de vegetação, seja esta abundante ou não. Os valores mais baixos são encontrados nas áreas urbanizadas e nas superfícies constituídas de solos nus.

Os resultados dos cálculos de emissividade realizados a partir da fórmula de Van de Griend e Owen (1993) mostram valores mais baixos de emissividade para as imagens tomadas em

² Informações disponíveis no site: http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php.

³ Marca registrada *Clark Labs*.

fevereiro e abril. Tal fato é explicado pela menor presença ou inexistência de vegetação no inverno e na transição para a primavera, que se traduz por uma menor eficiência de absorção de ondas longas (no infravermelho térmico) para estas épocas do ano. No verão, a massa vegetativa é mais importante e proporciona um aumento nos valores de emissividade. Estes valores apresentam uma nova queda a partir da mudança de estação para o outono representada pela imagem de novembro.

Nota-se uma diferença mais significativa para as classes de 0,942 à 0,949, de 0,986 à 0,992 e de 0,993 à 1. Esta diferença é explicada pela presença de vegetação mais abundante ou não para a área de estudo, conforme explicitado anteriormente. Estas diferenças são mais visíveis para a imagem de julho.

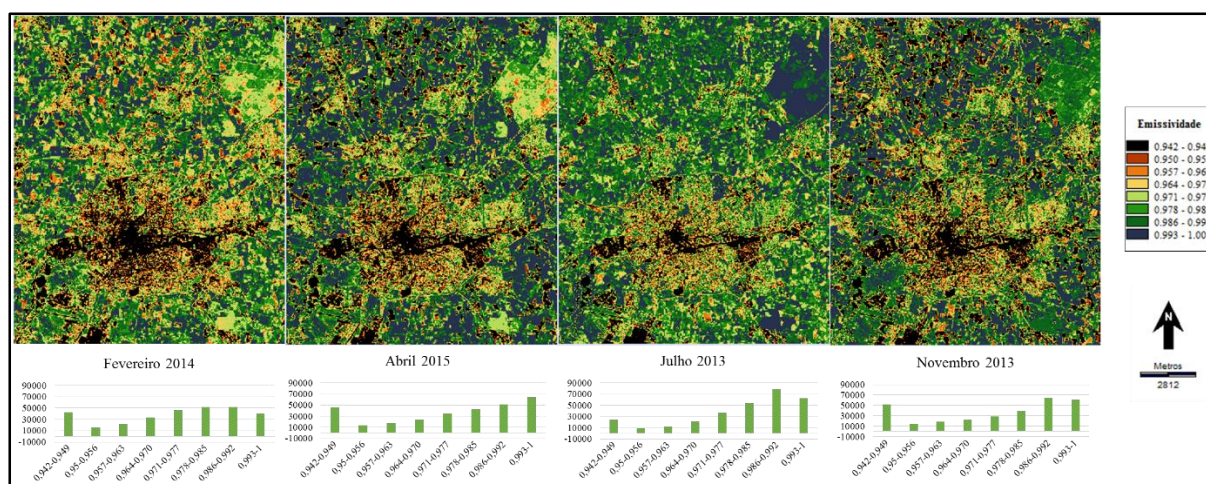


Figura 2. Emissividade de superfície da área de estudo estimada a partir da fórmula de Van de Griend e Owen (1993) para as datas representativas de todas as estações do ano. Gráfico com os valores de frequência por pixel separados por diferentes classes de emissividade para as quatro datas analisadas.

Na figura 3 são apresentados os valores de emissividade estimados a partir da fórmula de Xiaolei et al. (2014). Os valores mais elevados são encontrados nas áreas com cobertura vegetal em diferentes estados biofísicos. Os valores mais baixos são encontrados nas áreas urbanizadas, vias de circulação e solos nu.

Ainda é possível observar que os resultados obtidos através desta fórmula de emissividade são mais homogêneos do que aqueles encontrados na outra fórmula. Essas menores diferenças entre as diferentes classes de emissividade podem ser explicadas pelo fato de se utilizar apenas a banda do vermelho para o cálculo da emissividade, enquanto que a inserção das bandas do NDVI tendem a propiciar um aumento na heterogeneidade da superfície.

Na banda espectral do vermelho, há alta absorção de energia solar devido à presença de pigmentos da folha (clorofila por exemplo) e isso ocasiona baixa reflectância.

É possível observar no gráfico da figura 3, que para a classe de 0,967 à 0,969 nas imagens de abril e de julho os valores são mais elevados, enquanto que para a classe de 0,970 à 0,973 nas imagens de fevereiro e novembro os valores são mais elevados. Este fato é explicado por uma menor absorção de energia (alta reflectância) pelas folhas secas (fevereiro e novembro) e por uma maior absorção de energia (baixa reflectância) pelas folhas verdes (abril e julho) na banda espectral do vermelho, ocasionando desta forma, uma inversão dos valores.

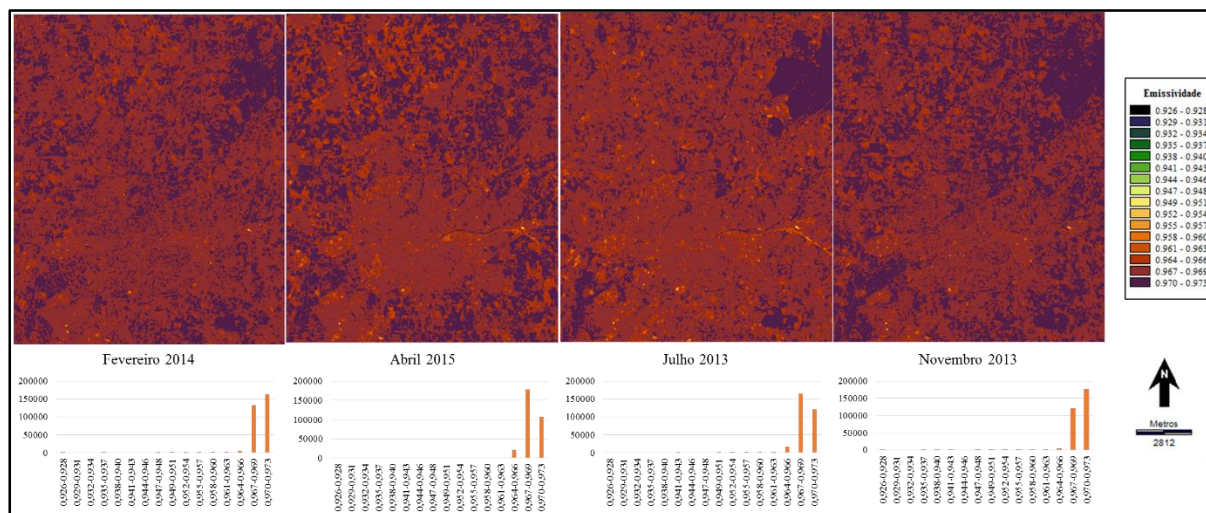


Figura 3. Emissividade de superfície da área de estudo estimada a partir da fórmula de Xiaolei et al. (2014) para as datas representativas de todas as estações do ano. Gráfico com os valores de frequência por pixel separados por diferentes classes de emissividade para as quatro datas analisadas.

É importante ressaltar que outros estudos e medidas obtidas em campo devem ser realizados em diferentes estações do ano a partir de diferentes dados de satélite para que se possa avançar na discussão sobre cálculos de emissividade. É notório que estes cálculos são apenas aproximativos (Bariou, 1997). Além do mais, Liu (2006) afirma que a estimativa de emissividade via satélite é muito complexa, porque é difícil de separar os efeitos das condições atmosféricas na obtenção desta variável.

3.2 Temperaturas de superfície

A estimativa das temperaturas de superfície para as datas representativas das quatro imagens são apresentadas na figura 4. É notável a diferença na espacialização dos valores de temperatura de superfície estimados pelas diferentes fórmulas de emissividade para cada imagem.

A inserção do NDVI na fórmula de emissividade proporciona uma melhor representação do fenômeno de ilha de calor de superfície, mostrando o desenho das temperaturas intraurbanas e urbanas-rurais de forma mais nítida. Neste caso, observa-se um aumento de resolução espacial no campo térmico, de 100 para 30 metros, resultante da inserção das bandas do NDVI (bandas 4 e 5) no cálculo da temperatura de superfície (banda 10).

No caso da inserção apenas da banda do vermelho (banda 4) no cálculo da emissividade, as diferenças entre os gradientes da temperatura de superfície são mais discretas e homogêneas, sobretudo para as imagens representativas do inverno e do outono.

Um dos fatores determinantes da emissividade de superfície é a vegetação e seu conteúdo em água. No verão, a maior presença de vegetação permite uma troca de calor entre as superfícies e a atmosfera mais eficiente e perceptível a partir das imagens de satélite. No inverno, a baixa presença ou até mesmo a ausência de vegetação gera um efeito contrário.

Desta forma, a vegetação determina o desenho das temperaturas de superfícies, sobretudo em áreas situadas na zona temperada, onde a mudança das estações do ano afeta de maneira importante o estado de vida da vegetação.

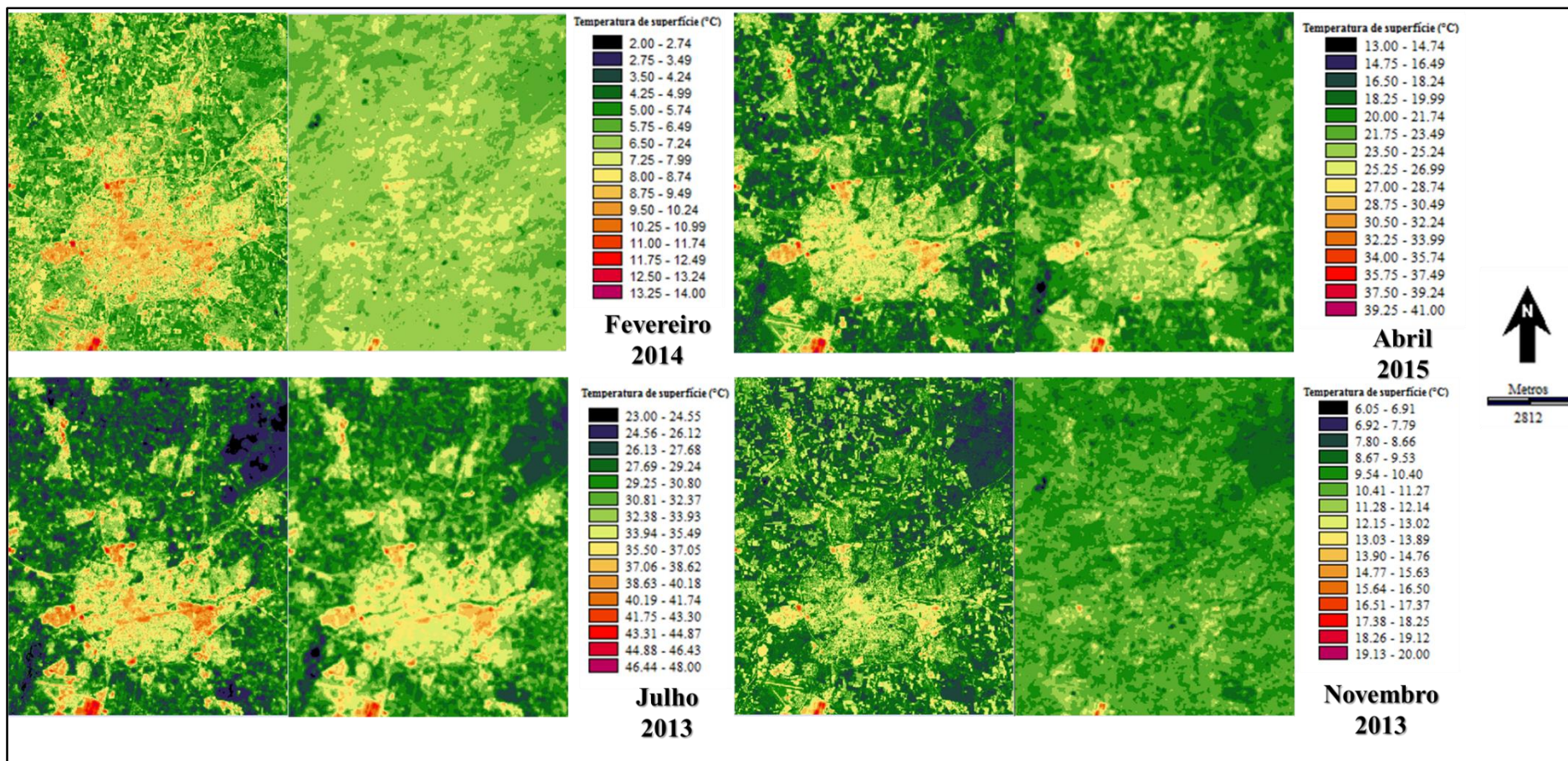


Figura 4. Temperaturas de superfície estimadas a partir dos índices de emissividade de Van de Griend e Owen (1993) (imagens da esquerda) e de Xiaolei et al. (2014) (imagens da direita) para as quatro datas analisadas

Os valores absolutos mínimos e máximos das temperaturas de superfície e suas diferenças para cada imagem são apresentados na tabela 1. Os valores mais elevados foram encontrados para as temperaturas de superfícies estimadas a partir da fórmula de emissividade proposta por Van de Griend e Owen (1993). Nota-se que as diferenças nas temperaturas de superfície mínimas são mais baixas nas imagens representativas de inverno e de outono. Já para as temperaturas de superfície máximas, os valores não apresentam diferenças significativas nas diferentes imagens representativas das quatro estações do ano. No campo das temperaturas médias, os valores não apresentam diferenças significativas entre si e estes são mais elevados para a TST com emissividade proposta por Xiaolei et al. (2014).

Tabela 1. Valores absolutos mínimos e máximos de TST (Temperatura de Superfície Terrestre) e suas diferenças, em °C, para as quatro imagens analisadas.

Data de tomada das imagens	TST com emissividade extraída de Van de Griend e Owen	TST com emissividade extraída de Xiaolei et al. (2014)	Diferenças de TST
1/02/2014	TST mínima: 2,5°C	TST mínima: 2,3°C	TST mínima: 0,2°C
	TST média: 6,5°C	TST média: 6,8°C	TST média: 0,3°C
	TST máxima: 13,1°C	TST máxima: 11,4°C	TST máxima: 1,7°C
9/04/2013	TST mínima: 13,9°C	TST mínima: 13,4°C	TST mínima: 0,5°C
	TST média: 21,5°C	TST média: 22°C	TST média: 0,5°C
	TST máxima: 40,2°C	TST máxima: 38,2°C	TST máxima: 2°C
8/07/2013	TST mínima: 23,8°C	TST mínima: 23°C	TST mínima: 0,8°C
	TST média: 30,5°C	TST média: 31,4°C	TST média: 0,9°C
	TST máxima: 47,8°C	TST máxima: 45,7°C	TST máxima: 2,1°C
13/11/2013	TST mínima: 6°C	TST mínima: 6°C	TST mínima: 0°C
	TST média: 10,1°C	TST média: 10,4°C	TST média: 0,3°C
	TST máxima: 19,2°C	TST máxima: 17,2°C	TST máxima: 2°C

4. Conclusões

A vegetação e seu conteúdo em água são variáveis importantes e influentes nos valores de emissividade de superfície. Nestas duas variáveis, as mudanças estacionais influenciam a distribuição da emissividade de maneira a determinar a forma espacial da ilha de calor de superfície conforme apresentado neste artigo.

A estimativa de emissividade proposta por Van de Griend e Owen (1993) apresenta valores mais altos se comparados com aqueles da fórmula de Xiaolei et al. (2014). Para a primeira fórmula, a distribuição dos valores é mais importante devido a inserção do NDVI. Tal fato não acontece na utilização da segunda fórmula, pois apenas a banda do vermelho é inserida no cálculo de emissividade.

As duas fórmulas são apropriadas para o estudo da temperatura de superfície estimada a partir do Landsat 8. A fórmula proposta por Van de Griend e Owen (1993) é mais indicada para as análises individuais sobre a forma da ilha de calor urbana superficial. A fórmula proposta por Xiaolei et al. (2014) é mais indicada para as análises multitemporais, pois apresenta mudanças mais fiéis na forma da ilha de calor superficial nas diferentes estações do ano em uma área localizada na zona temperada.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP),

processos de número 2014/16350-3 e 2015/50439-4, e ao *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS), projeto SPRINT 2016/267012, pelo apoio financeiro.

Referências

- Amorim, M. C. C. T.; Dubreuil, V. As diferenças das temperaturas dos alvos diagnosticadas por meio de imagens termais do satélite Landsat 8 em período seco e chuvoso em ambiente tropical. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica (SBCG), 2016, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Gráfica UFG, 2016. v. 1. p. 1034-1046. Online ISBN: 978-85-495-0083-0. Disponível em: <[http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20\(28\).pdf](http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20(28).pdf)> Acesso em: 29 out. 2016.
- Amorim, M. C. C. T.; Dubreuil, V.; Quérol, H.; Sant'anna Neto, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins [Online]**, v. 7, 16 p., 2009. Disponível em: <<http://confins.revues.org/index6070.html>> Acesso em: 27 out. 2016.
- Baptista, G. M. de M. Sensores Imageadores na Faixa Termal (8 - 14 μm). In: Meneses, P. R.; Almeida, T. de. (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UnB/CNPq, v. 1, p. 47-56, 2012.
- Dubreuil, V.; Barbosa, H. P.; Foissard, X.; Amorim, M. C. C. T. Utilização de imagens infravermelhas do satélite Landsat para cartografar a ilha de calor urbana em Rennes – França. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica (SBCG), 2016, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Gráfica UFG, 2016. v. 1. p. 1695-1705. Online ISBN: 978-85-495-0083-0. Disponível em: <[http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20\(76\).pdf](http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20(76).pdf)> Acesso em: 29 out. 2016.
- Huete, A. R.; Didan, K.; Shimabukuro, Y. E.; Ratana, P.; Saleska, C. R.; Hutyrá, L. R.; Yang, W.; Nemani, R. R.; Myneni, R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 6, 2006. 4 p.
- Liu, W. T. H. Balanço de energia da superfície terrestre In: Liu, W. T. H. (Org.) **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. cap. 8, p.
- Lombardo, M. A. **Ilha de Calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Editora Hucitec, 1985. 244 p.
- Martin, P. **Analyse diachronique du comportement thermique de Montréal en période estivale de 1984 à 2005**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade do Québec, Montreal. 2008.
- Mendonça, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR**. 1994. 300 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1994.
- Nichol, J. Remote sensing of urban heat islands by day and night. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 71, n. 5, p. 613–621, 2005.
- Quérol, H.; Dubreuil, V.; Mimet, A.; Pellissier, V.; Aguejda, R.; Clergeau, P.; Bridier, S. Climat urbain et impact sur la phénologie végétale printanière. **La Météorologie**, v. 68, p. 50-57, 2010.
- Van de Griend, A. A.; Owe, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 14, n. 6, p. 1119-1131, 1993.
- Voogt, J. A.; T. R. Oke. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, p. 370-384, 2003.
- Xiaolei, Y.; Xulin, G.; Zhaocong, W. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method. **Remote Sensing**, vol. 6, p. 9829-9852, 2014.