

ANÁLISE SAZONAL DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DO ESTADO DE SANTA CATARINA ENTRE OS ANOS DE 2000 E 2010

B. Ferreira, D. M. Zimmermann, L. C. Crispim, M. F. Flach, C. A. O. Vieira

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Comissão IV - Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens

RESUMO

A análise das temperaturas superficiais com o uso do sensoriamento remoto e de técnicas de processamento digital de imagens tem demonstrado um papel importante nas discussões acerca das mudanças climáticas. Recentemente, com o estabelecimento da plataforma *Google Earth Engine* (GEE), considerada atualmente uma das mais avançadas para processamento de dados geoespaciais em “nuvem”, é possível realizar análises temporais de forma mais rápida e eficiente. Deste modo, este trabalho tem como objetivo analisar as variações sazonais das temperaturas superficiais terrestre do estado de Santa Catarina no período compreendido entre 2000 e 2010. Tal análise foi realizada através da plataforma GEE, onde foram comparadas imagens entre estações climáticas opostas (verão e inverno) utilizando imagens do sensor MODIS/TERRA. Os resultados das análises apontam a eficácia do método de estudo por intermédio do GEE, como uma ferramenta de processamento de imagens em um curto espaço de tempo e demonstra de modo efetivo as variações das temperaturas superficiais para o período de análise no estado de Santa Catarina, quando se analisa as variáveis intrínsecas, relevo, clima, áreas construídas, vegetação.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Google Earth Engine, Análise Temporal, Temperatura Superficial.

ABSTRACT

The surface temperatures analysis using remote sensing and digital image processing has been shown to play an important role in climate change discussions. Nowadays, after the establishment of the Google Earth Engine (GEE) platform, currently considered one of the most advanced geospatial data processing in the “cloud”, is possible to perform temporal analyzes faster and more efficiently. In this way, the aim of this paper is to analyze seasonal variations of terrestrial surface temperatures of the state of Santa Catarina in the period between the years of 2000 and 2010. This analysis was performed through the GEE platform, where images were compared between seasons of the year with maximum and minimum temperatures, using images of the MODIS/TERRA. The results of the study indicate the efficacy of the GEE study method as an image processing tool in a short period of time and effectively demonstrate variations in surface temperatures for the period of analysis in the state of Santa Catarina, Brazil, when analyzing the intrinsic variables, such as topography, climate, built-up areas, vegetation.

Keywords: Remote Sensing, Google Earth Engine, Temporal Analysis, Surface Temperature.

1- INTRODUÇÃO

Nos últimos anos as técnicas de Sensoriamento Remoto vêm se destacando como uma ferramenta de grande importância no monitoramento de diversos fenômenos meteorológicos e climatológicos. A principal vantagem do Sensoriamento Remoto está no mapeamento de grandes e pequenas áreas com diferentes resoluções espaciais e temporais. Tal técnica permite melhorar a compreensão sobre o comportamento de variáveis climáticas: temperatura de superfícies, fluxo de calor,

balanço de energia e evapotranspiração, tornando possível o monitoramento do espaço temporal dos recursos hídricos e ocupação do solo, em diferentes biomas (Silva et al., 2015).

As informações sobre a temperatura superficial são obtidas por meio do sensoriamento remoto (Jensen, 2009). O calor interno dos alvos é convertido em energia radiante, e para a maior parte dos alvos existe uma alta correlação positiva entre a temperatura cinética verdadeira do alvo e o fluxo radiante vindo dos mesmos. Sendo assim, a

temperatura de superfície, diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai do alvo, importante para a compreensão das interações entre a atmosfera e a superfície terrestre.

A plataforma orbital TERRA faz parte do programa da NASA denominado *Earth Observing System* (EOS), é uma missão multinacional que tem como principal objetivo contribuir para pesquisas sobre a dinâmica atmosférica global e suas interações com a superfície terrestre e oceano. A bordo do satélite TERRA estão os sensores MODIS, ASTER, CERES, MISR e MOPITT. O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um dos cinco instrumentos do satélite TERRA que visualiza toda a superfície da Terra a cada 1-2 dias, com uma varredura de 2.330 km (swath), adquirindo dados em 36 bandas espectrais distintas (NASA, 2017a).

Estudos buscam entender o impacto gerado pelo tipo de cobertura e uso do solo sobre o balanço energético local e regional, uma vez que, o balanço de radiação é controlado por diferentes elementos, entre os quais se destacam o tipo de cobertura e a existência de água que afetaram os fluxos de calor sensível e latente. Em se tratando de longos períodos de análise, o balanço energético influenciado pela cobertura do solo, acaba por se tornar uma das principais dificuldades de estudo, porém, com o estabelecimento da plataforma *Google Earth Engine* (GEE), estas dificuldades podem ser transpostas, pois, permite analisar longas séries temporais em pouco tempo (Bourscheidt, 2017).

O GEE é uma plataforma que possui escala planetária, reunindo mais de 40 anos de imagens de satélite em todo o mundo, fornecendo ferramentas com alta capacidade computacional para analisar e extrair informações, com servidores oferecidos pela própria plataforma (Cayo e Chaves, 2017).

Assim, este trabalho tem como objetivo analisar as variações sazonais das temperaturas superficiais terrestre do estado de Santa Catarina, entre os anos de 2000 e 2010, e avaliar a eficácia da plataforma GEE.

2- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado de Santa Catarina (SC) está localizado entre os estados do Paraná ao norte, e Rio Grande do Sul ao sul, fazendo fronteira internacional na extremidade ocidental, com a República da Argentina. Geograficamente encontra-se entre as latitudes 26°00'S a quase 30°00'S, e longitudes 48°30'O a quase 54°00'O. O Estado constitui a menor porção político territorial do mosaico regional Sul do Brasil, possuindo uma área de 95.985 km², correspondente a apenas 1,12% da área brasileira e 16,61% da região Sul (Agudo-Padrón, 2008).

Santa Catarina está dividida em 6 mesorregiões (Figura 1), das quais possuem

similaridades geográficas, econômicas e sociais, sendo essas: Grande Florianópolis, Norte Catarinense, Oeste Catarinense, Serrana, Sul Catarinense e Vale do Itajaí.

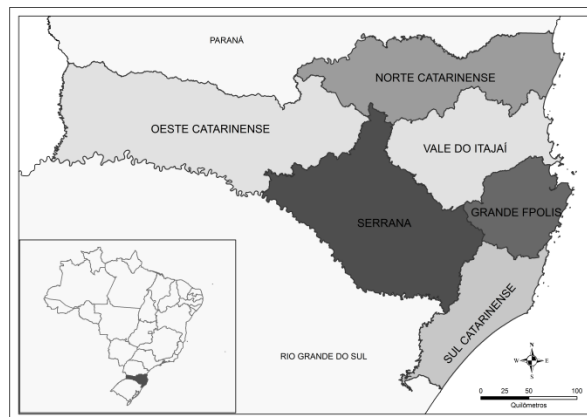
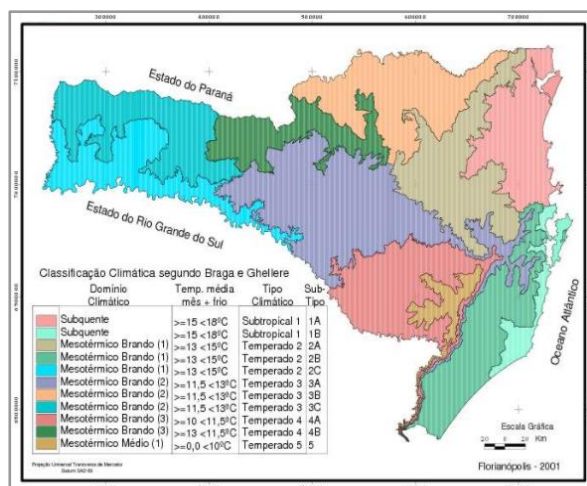


Fig. 1 - Mapa das Mesorregiões de Santa Catarina. Fonte: Elaborado pelos autores.

Segundo Pandolfo e Braga (2002) a classificação climática de KÖPPEN foi modificada por Braga e Guellere (1999), que divide o Estado de Santa Catarina em 5 domínios climáticos, sendo: subquente, mesotérmico brando 1, mesotérmico brando 2, mesotérmico brando 3 e mesotérmico médio. O autor ainda apresenta um subdomínio climático (super úmido) e 5 tipos climáticos (subtropical, temperado 1, temperado 2, temperado 3 e temperado 4 (Figura 2). Braga e Guellere (1999) afirmam que, o Tipo Climático Subtropical, apresenta temperatura média nos meses mais frios (junho/julho) entre 15 e 18°C; o Tipo Climático Temperado (1), entre 13 e 15°C; o Temperado (2), entre 11,5 e 13°C; o Temperado (3), entre 10 e 11,5°C; e o Temperado (4), entre 0,0 e 10°C.



a baixa extensão latitudinal do seu território. Tais variações são consequências dos diversos sistemas atmosféricos que nele atuam, associados às diferenças de altitude existentes entre o Planalto e regiões circunvizinhas (Monteiro, 2001).

São diversos fatores, macro e micro, que atuam para as variações das temperaturas superficiais. As áreas povoadas, especialmente as áreas urbanas, podem gerar um aumento significativo da temperatura superficial, em relação a outras áreas que não dispõem de tantas construções, indústrias, pavimentações. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) entre os anos de 2000 e 2010 a população catarinense aumentou aproximadamente 16,65%, passou de 5.356.360 hab. em 2000, para 6.248.436 hab. em 2010. Esse aumento populacional, também incide, de certo modo, no aumento de área (m²) de construções.

As áreas agrícolas representam uma porção menor, mas também tem seu papel no aumento das temperaturas superficiais. Segundo o censo agropecuário realizado pelo IBGE em 2006, aproximadamente 61,22% do uso e cobertura do solo do Estado é utilizado para atividades agrícolas.

3- METODOLOGIA

Para análise das temperaturas de superfície foram utilizadas imagens do satélite MODIS/ TERRA, (produto MOD11 – 1 km, diária), entre os anos de 2000 e 2010, que englobam a área do estado de Santa Catarina.

Os procedimentos para a geração dos resultados foram desenvolvidos fundamentalmente, através da plataforma *Google Earth Engine* (GEE), ferramenta *Code Editor*. Tal plataforma pode ser acessada através de uma API (*Application Programming Interface*), para codificação Javascript e permite o desenvolvimento de algoritmos e processamento online, com a realização de operações pixel-a-pixel para um conjunto gigantesco de informações, utilizando os servidores da Google para processamento dos dados (Bourscheidt, 2017).

Para extrair os valores de temperatura com menor influência da atmosfera, e também para associar de forma mais adequada as variações de emissividade da superfície, foi utilizado um algoritmo (proposto por Ceccato et al., 2016), com adaptações que envolveram os interesses de análise do presente artigo.

As informações sobre temperatura foram extraídas do produto MOD11 (MODIS/TERRA), considerada uma variável chave para descrever diversos processos da superfície terrestre (Running et al., 1994). Tal variável utiliza os dados dos níveis 2 e 3 com o algoritmo *Land Surface Temperature* (LST) e a emissividade recuperados dos dados do TERRA/MODIS, com resoluções espaciais de 1km e 5km da superfície terrestre em condições atmosféricas adequadas (NASA, 2017b).

A implementação do código foi realizada na ferramenta *Code Editor*, com os seguintes procedimentos: a- Escolher a área de estudo; b- Coletar as bandas e converter de graus Kelvin para Celsius; c- Selecionar as datas; d- Criar a representação em gráficos para cada mesorregião; e- Definir a posição e adicionar ao mapa as informações de temperatura, compondo uma média de todos os anos, para visualização com paleta de cores em JavaScript.

```
1 //choose state using GEE feature collection
2 var region = ee.FeatureCollection('Terra/2000MOD11/2000-10-01/2010-10-31');
3 var regOC = region.filter(ee.Filter.eq('name', 'OESTE CATARINENSE'));
4 var regNC = region.filter(ee.Filter.eq('name', 'NORTE CATARINENSE'));
5 var regSC = region.filter(ee.Filter.eq('name', 'SERRANA'));
6 var regVI = region.filter(ee.Filter.eq('name', 'VALE DO ITAJAI'));
7 var regGF = region.filter(ee.Filter.eq('name', 'GRANDE FLORIANOPOLIS'));
8 var regSC = region.filter(ee.Filter.eq('name', 'SUL CATARINENSE'));
9 print(region);
10 //collect bands and scale
11 var images = ee.ImageCollection('MODIS/MOD11A2').select(['LST_Day_1km']);
12 var images = images.map(function(img) {
13   return img.multiply(0.02).subtract(273.15).copyProperties(img, {'system:time_start',
14     'system:time_end'});
15 });
16 //Select dates
17 var collectionYears = ee.ImageCollection(images.filterDate('2000-01-01', '2010-12-31'));
18 var clipOC = collectionYears.mean().clip(regOC);
19 var clipNC = collectionYears.mean().clip(regNC);
20 var clipSC = collectionYears.mean().clip(regSC);
21 var clipVI = collectionYears.mean().clip(regVI);
22 var clipGF = collectionYears.mean().clip(regGF);
23 var clipSC = collectionYears.mean().clip(regSC);
24 //Print "average" lat., clipOC;
25 var count = regOC.size();
26 print('Count: ', count);
27 //Charts Long Term Time Series
28 var chartOC = Chart.image.series(collectionYears, regOC, ee.Reducer.mean(), 1000,
29   'system:time_start').setOptions({
30     title: 'Série temporal de temperaturas na região Oeste Catarinense (2000-2010)',
31     axes: {title: 'Tempo (dia, mês, ano)',
32       YAxis: {title: 'Temperatura (Celsius)'},
33     });
34 print(chartOC);
35 var chartNC = Chart.image.series(collectionYears, regNC, ee.Reducer.mean(), 1000,
36   'system:time_start').setOptions({
37     title: 'Série temporal de temperaturas na região Norte Catarinense (2000-2010)',
38     axes: {title: 'Tempo (dia, mês, ano)',
39       YAxis: {title: 'Temperatura (Celsius)'},
40     });
41 print(chartNC);
42 var chartSC = Chart.image.series(collectionYears, regSC, ee.Reducer.mean(), 1000,
43   'system:time_start').setOptions({
44     title: 'Série temporal de temperaturas na região Serrana (2000-2010)',
45     axes: {title: 'Tempo (dia, mês, ano)',
46       YAxis: {title: 'Temperatura (Celsius)'},
47     });
48 print(chartSC);
49 var chartVI = Chart.image.series(collectionYears, regVI, ee.Reducer.mean(), 1000,
50   'system:time_start').setOptions({
51     title: 'Série temporal de temperaturas na região Vale do Itajaí (2000-2010)',
52     axes: {title: 'Tempo (dia, mês, ano)',
53       YAxis: {title: 'Temperatura (Celsius)'},
54     });
55 print(chartVI);
56 var chartGF = Chart.image.series(collectionYears, regGF, ee.Reducer.mean(), 1000,
57   'system:time_start').setOptions({
58     title: 'Série temporal de temperaturas na região Grande Florianópolis (2000-2010)',
59     axes: {title: 'Tempo (dia, mês, ano)',
60       YAxis: {title: 'Temperatura (Celsius)'},
61     });
62 print(chartGF);
63 var chartSC = Chart.image.series(collectionYears, regSC, ee.Reducer.mean(), 1000,
64   'system:time_start').setOptions({
65     title: 'Série temporal de temperaturas na região Sul Catarinense (2000-2010)',
66     axes: {title: 'Tempo (dia, mês, ano)',
67       YAxis: {title: 'Temperatura (Celsius)'},
68     });
69 print(chartSC);
70 //Set Center of Map & Add Clipped Image Layer
71 Map.setCenter(-50, -26, 7); //long, lat, zoom
72 Map.addLayer(clipOC, {min: 0, max: 40, palette: '0000ff,32c432,ffff00,ff0000,ff0000'}, 'OESTE CATARINENSE');
73 Map.addLayer(clipNC, {min: 0, max: 40, palette: '0000ff,32c432,ffff00,ff0000,ff0000'}, 'NORTE CATARINENSE');
74 Map.addLayer(clipSC, {min: 0, max: 40, palette: '0000ff,32c432,ffff00,ff0000,ff0000'}, 'SERRANA');
75 Map.addLayer(clipVI, {min: 0, max: 40, palette: '0000ff,32c432,ffff00,ff0000,ff0000'}, 'VALE DO ITAJAI');
76 Map.addLayer(clipGF, {min: 0, max: 40, palette: '0000ff,32c432,ffff00,ff0000,ff0000'}, 'GRANDE FLORIANOPOLIS');
77 Map.addLayer(clipSC, {min: 0, max: 40, palette: '0000ff,32c432,ffff00,ff0000,ff0000'}, 'SUL CATARINENSE');
```

Fig. 3 - Ilustração do Algoritmo adaptado de Ceccato et al. (2016), para as mesorregiões de SC entre 2000-2010. Disponibilização do script no Github: <<https://github.com/arabrabgeo/averageGEE>>; Disponibilização do mapa no CodeEditor (GEE): <<https://code.earthengine.google.com/8ab15010f8bf89f632ef25043c1a87a5>>.

4- ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O resultado final do processamento do algoritmo foram 6 gráficos para cada mesorregião, respectivamente: Grande Florianópolis, Vale do Itajaí, Serrana, Norte Catarinense, Oeste Catarinense e Sul Catarinense.

Cada gráfico contém informações de tempo (dia, mês, ano) no eixo X e de temperatura (°C) no eixo Y. A temperatura é dada pela média mínima e máxima, considerando a resolução espacial de 1 km (diária), para o período do ano de 2000 a 2010 (Figura 4).

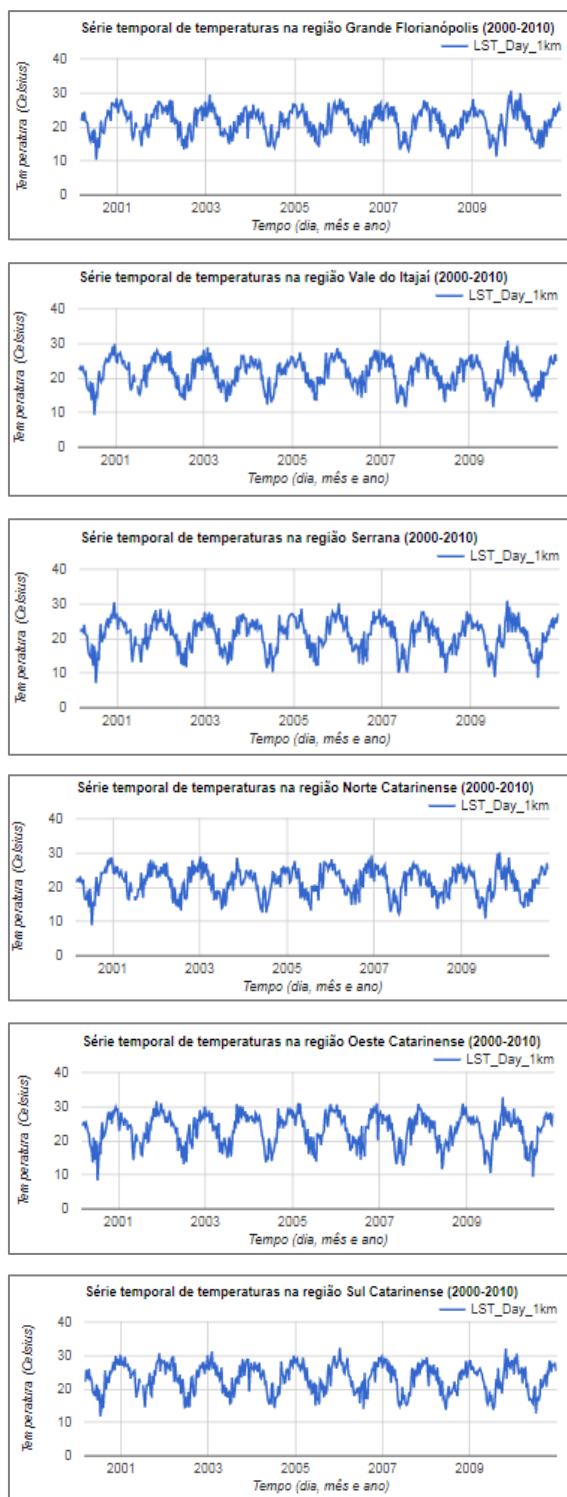


Fig. 4 - Coleção de gráficos gerados, representando as temperaturas médias, mínimas e máximas, entre os anos 2000 e 2010, de cada mesorregião de SC.

Com o resultado dos gráficos, gerou-se um mapa com as médias das temperaturas de todos os anos (Figura 5), onde as temperaturas máximas e mínimas são representadas por tons quentes e frios, respectivamente. As áreas que ressaltam tons avermelhados representam as áreas urbanas dos municípios de Santa Catarina.

Cabe salientar que o Estado conta com 295 municípios, conforme IBGE em 2017, sendo que das 10 cidades mais populosas do Estado (Pereira, 2011), 8 delas estão na região litorânea, e compreendidas em 4 mesorregiões: Sul Catarinense, Grande Florianópolis, Vale do Itajaí e Norte Catarinense; e 2 delas estão na região central e oeste do Estado, em 2 mesorregiões: Serrana e Oeste Catarinense.

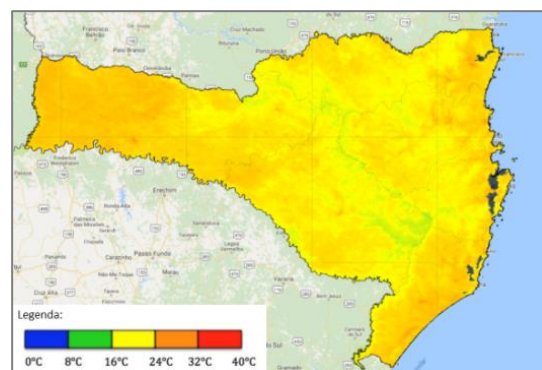


Fig. 5 - Mapa de temperatura média das mesorregiões de SC, entre 2000 e 2010.

Em ordem decrescente de temperatura estão as áreas urbanas, seguidas das áreas industriais e, por fim, as áreas rurais, com atividades agrícolas que também contribuem para as alterações das temperaturas superficiais. As áreas com as menores temperaturas são as áreas com maiores altitudes, entre 500 - 800 metros, especialmente na Serra Geral e Serra do Mar, entre 1.200 - 1.800 metros.

A relação com o clima também foi analisada, o mapa caracteriza de maneira aproximada o estudo climatológico de Braga e Guellere (1999), tendo o litoral e oeste mais quentes e a região central com temperaturas mais amenas.

A partir do resultado dos gráficos, foram verificados os valores mínimos e máximos de temperatura no período correspondente ao estudo, para análise sazonal.

TABELA 1 - TEMPERATURAS MÍN. E MÁX. SAZONAIS DAS MESORREGIÕES DE SC, ENTRE 2000 E 2010.

Mesorregião	Tempo (dia, mês e ano)	Temp. Média Mín. (°C)	Tempo (dia, mês e ano)	Temp. Média Máx. (°C)
Grande Florianópolis	11 Jul. 2000	10,3	17 Nov. 2009	30,7
Vale	11 Jul. 2000	9,3	17 Nov. 2009	30,8
Serrana	11 Jul. 2000	7,1	01 Nov. 2009	30,9
Norte Catarinense	11 Jul. 2000	8,9	17 Nov. 2009	30,2
Oeste Catarinense	11 Jul. 2000	8,3	01 Nov. 2009	32,8
Sul Catarinense	11 Jul. 2000	11,8	09 Jan. 2006	32,3

Os valores mínimos de temperatura são em Julho de 2000, na estação do inverno, e os valores máximos de temperatura (maior parte) ocorreram em Novembro de 2009, na estação da primavera.

5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos estudos realizados para o presente artigo, entende-se que os resultados das análises apontam eficácia do método na plataforma GEE, tida como uma ferramenta de alta capacidade de processamento em tempo reduzido. Assim como, demonstram efetivamente as variações das temperaturas superficiais para o período de análise em Santa Catarina, considerando a geografia regional.

Considerou-se que as maiores temperaturas superficiais estejam alocadas sobre as áreas com maior adensamento urbano, e que as áreas dos planaltos apresentam maior variação das temperaturas superficiais, devido aos fatores altitude e clima.

Ao se comparar o espaço urbano com o espaço rural, acredita-se que o espaço rural apresenta temperaturas superficiais mais amenas, uma vez que, o aquecimento da superfície está diretamente relacionado com as propriedades térmicas da cobertura espacial.

Observou-se que a plataforma GEE é realmente uma ferramenta inovadora para processamento de dados, que permite análises multitemporais e espaciais de uma forma rápida e eficiente.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer o apoio do colega Soltan Galano Duverger, doutorando na Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agudo-Padrón, A.I.; 2008. Vulnerabilidade da rede hidrográfica do Estado de Santa Catarina, SC, ante o avanço invasor do Mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei*. Revista Discente Expressões Geográficas pp. 75-103.

Braga, H. J.; R. Ghellere, 1999. Proposta de diferenciação climática para o Estado de Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia. Florianópolis, SC. CD-ROM.

Bourscheidt, V.; 2017. Análise de tendência da temperatura de superfície a partir de imagens Landsat 5: contribuições da plataforma Google Earth Engine. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pp. 7401–7407.

Cayo, E.Y.T.; J.M. Chaves, 2017. Google Earth Engine como herramienta de detección de cambios espaciales e multitemporales: Caso glaciar Quelccaya, Perú. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pp. 6710–6716.

Ceccato, P.; V. Pietsch e Y.J. Chen, 2016. Google Earth Engine: MODIS Land Surface Temperature

(LST) Training. IRI, Earth Institute, Columbia University.

Horowitz, F.G.; 2015. MODIS Daily Land Surface Temperature Estimates in Google Earth Engine as an Aid in Geothermal Energy Siting. Proceedings World Geothermal Congress, pp. 19-25.

Jensen, J. R.; 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Parêntese, São Paulo, São Paulo, 672 páginas.

Monteiro, M.A.; 2001. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. Geosul, Vol. 16, Nº 31, pp. 69–78.

NASA, 2017a. MODIS: Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer Disponível em: <<https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/modis>> Acesso em: 20 ago 2017.

NASA, 2017b. LST: Land Surface Temperature and Emissivity Disponível em: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/dataproducts.php?MOD_NUMBER=1> Acesso em: 20 ago 2017.

Pandolfo, C.; H.J. Braga, V.P. Silva Júnior, A.M. Massigman, E.S. Pereira, V.M.R. Thomé e F.V. Valci, 2002. Atlas climatológico digital do estado de Santa Catarina. CD-Rom. Florianópolis: Epagri.

Silva, A.M.; R.M. Silva e B.B. Silva, 2015. Determinação de Temperatura da Superfície e Estimativa do Saldo de Radiação e Evapotranspiração Usando Imagens Landsat e Dados Observados. Revista Brasileira de Cartografia, Vol. 67/6, pp. 1203–1216.

Trentin, R.; F. Deppe, M. Lohmann e J. Grassi, 2011. Análise comparativa da temperatura de superfície MODIS e temperatura do ar em diferentes situações no estado do Paraná. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE pp.7745

Pereira, R.M.F.A.; 2011. Expansão urbana e turismo no litoral de Santa Catarina: o caso das microrregiões de Itajaí e Florianópolis. Revista Internacional de Desenvolvimento Local, Vol. 12, Nº 1, pp. 101-111.