

MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL (TSC) COM IMAGENS TERMAIS DO SENSOR ASTER EM EPISÓDIOS DE INVERNO E VERÃO NA ÁREA DE PLANEJAMENTO 3 (AP-3) DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Randy Rodrigo Gonçalves dos Santos¹

Isabela de Almeida Herbst²

Andrews José de Lucena¹

Vitor Fonseca Vieira Vasconcelos de Miranda³

1. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Departamento de Geografia - Rio de Janeiro, RJ, Brasil (randy_fd1@hotmail.com; lucenageo@yahoo.com.br)

2. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Cartográfica - Departamento de Engenharia - Rio de Janeiro, RJ, Brasil (isadealmeidah@gmail.com)

3. Universitat de València - València, Espanha - Instituto Português do Mar e da Atmosfera-IPMA, Lisboa, Portugal. (vitormiranda91@yahoo.com.br)

RESUMO

A Área de Planejamento 3 (AP-3) da cidade do Rio de Janeiro é uma das áreas mais urbanizadas da cidade, tornando-a propícia a diversos problemas ambientais, dentre eles a ilha de calor urbana. Este trabalho visa mapear a Temperatura de Superfície Continental (TSC) em um episódio de verão e inverno na AP-3 e identificar diferenças de TSC entre os dois períodos e observar quais os locais mais quentes e mais frescos. A análise será realizada por meio das imagens do sensor ASTER, que está a bordo do Satélite TERRA, a partir do produto da Temperatura Cinética da Superfície (ASTER L2 Surface Kinetic Temperature). Os resultados mostram grande diferença da TSC entre os dois episódios (Verão e Inverno), entretanto, os locais mais quentes são muito semelhantes, o que revela o papel do uso do solo urbano no mapa da temperatura.

Palavras-chave: Temperatura da Superfície Continental; Ilha de Calor Urbana; Sensor do satélite Aster; cidade do Rio de Janeiro, Uso do solo.

ABSTRACT

The Planning Area 3 (AP-3) of the city of Rio de Janeiro is one of the most urbanized areas of the city, making it prone to several environmental problems, including the urban heat island. This work aims to map the Land Surface Temperature (LST) in a summer and winter episode at AP-3 and identify TSC differences between the two periods and observe which are the hottest and coolest locations. The analysis will be carried out through the images of the ASTER sensor, which is on board the TERRA Satellite, from the product of the Surface Kinetic Temperature (ASTER L2 Surface Kinetic Temperature). The results show a great difference in TSC between the two episodes (Summer and Winter), however, the hottest places are very similar, which reveals the role of urban land use in the temperature map..

Keywords: Land Surface Temperature; Urban Heat Island; Aster Satellite Sensor, Rio de Janeiro city, land use.

INTRODUÇÃO

O espaço urbano nas últimas décadas tem se ampliado em muitas áreas, que antes se encontrava com uma menor concentração de pessoas e construções, com o passar do

tempo foram aumentando e se aglomerando cada vez mais. Uma paisagem que sofreu a intervenção humana, a cada ação do homem vai se distanciando cada vez mais da sua paisagem natural, por consequência, as áreas urbanas são o fruto da relação homem-natureza que resulta na modificação da paisagem e configuração do espaço urbano.

São exemplos peculiares de paisagens transformadas, sujeitas a diversas situações que envolvem problemas ambientais, a saber, movimentos de massas, enchentes e inundações, poluição da água e do ar, extremos térmicos e pluviométricos, entre outros (LUCENA, 2012). Com todas as modificações sofridas, o espaço que foi transformado e as pessoas que estão vivendo ou circulando por ele, são severamente afetadas com os impactos ambientais que aumentam de proporção conforme as modificações vão ocorrendo. Dessa forma, o espaço urbano se transforma no centro dos estudos da relação sociedade e natureza em suas diversas abordagens, tal qual a climatologia busca em seus estudos explicar as interações dos fenômenos climáticos com o meio terrestre e humano, com foco na evolução e espacialização dos fenômenos atmosféricos com a superfície do planeta.

As ilhas de calor urbana são formadas entre áreas urbanas e suburbanas porque muitos materiais de construção comuns absorvem e retêm mais energia do que materiais naturais, como em áreas rurais menos urbanizadas (GARTLAND, 2010). Esta é a realidade de muitos bairros das grandes cidades do Brasil, principalmente nas periferias, que concentram altas temperaturas. A influência do tipo de paisagem determina alterações significativas no albedo, nos fluxos de calor latente e sensível e na turbulência da atmosfera (PIELKE e AVISSAR, 1990), uma vez que a temperatura da superfície é determinada pelos balanços de radiação e energia, pela radiação de ondas curtas vindas do Sol e também pelo tempo de exposição da superfície em relação a esses fluxos.

O estudo desse tema se torna importante, devido à preocupação com seus impactos negativos na vida das pessoas, principalmente as que residem nos locais onde tendem a ter temperaturas da superfície extremas. As ilhas de calor urbana não causam apenas pequenos desconfortos, suas temperaturas mais elevadas e a falta de sombra, em conjunto com o seu papel no aumento da poluição do ar têm sérios efeitos sobre a mortalidade e a saúde da população (GARTLAND, 2010).

O uso do sensoriamento remoto para os estudos de mapeamento da temperatura da superfície continental tem crescido nas últimas décadas. Cada imageamento do sensor cobre uma área espacial específica, permitindo a quantificação da mudança do ambiente ao longo do tempo (LUCENA, 2012), com isso se torna um método essencial para a identificação e quantificação da evolução da temperatura da superfície

continental em determinado local. Pode-se definir Sensoriamento Remoto como a ciência e a técnica de obtenção de dados ou coleta de informações à distância, através do uso de sensores, os quais podem ser aéreos ou espaciais (WAGNER, 2004).

O Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) é um instrumento de imagem a bordo do Terra, o principal satélite do Earth Observing System (EOS) da NASA lançado em dezembro de 1999. O ASTER é um esforço cooperativo entre a NASA, o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI) e Japan Space Systems. O sensor ASTER é um instrumento de alta resolução espacial a bordo do satélite TERRA, com resolução espacial entre 15 e 90m e é constituído por três subsistemas de imageamento independentes, responsáveis por coletar diversas porções do espectro eletromagnético, sendo elas: a região do espectro visível (VIS), infravermelho próximo (IVP), infravermelho de ondas curtas e infravermelho termal (IVT).

Com 4 bandas espectrais na região do infravermelho termal, o ASTER é o primeiro sensor orbital que nos fornece imageamento multiespectral termal no período diurno e noturno, na área de interesse ocorre por volta de 13h (1PM) e 1h (1AM) respectivamente. Além da quantidade de bandas, o que torna as imagens ASTER ideais para este tipo de estudo é o fornecimento gratuito das imagens previamente tratadas e produtos prontos, como é o caso da TSC.

A Área de Planejamento 3 (AP-3) da cidade do Rio de Janeiro (Figura 1) reúne toda a Zona Norte, com exceção de São Cristóvão e a Grande Tijuca, e conta com 80 bairros, subdivididos em 7 Regiões de Planejamento (Data Rio), sendo elas Ramos, Méier, Madureira, Inhaúma, Penha, Pavuna e Ilha do Governador e 13 Regiões Administrativas que concentram aproximadamente 1.182.000 de habitantes (Data Rio, 2018). É uma área altamente habitada, com a presença de grandes comunidades e vias de alto fluxo de veículos. Local de uma intensa urbanização, propício às altas temperaturas da superfície continental, uma vez que apresentam características que são comuns à presença das ilhas de calor urbano e conseqüente alta de temperatura.

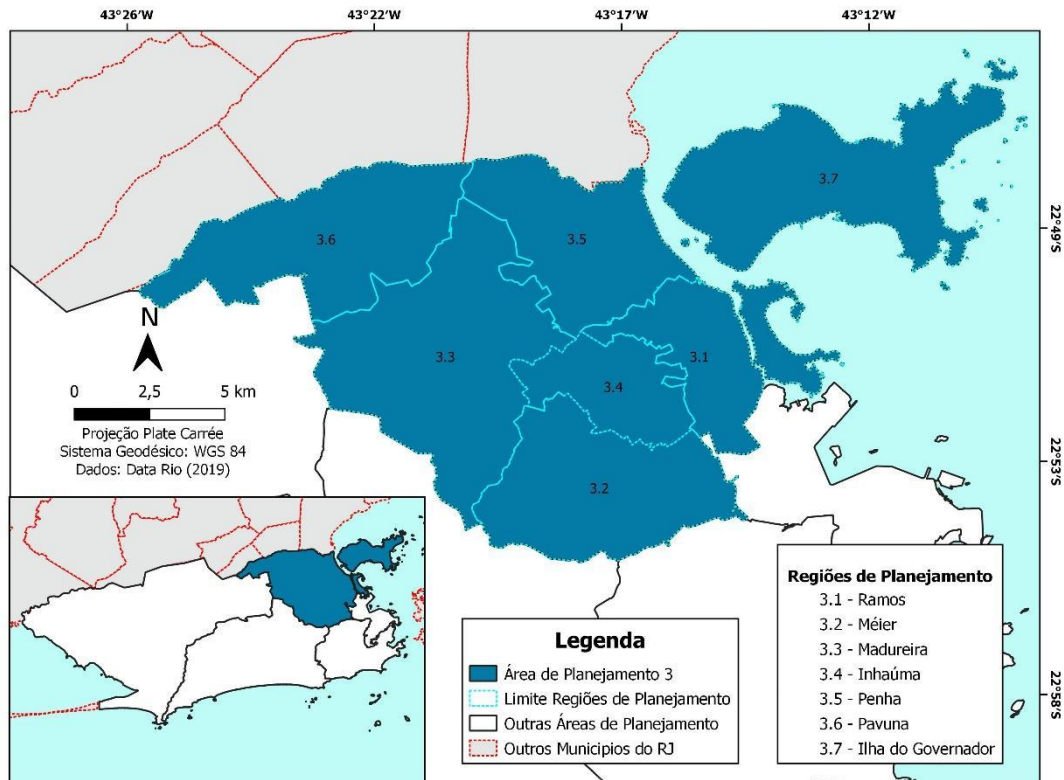


Figura 1. Área de Planejamento 3 do Rio de Janeiro. Fonte: Data Rio (2019)

Neste contexto, o objetivo do trabalho é mapear a temperatura da superfície continental (TSC) na Área de Planejamento 3 da cidade do Rio de Janeiro em um episódio de inverno e verão e ranquear os bairros mais quentes e os mais frescos. Após este ranqueamento, pretende-se indicar os espaços de origem da ilha de calor urbana na Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro e analisar a diferença da temperatura da superfície continental entre esses dois episódios, Inverno e Verão.

METODOLOGIA

A metodologia dessa pesquisa optou pela análise de duas amostras sazonais de imagens de anos diferentes, do produto AST_08 L2 Surface Kinetic Temperature V003 do sensor ASTER, que é referente a temperatura cinética da superfície do planeta. A amostra do período do verão, que compreende entre os dias 21 de dezembro e 21 de março, foi uma imagem tomada dia 07 de fevereiro de 2010 às 13h09. A amostra do período de inverno, que compreende do dia 21 de junho até 21 de setembro, é uma imagem do dia 10 de julho de 2019 às 13h09.

A escolha dessas amostras, com 9 anos de diferença, se deu por conta do funcionamento da órbita Polar e Heliosíncrona do satélite TERRA, que diferente de outros satélites, como por exemplo o LANDSAT, que fornece um imageamento do terreno por varredura em linha (line-scanner), o imageamento do sensor ASTER se dá

de forma não linear, resultando assim em imagens que nem sempre vão passar pelo mesmo local após uma captura. Além disso, o ASTER não opera 100% do tempo fazendo aquisição de dados, o tempo de imageamento é compartilhado com os outros 4 sensores, entre os quais o mais popular é o MODIS; do período orbital total de cerca de 98 minutos da plataforma Terra, um máximo de 16 minutos é disponível à aquisição de dados ASTER (INPE, 2017).

O ASTER apresenta uma varredura de 60km e resolução temporal de 16 dias, com pixel de 90m no Infravermelho Termal (TIR). O produto utilizado na metodologia é do AST_08, que é gerado utilizando cinco bandas do infravermelho termal dando o produto da temperatura cinética de superfície, entre a faixa espectral de 8 e 12 μm , que contém temperaturas da superfície com resolução espacial de 90m somente para as áreas terrestres (ASTER WEB, 2021) como mostra a Figura 2.

Radiometer	Band	Wavelength (μm)	Spatial resolution	Quantum number
VNIR	1	0.52 - 0.60	15 m	8 bits
	2	0.63 - 0.69		
	3N	0.78 - 0.86		
	3B	0.78 - 0.86		
SWIR	4	1.600 - 1.700	30 m	8 bits
	5	2.145 - 2.185		
	6	2.185 - 2.225		
	7	2.235 - 2.285		
	8	2.295 - 2.365		
	9	2.360 - 2.430		
TIR	10	8.125 - 8.475	90 m	12 bits
	11	8.475 - 8.825		
	12	8.925 - 9.275		
	13	10.25 - 10.95		
	14	10.95 - 11.65		

Figura 2. Comprimento de onda das bandas do sensor ASTER. Fonte: Mundo GEO (2009)

A aquisição de dados do ASTER se difere de outros satélites como o LANDSAT e o SPOT por não ser sistema comercial, portanto, a solicitação de imagens é realizada por meio de projetos de aplicação de dados que podem ser submetidos por qualquer pessoa, empresa ou instituição através do ERSDAC (Earth Remote Sensing Data Analysis). Para obter essas imagens foi necessário acessar o site da NASA Earth Search, plataforma de aquisição de dados, e fazer a busca pelos produtos do ASTER L2 Surface Temperature V003, utilizando o código C1299783630-LPDAAC_ECS exibido na Figura 3, disponível na aba de catálogos do Earth Data.

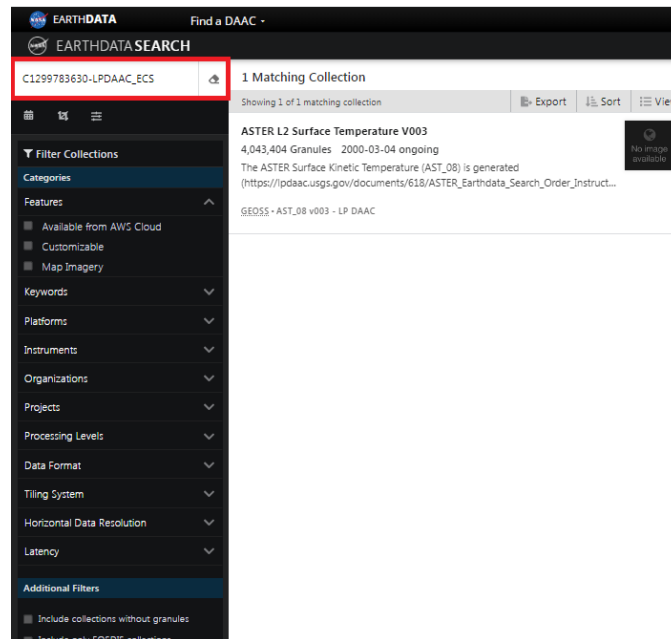


Figura 3. Acesso ao produto ASTER L2 Surface Temperature V003. Fonte: Earth Search (2022)

Após acessar os dados do produto ASTER L2 Surface Temperature, a plataforma oferece alguns meios de filtrar a área desejada para coletar dados (Figura 4). No caso desse trabalho, para conseguirmos filtrar todas as imagens que fizeram um scanner sobre a nossa área de estudo, a Área de Planejamento 3, foi adicionado à plataforma o shapefile em formato KML (Keyhole Markup Language) com a limitação da área desejada. Com ênfase no período diurno, foi selecionado a opção “Dia”, para que somente as imagens diurnas fossem exibidas e a cobertura de nuvens com o máximo 10%, a fim de que fossem descartadas imagens que as nuvens pudessem atrapalhar o imageamento da área pretendida, neste caso a AP-3.

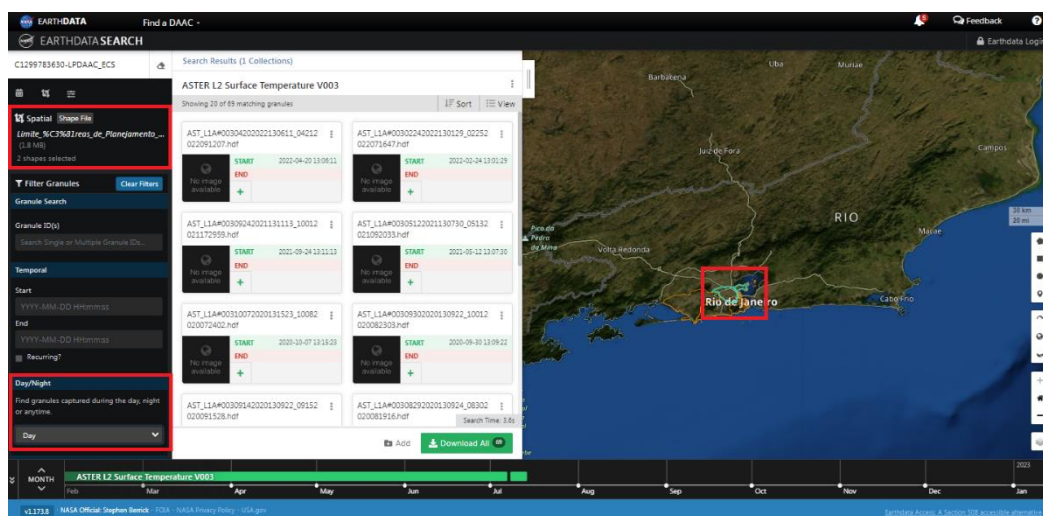


Figura 4. Filtragem para aquisição de dados. Fonte: Earth Search (2022)

Após selecionar as imagens dos períodos desejados, foi feita a solicitação através da opção download e as imagens foram enviadas ao e-mail cadastrado na plataforma, que não é um processo tão demorado. A imagem é enviada em formato GeoTIFF e partir disso começamos as etapas de correção dos pixels da imagem por meio de programação em código, no programa Spyder disponível na biblioteca do Anaconda, que é uma distribuição das linguagens de programação Python e R para computação científica, que visa simplificar o gerenciamento e implantação de pacotes (Anaconda Distribution).

Utilizando a rotina exibida na figura 5, transformamos os valores dos pixels em valores em graus Celsius para facilitar a análise e compreensão do mapa estando no sistema utilizado no Brasil. As transformações a serem realizadas na imagem são disponibilizadas no ASTER Data Product User Guide V3, segundo o mesmo, o valor do pixel deve ser multiplicado por 0,1 e devem ser excluídos os valores *outliers*, obtendo o produto em Kelvin para aplicar à fórmula $K - 273,15 = ^\circ C$, para nos apresentar o valor do pixel em graus Celsius.



Figura 5. Rotina de correção dos pixels. Fonte: elaboração própria no Python.

Após as etapas de correção da imagem, as mesmas são processadas no Software QGIS, no qual foi definida a escala de temperatura, cálculo da média e máxima temperatura entre os bairros utilizando a ferramenta de Estatísticas Zonais e realizar a análise dos espaços mais quentes e mais frescos da área destinada ao estudo.

RESULTADOS

Foram obtidos dois mapas temáticos como resultado dos processos. Observando o mapa de verão, o primeiro fator de impacto a notar é que na amostra do dia 10/02/2010 às 13h09 a TSC apresentou variações entre 31°C e 64°C ao longo da extensão da Área de Planejamento 3 (Figura 6). Há espaços em que a TSC registra uma diferença alta com outros espaços bem próximos, ao lado, o que revela o papel das áreas com uma

maior densidade de construções e a proximidade com rodovias/avenidas/ruas de grande movimento.

O maior destaque nas imagens, foram os espaços entre os bairros do Cachambi, Inhaúma, Del Castilho e Todos os Santos, que apresentaram locais com TSC acima dos 55°C, com pico localizado no Norte Shopping, onde foi registrado 64°C sendo considerado o local mais quente dessa amostra de verão. LUCENA (2012) também identifica essas áreas como locais de TSC elevadas e faz importantes observações sobre a paisagem da Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro, atravessada por ferrovias e vias de destaque, como a avenida Brasil, a Linha Vermelha, a rodovia Washington Luiz e a rodovia Presidente Dutra, sustentando os espaços de calor com TSC bem elevadas.

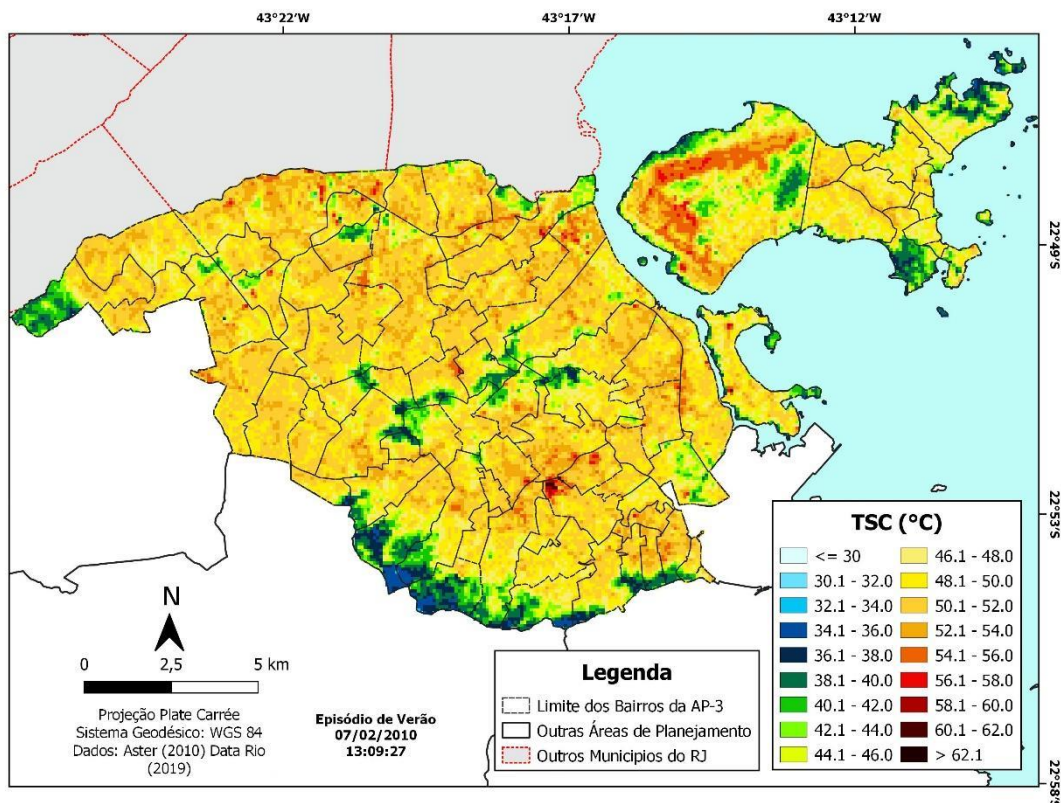


Figura 6. Temperatura da Superfície Continental no episódio de Verão. Fonte: ASTER

Analisando a amostra de Inverno, com escala para a TSC diferente ao verão (Figura 7), nota-se que ao comparar com a imagem de Verão, os locais mais quentes são, em quase todos os casos, os mesmos apresentados, porém com uma diminuição da máxima, a TSC mais alta registrando do verão foram 64°C, já no Inverno a máxima registrada é 31°C.

Além da diferença sazonal, temos uma diferença na escala temporal entre essas duas imagens, então outro fator a se considerar é o surgimento de novas áreas propícias a

uma TSC alta, e durante a análise isso foi identificado. No bairro de Quintino Bocaiúva, foi observado um local situado à beira do Parque Nacional da Tijuca, que durante o período de inverno apresentou temperatura maior do que os locais de TSC altas do período de verão da amostra de 2010.

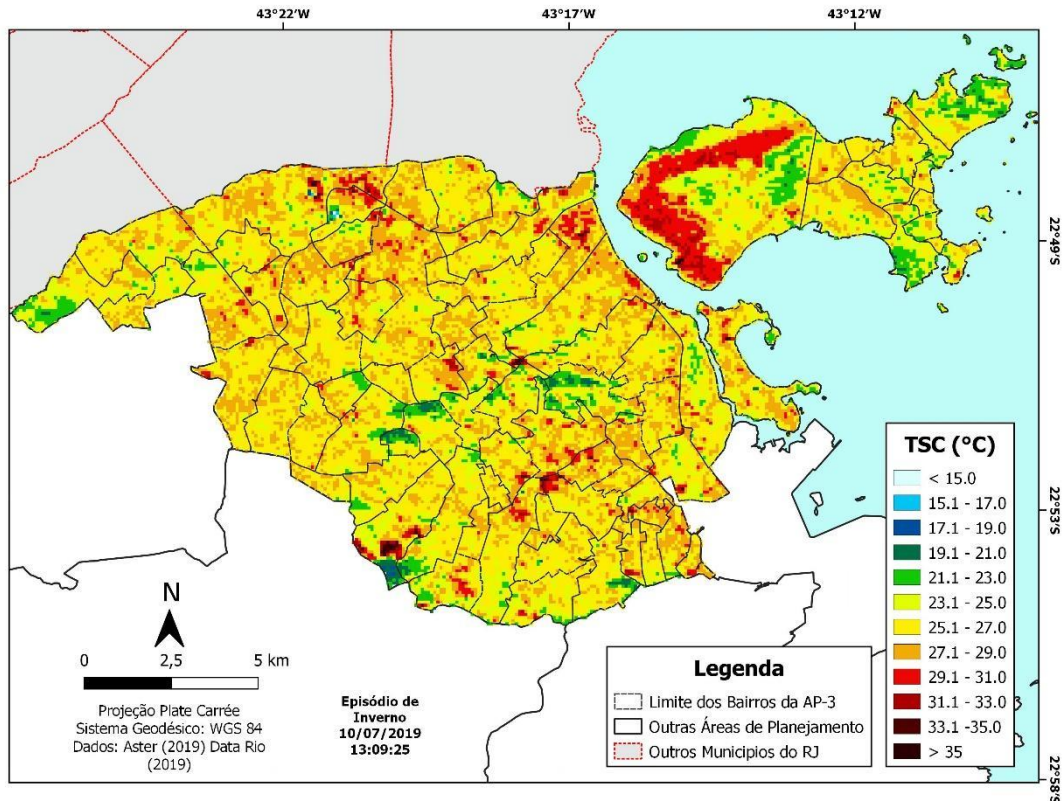


Figura 7. Temperatura da Superfície Continental no episódio de Inverno. Fonte: ASTER

Considerando os resultados obtidos, foi elaborado um ranking com os 5 bairros mais quentes e os 5 bairros mais frescos da Área de Planejamento 3 do Rio de Janeiro (Tabelas 1 e 2).

TABELA 1: RANKING DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL
Episódio de Verão 07/02/2010

TSC Mais Altas			
Média		Máxima	
Bairro	TSC	Bairro	TSC
Del Castilho	51,6 °C	Cachambi	64,3 °C
Jacaré	51,4 °C	Cidade Universitária	60,5 °C
Cachambi	51,2 °C	Del Castilho	60,0 °C
Pilares	50,9 °C	Cordovil	59,0 °C
Vila da Pena	50,8 °C	Pilares	58,8 °C

TSC mais baixas

Água Santa	40,8 °C	Zumbi	50,5 °C
Freguesia (Ilha)	42,6 °C	Freguesia (Ilha)	50,8 °C
Cacua	42,9 °C	Pitangueiras	50,9 °C
Lins de Vasconcelos	44,1 °C	Praia da Bandeira	51,0 °C
Quintino Bocáiuva	44,3 °C	Turiaçu	51,3 °C

TABELA 2: RANKING DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL
Episódio de Inverno 10/07/2019

TSC Mais Altas			
Média		Máxima	
Bairro	TSC	Bairro	TSC
Jacaré	27,3 °C	Quintino Bocáiuva	38,1 °C
Del Castilho	27,2 °C	Cachambi	37,8 °C
Higienópolis	27,1 °C	Galeão	37,8 °C
São Francisco Xavier	27,0 °C	Engenho de Rainha	37,2 °C
Sampaio	27,0 °C	Cidade Universitária	36,6 °C
TSC Mais Baixas			
Engenheiro Leal	23,2 °C	Zumbi	27,1 °C
Cacua	23,9 °C	Freguesia (Ilha)	27,7 °C
Freguesia (Ilha)	23,9 °C	Pitangueiras	27,7 °C
Complexo do Alemão	23,3 °C	Praia da Bandeira	27,8 °C
Pitangueiras	23,3 °C	Turiaçu	28,1 °C

Através do ranking são exibidos os bairros mais quentes e os bairros mais frescos numa média do bairro como um todo, e os bairros que indicaram as maiores e menores TSC máximas. Para melhorar a análise e identificar o possível motivo dos valores da média e máxima da TSC, uma investigação da composição de cada um desses espaços é o indicado para definir as principais causas das ilhas de calor. Nas figuras 8 e 9, estão exibidos os bairros mais quentes e mais frescos do ranking, respectivamente. Por imagens do Google Satélite, conseguimos observar as características dos bairros e inferir sobre os valores de TSC neles observados.

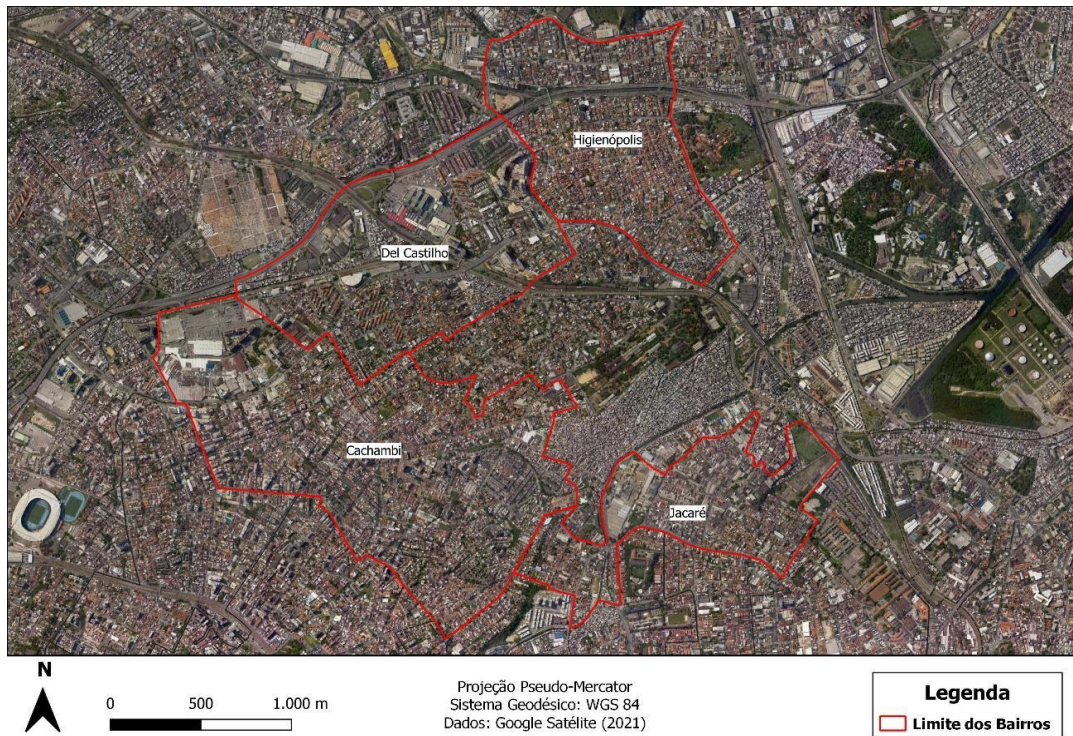


Figura 8. Espaço urbano dos bairros Cachambi, Del Castilho, Higienópolis e Jacaré. Fonte: Google Satélite



Figura 9. Espaço urbano dos bairros Freguesia (Ilha), Cacua, Água Santa e Engenheiro Leal. Fonte: Google Satélite

Na Figura 8 observa-se 4 dos bairros que indicaram as maiores TSC no episódio de Verão e Inverno, e nela encontramos características de extrema urbanização,

condizente com os locais que são mais propícios a altas TSC. Cachambi, Del Castilho, Jacaré e Higienópolis são bairros vizinhos onde vemos uma área urbana de alta densidade de edificações, principalmente com enfoque na comunidade do Jacarezinho no bairro Jacaré, ausência de áreas arborizadas em toda a extensão dos bairros e atravessados pelas movimentadas avenidas Pastor Martin Luther King Júnior, Hélder Câmara e a Linha Amarela. Todas essas características presentes nesses bairros da AP-3 contribuem para apresentarem altas TSC nos episódios analisados. Os bairros Jacaré e Del Castilho lideram o ranking de média em ambos episódios, são as áreas que mais apresentam edificações e presença de avenidas que a cruzam.

Já na Figura 9 é exibido o espaço dos bairros que ocuparam as colocações de TSC mais baixas, sendo eles: Freguesia (Ilha), Cacuia, Água Santa e Engenheiro Leal. Em comparação aos bairros mostrados na Figura 8, na qual se tratava dos bairros mais quentes, observamos dentro do limite dos bairros uma área urbana com menor densidade de edificações e presença de área verde desabitada. Em Água Santa observamos muito mais solo exposto, sem pavimentação e presença de áreas arborizadas, o bairro se localiza nos pés do Parque Nacional da Tijuca, porém mesmo com a sua média da TSC sendo uma das mais baixas, dentro do limite de Água Santa existem pontos registrando altas de TSC. Nos demais bairros nota-se características semelhantes às do bairro Água Santa, com mais áreas verdes do que áreas com presença de edificações. Isso sem dúvidas é um importante fator para as TSC mais amenas.

CONCLUSÕES

A Área de Planejamento 3 se mostra um espaço propício à ocorrência da ilha de calor urbana, revelado naqueles bairros com a TSC mais elevada, que no Verão ultrapassaram os 60°C. A área estudada tem um nível alto de urbanização, pólo de comércios, rodovias, ferrovias, grandes comunidades com um adensamento de construções, uma das áreas mais populosas do Rio de Janeiro.

Com esse estudo, conseguimos observar o quanto a superfície urbana pode aquecer em um período de verão e o quanto é mais baixo em um dia de inverno. Além disso, com a questão da escala temporal na diferença entre as duas amostras de imagem, observamos que existem novos locais favoráveis à ilha de calor urbana, e novos bairros que podem surgir no topo daqueles mais quentes da cidade.

Este trabalho contribui para a análise espacial da TSC na cidade do Rio de Janeiro, não somente para observar os locais mais quentes, mas também para ser um meio de identificação desse problema que afeta o bem-estar das pessoas, a saúde e as condições de vida. Podemos identificar como a população da periferia, que vive sob

condições insalubres, muitas em comunidades segregadas, com ausência de infraestrutura, pode ser afetada com TSC elevadas, trazendo mais malefícios aos que habitam essas áreas.

O sensor ASTER apresenta limitações que conseqüentemente afetam um trabalho mais detalhado sobre o tema. As poucas opções de imagens que abrangem a área de estudo, devido a sua varredura não passar sempre pelo mesmo local após os 16 dias, fazem com que a quantidade de imagens obtidas seja menor, uma vez que também existe a questão das imagens boas para uso, que são as imagens sem nuvens. Por outro lado, foi possível fazer uma análise sazonal entendendo a variação espacial da TSC no verão e no inverno.

Ainda sobre o sensor ASTER, trabalhos futuros deverão ser explorados, uma delas é analisar as outras Áreas de Planejamento do Rio de Janeiro, a AP-1, AP-2, AP-4 e AP-5, fazendo o estudo de cada área e bairro separadamente identificando a ilha de calor urbana na cidade do Rio de Janeiro. Outra possibilidade que ganha ineditismo é a análise da TSC no período noturno, facilitado pela passagem do Aster à noite, e assim entender o padrão espacial da TSC após radiar mais energia do que receber do Sol. Finalmente, o trabalho servirá de apoio para o planejamento e gestão ambiental como formas de mitigar as ilhas de calor urbana na cidade do Rio de Janeiro, contribuindo com a melhora na vida dos habitantes da cidade maravilhosa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTERWEB. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. Disponível em: <https://asterweb.jpl.nasa.gov>. Acesso em 16 de julho de 2022;

DATA RIO. Limite das Regiões de Planejamento do Rio de Janeiro. Disponível em: https://apps.data.rio/armazenzinho/pages/mapasprontos/data/Mapasmudos/03_MapamudoAPs.pdf. Acesso em 15 de julho de 2022;

DATA RIO. Mapa das Áreas de Planejamento do Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.data.rio/documents/7a609089e2254154a1c154c198671782_. Acesso em 15 de julho de 2022;

INPE. Satélite TERRA Earth Observing System (EOS). Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/dgi/documentacao/satelites/terra/capa-terra/>. Acesso em 24 de julho.

DATA RIO. População Residente e Estimada - Brasil, Estado do Rio de Janeiro e Município do Rio de Janeiro e Regiões Administrativas (RA) - 2000/2010/2013-2016/2020. Disponível em: <https://www.data.rio/documents/ba877d53302346eca990a47c99e15f74/about>. Acesso em: 16 de julho de 2022.

GARTLAND, Lisa. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

LUCENA, A.J. A ilha de calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. 373f. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas em Engenharia). INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE), UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

PIELKE, R.A., AVISSAR, R. Influence of landscape structure on local and regional climate. *Landscape Ecol* 4, 133–155, 1990.

WAGNER, A. P. L. Aplicação de imagens Aster para estudos territoriais no Nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2004.