



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE DO EFEITO DE ILHA DE CALOR URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE - RS

Lara dos Santos de Mattos

Relatório de Bolsa de Iniciação Científica, orientado por José Roberto Rozante e Rita de Cássia Marques Alves

URL do documento original:

[<http://urlib.net/xx/yy>](http://urlib.net/xx/yy)

INPE
Cachoeira Paulista
2020

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6923/6921

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE DO EFEITO DE ILHA DE CALOR URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE - RS

Lara dos Santos de Mattos

Relatório de Bolsa de Iniciação Científica, orientado por José Roberto Rozante e Rita de Cássia Marques Alves

URL do documento original:

[<http://urlib.net/xx/yy>](http://urlib.net/xx/yy)

INPE
Cachoeira Paulista
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

de Mattos, Lara S.

Cutter Análise do efeito de Ilha de Calor Urbana na Região Metropolitana de Porto Alegre - RS / Lara dos Santos de Mattos. – Cachoeira Paulista : INPE, 2020.

?? + 18 p. ; ()

Dissertação ou Tese () – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, AAAA.

Orientador : José da Silva.

1. Palavra chave. 2. Palavra chave 3. Palavra chave. 4. Palavra chave. 5. Palavra chave I. Título.

CDU 000.000



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 Resumo do projeto	1
2 Objetivo	3
3 Atividades desenvolvidas durante o período da bolsa	5
3.1 Revisão Bibliográfica	5
3.2 Dados e Metodologia	8
3.2.1 Levantamento de Dados	8
3.2.2 Metodologia	8
4 Resultados obtidos em função do Plano de Trabalho proposto .	11
4.1 Detalhamento dos resultados	11
5 Conclusões Gerais	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

1 Resumo do projeto

A maioria da população brasileira atualmente reside em áreas densamente urbanizadas. A Região Metropolitana de Porto Alegre (ou Grande Porto Alegre) reúne 34 municípios do Estado do Rio Grande do Sul em intenso processo de expansão urbana. Este processo acarreta o crescimento de uma mancha urbana contínua. O crescimento demográfico acelerado de grandes cidades, como Porto Alegre e arredores, associado à falta de planejamento urbano e infraestrutura, trazem graves problemas ambientais e de saúde pública. Um dos principais efeitos decorrentes da urbanização é o surgimento de climas e microclimas locais, que caracterizam-se por altas temperaturas do ar próximo à superfície, baixa umidade do ar e poluição atmosférica. O presente trabalho tem por objetivo fazer uma análise da temperatura do ar na Grande Porto Alegre, com vistas a analisar a formação de Ilhas de Calor Urbanas na área de estudo. O estudo foi dividido em sete etapas, a saber: 1) estudo bibliográfico dos conceitos básicos sobre Ilha de Calor Urbana no Brasil e em Porto Alegre; 2) levantamento dos dados de temperatura do ar próximo à superfície da Grande Porto Alegre, a partir das fontes de dados de estações meteorológicas convencionais e automáticas mantidas pelo INMET para o verão de 2019; 3) definição de duas estações meteorológicas dentre as identificadas na Etapa 2 que representem a área urbana e suburbana, respectivamente. Calcula-se, então, na Etapa 4, a Intensidade da Ilha de Calor Urbana (IICU) para o verão de 2019, com o objetivo de identificar casos de maior IICU na Grande Porto Alegre, que serão selecionados na Etapa 5. Com o objetivo de identificar as condições meteorológicas associadas aos casos selecionados, analisa-se outras variáveis na Etapa 6, tais como vento, umidade relativa e precipitação. Por fim, analisa-se os resultados obtidos e elabora-se o relatório final e o artigo científico.

2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fazer uma análise da temperatura do ar na Grande Porto Alegre, com vistas para analisar se ocorre a formação de Ilhas de Calor Urbanas na área de estudo. Este estudo poderá gerar informações para a tomada de decisões relativas às alternativas para a minimização dos efeitos nocivos da formação de Ilhas de Calor para a população da Grande Porto Alegre. Desta forma, propõe-se como objetivos específicos:

- Analisar a série temporal da temperatura média do ar nas estações meteorológicas de Porto Alegre e Campo bom;
- Analisar se ocorre a formação de Ilhas de Calor Urbanas na Grande Porto Alegre durante os meses de janeiro dos anos de 2017 e 2019 por meio da análise da Intensidade da Ilha de Calor Urbana utilizando dados de temperatura do ar próximo à superfície.

3 Atividades desenvolvidas durante o período da bolsa

Foram realizados, no período a que se refere este relatório, uma revisão bibliográfica que concerne o fenômeno da Ilha da Calor Urbana (ICU), abordando seus principais conceitos e correlacionando-os com problemas vistos no país e na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPoA); um levantamento dos dados de temperatura do ar para o verão de 2017 das cidades de Porto Alegre e Campo Bom, localizados, respectivamente, na parte central e afastada da região metropolitana; um estudo de Python – linguagem de programação de alto nível muito utilizada no meio acadêmico e científico, de sintaxe moderna, fácil aprendizado e implementação livre – a fim de plotar gráficos de forma mais eficiente; a elaboração de um gráfico comparativo da variação da temperatura do ar desses dois locais; e, por fim, a partir dos dados de temperatura do ar foi realizado o cálculo da Intesidade da Ilha de Calor Urbana (IICU) para a RMPoA.

3.1 Revisão Bibliográfica

Num primeiro momento, foram revistos os principais estudos na história a respeito do Clima Urbano e de ICU's, desde quando foram primeiro mencionados na Roma Antiga, até os dias atuais. Os mais importantes são listados a seguir:

I) Internacionalmente:

- Howard (1818)
- Landsberg (1956)
- Chandler (1962)
- Davidson (1967)
- Oke (1973)

II) No Brasil:

- Monteiro (1976)
- Monteiro e Tarifa (1977)
- Sampaio (1981)

Tratou-se, em seguida, do conceito de escalas climáticas. De acordo com estudos realizados por Oke (2006), existem três escalas de interesse no plano horizontal: micro, local e mesoescala. Elas são importantes em tais estudos devido à interação

entre os elementos de superfície com camadas atmosféricas adjacentes (HENKES, 2017).

A micro-escala concerne os microclimas próximos a objetos e superfícies, e as suas regiões imediatas. Para Oke (2006), os parâmetros meteorológicos são, aqui, influenciados por elementos urbanos individuais, como edifícios e suas partes constituintes, ruas, praças e jardins, e por suas rugosidades.

A escala local, que diz respeito aos processos físicos que ocorrem próximo à superfície, é a escala adotada neste trabalho. Ela considera o clima local – clima predominante em cada lugar, que diferencia-se em cada área por uma combinação característica de elementos, sendo eles de tipo de ocupação do solo ou condições topográficas –, juntamente a parâmetros de desenvolvimento urbano, particularmente cobertura de superfície, tamanho e espaçamento das edificações e atividades humanas, tais como transporte público e uso de ar condicionado (OKE, 2006; FILHO, 2010). Essa é a escala que as estações climáticas padrão são projetadas para monitorar (OKE, 2006).

A mesoescala, por fim, compreende o clima regional, que é influenciado, sobretudo, pelos seguintes fatores: topografia, latitude, massas de ar, continentalidade e maritimidade, e correntes marítimas (FILHO, 2010). Essa escala engloba toda uma cidade e seus arredores, e uma única estação climática não é capaz de representá-la (OKE, 2006).

Da interação entre os elementos de superfície com as camadas atmosféricas adjacentes sugere a importância de escalas no plano vertical (HENKES, 2017). A influência da superfície é limitada à troposfera e, especialmente, a uma zona conhecida como Camada Limite Planetária (CLP) (OKE, 1988). Quando influenciada por uma superfície urbana, a CLP passa a ser chamada de Camada Limite Urbana (CLU) (HENKES, 2017). A CLU se estende acima do nível médio dos telhados até pelo menos uma a três vezes a sua altura, e é controlada por processos de mesoescala (OKE, 1988; HENKES, 2017). A área entre o nível do solo e os telhados é denominada Camada Limite do Dossel Urbano (CLD), e é conduzida por processos de microescala. Os efeitos micro-climáticos que ocorrem na CLD são específicos de cada lugar e possuem uma complexidade característica, devido à diversidade de atividades realizadas próximo à superfície, e por isso variam intensamente dentro de pequenas distâncias (OKE, 2006).

O próximo tópico abordado foi o Clima Urbano. Fundamentado nos estudos de Assis

(2006), discutiu-se como o rápido crescimento das cidades, aliado a um desenvolvimento sem controle, planejamento ou infraestrutura, tem causado sérios danos aos meios natural e construído, especialmente no que diz respeito à atmosfera local. Definiu-se o Clima Urbano, então, de acordo as explicações de Chandler (1976), Hasenack (1989) e Kuttler (2008), como sendo a consequência da profunda alteração dos padrões atmosféricos imediatamente acima das cidades. Ele é ocasionado, sobretudo, pela redução da área vegetada; pela substituição do solo natural por coberturas impermeáveis de construção ou pavimentação; pelas características térmicas da superfície; pela emissão de calor antrópico, tais como veículos, usos domésticos, indústrias e construção civil; pela circulação do ar; e pela poluição atmosférica. Sua principal consequência se dá na manifestação da ICU.

Foi explicado, então, com o suporte do que foi discutido anteriormente, as definições da ICU, seus aspectos fundamentais, seus principais agentes formadores, e de que forma se manifesta numa cidade. Segundo (OKE, 1973), a ICU é uma anomalia térmica caracterizada pelo aumento da temperatura do ar e da superfície em áreas urbanas em relação às áreas periféricas. As temperaturas, mais elevadas nos centros urbanos, decrescem gradativamente em direção aos subúrbios e diminuem bruscamente em direção a área rural (OKE, 1988). A diferença entre as temperaturas médias horárias urbanas/suburbanas (T_u) e rurais/vegetadas (T_r) é denominada Intensidade da ICU (IICU) (CAMILLONI; BARRUCAND, 2011), tal que:

$$IICU = \Delta T_{u-r} = T_u - T_r \quad (3.1)$$

Por fim, tratou-se do Balanço de Energia da Superfície (BES), cuja alteração na CLU e CLD, quando comparada às regiões rurais adjacentes, seria, para Oke (1988) e Henkes (2017), uma das principais causas da formação da ICU. De acordo com Henkes (2017), uma fonte de energia extra associada com a atividade antrópica, nas áreas urbanas, é levada em conta no aumento do aquecimento na superfície e na formação do fenômeno citado. Um estudo realizado por Oke (1988) propôs, para uma superfície urbana, uma formulação para esse balanço de energia:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \quad (3.2)$$

em que: Q^* é o saldo de radiação; Q_F é o fluxo de calor antrópico; Q_H é o fluxo de calor sensível; Q_E é o fluxo de calor latente; ΔQ_S é o fluxo de calor armazenado no

solo; e ΔQ_A é o fluxo de calor advectivo.

São muitos os fatores que contribuem para a formação das ICU's, entre eles: a geometria urbana, que aprisiona calor, altera a velocidade e direção dos ventos, influencia na incidência de radiação de ondas curtas e na emissão de ondas longas (NAKATA-OSAKI et al., 2016); os materiais de revestimento horizontais e verticais das cidades, que armazenam e irradiam maior quantidade de calor ao ambiente que os terrenos naturais; a redução de superfícies líquidas e de áreas verdes, que restringe o fluxo de calor latente e aumenta o fluxo de calor sensível, além de ocasionar a diminuição da umidade e conseqüentemente uma menor evaporação; e o calor gerado pelas atividades humanas, tais como veículos, usos domésticos, indústrias e construção civil, que, segundo (TAHA, 1997), tem papel importante no aumento da temperatura do ar próximo à superfície. Esses e outros fatores são responsáveis por alterações no balanço de energia das cidades, porque interferem diretamente nos processos de troca de momento, massa e energia nas superfícies urbanizadas (HENKES, 2017).

3.2 Dados e Metodologia

3.2.1 Levantamento de Dados

Os dados meteorológicos utilizados no estudo são de temperatura do ar próximo à superfície, vento, umidade relativa e precipitação obtidos a partir das estações meteorológicas convencionais e automáticas mantidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o verão de 2017.

No *site* do INMET, selecionou-se duas estações meteorológicas de observação de superfície convencionais que localizavam-se na área urbana e na área rural da RMPoA, sendo elas, respectivamente, as de Porto Alegre e Campo Bom.

Foram obtidos dados meteorológicos referentes ao mês de janeiro dos anos de 2017 e 2019 a partir do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que recebe operacionalmente dados de estações meteorológicas mantidas pelo INMET.

3.2.2 Metodologia

A metodologia consiste na análise dos dados de temperatura de duas estações que representam a área urbana e rural, respectivamente. Com isso, foi possível calcular a IICU para janeiro de 2017 e 2019 seguindo o cálculo proposto por Camilloni e Barrucand (2011).

As estações meteorológicas utilizadas nesta pesquisa foram as de Porto Alegre (86988) e Campo Bom (86991). As características destas duas estações serão descritas a próxima Seção.

4 Resultados obtidos em função do Plano de Trabalho proposto

De acordo com o plano de trabalho proposto, as seguintes etapas foram concluídas.

- Etapa 1) Estudo de referências bibliográficas sobre os conceitos básicos sobre Ilha de Calor Urbana no Brasil e em Porto Alegre.
- Etapa 2) Realizar o levantamento dos dados de temperatura do ar próximo à superfície da Grande Porto Alegre, a partir das fontes de dados de estações meteorológicas convencionais e automáticas mantidas pelo INMET para 2017. Além dos dados de 2017, foram também obtidos dados do ano de 2019, a fim de complementar e enriquecer o trabalho. Foram analisados os meses de janeiro dos anos de 2017 e 2019. O ano de 2017 foi escolhido tendo em vista o que foi proposto originalmente, e o ano de 2019 por ser um período mais atualizado que 2017.
- Etapa 3) Definir duas estações meteorológicas dentre as identificadas na Etapa 2 que representem a área urbana e suburbana, respectivamente. Maiores detalhes pode-se encontrar no texto a seguir.
- Etapa 4) Calcular a IICU para os meses de janeiro dos anos de 2017 e 2019, com o objetivo de identificar casos de maior IICU na Grande Porto Alegre.

4.1 Detalhamento dos resultados

A estação meteorológica de Porto Alegre localiza-se no bairro Jardim Botânico, lugar densamente urbanizado e de crescimento gradual, com cerca de seis mil habitantes por km². Seu desenvolvimento se deu, segundo [Sanhudo \(1975\)](#), a partir de diversos fatores como: a criação de um parque de mesmo nome, que atrai pessoas da região todos os anos; melhorias e ampliações da Avenida Ipiranga; investimentos através da criação do condomínio Felizardo Furtado, onde residem cerca de cinco mil pessoas; e a institucionalização da Escola Superior de Educação Física (ESEF), criada em 1939 e incorporada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 1970. Atualmente, o Jardim Botânico dispõe de uma ampla rede de transportes e de um considerável comércio local, situado principalmente na Avenida Ipiranga, onde se encontra, também, o Shopping Bourbon Ipiranga. Além disso, é dentro do bairro que está localizado o Hospital São Lucas, que atende tanto a convênios particulares como também ao Sistema Único de Saúde (SUS).

Já a estação meteorológica de Campo Bom está localizada no centro da cidade. O município, que dista 50 km da capital, possui cerca de 25 km² de área urbana, ou seja, menos da metade da área total que ocupa e 10 km² a menos que sua área rural. Assim, apesar de urbanizada, Campo Bom não dispõe do mesmo nível de urbanização que Porto Alegre.

A fim de verificar se a diferença de temperatura entre as duas cidades evidenciaria a presença de uma ICU na RMPoA, analisou-se a série temporal da temperatura média do ar do mês de janeiro de 2017 (Figura 4.1) e de 2019 (Figura 4.2), de ambas as estações.

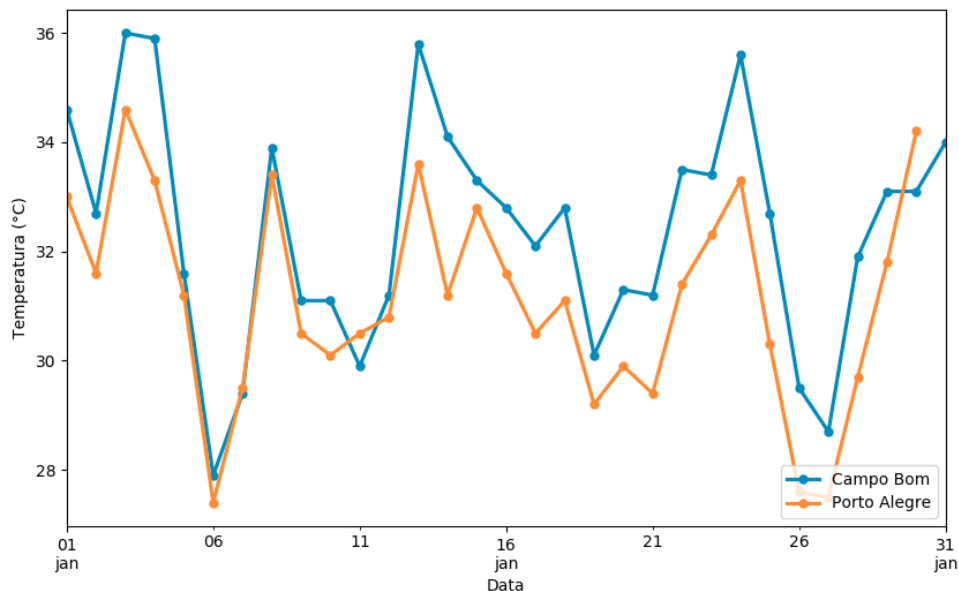


Figura 4.1 - Comparação entre as temperaturas de Porto Alegre e Campo Bom/RS no verão de 2017.

Observou-se que, ao longo do mês de janeiro, em ambos os anos, Campo Bom manteve, majoritariamente, a temperatura do ar acima da temperatura registrada em Porto Alegre. Houve uma pequena excessão por volta do dia 28 de 2017, e por volta dos dias 10 e 28 de 2019, em que se verificou o padrão oposto.

A partir dessa observação, é possível calcular a ICU para a região, conforme o cálculo proposto por Camilloni e Barrucand (2011), descrito na Seção 3.2. A ICU de 2017 é mostrada na Figura 4.3, e a de 2019 na Figura 4.4.

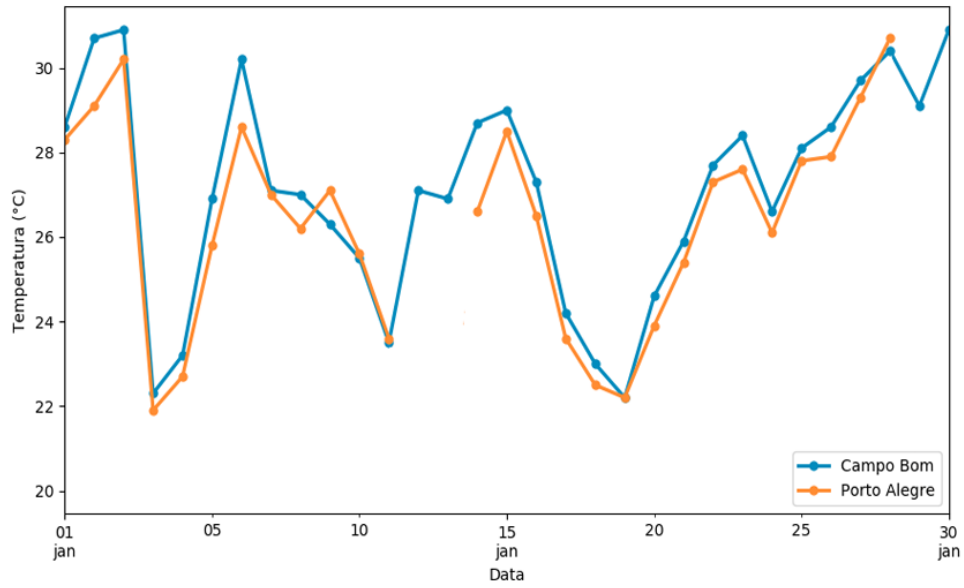


Figura 4.2 - Comparação entre as temperaturas de Porto Alegre e Campo Bom/RS no verão de 2019.

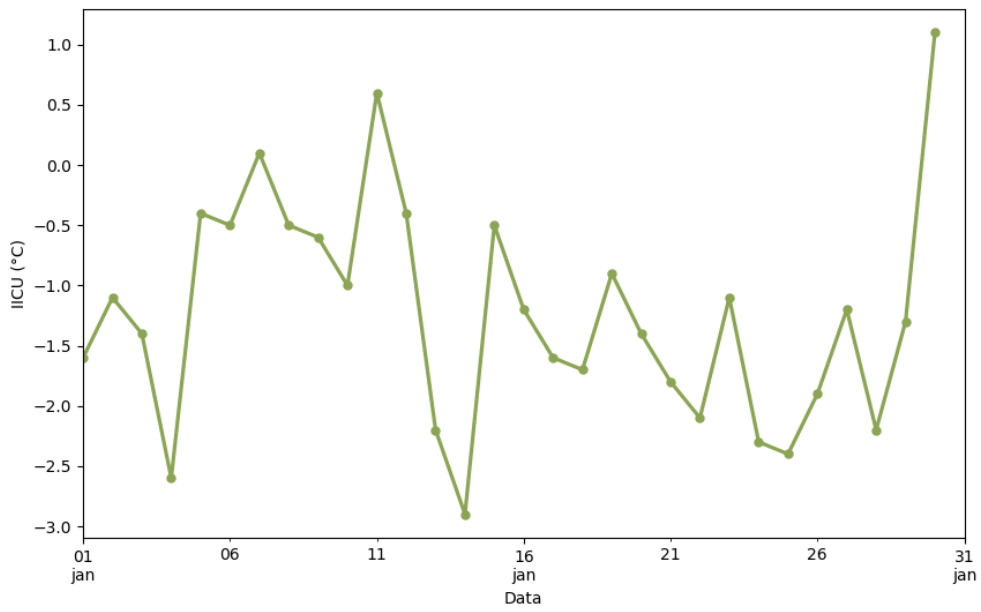


Figura 4.3 - Variação do IICU ao longo do verão de 2017 para a RMPoA

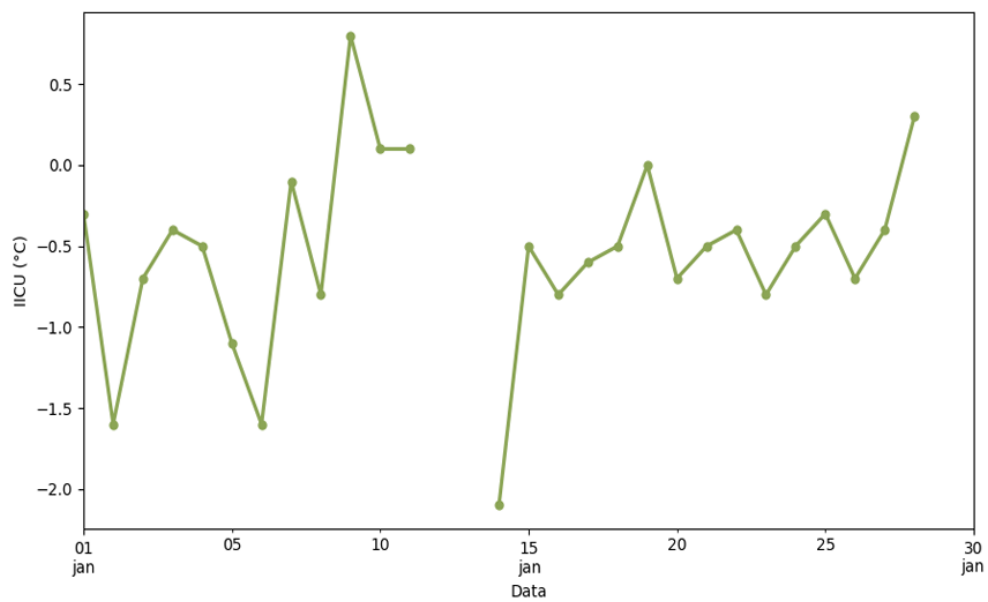


Figura 4.4 - Variação do IICU ao longo do verão de 2019 para a RMPoA

5 Conclusões Gerais

Levando em conta os resultados obtidos, ainda é inconclusível a pergunta levantada por esta pesquisa e, portanto, necessita-se de uma maior investigação, fazendo uso da análise de um período maior de dados e da busca por uma estação que possa melhor caracterizar a ICU de Porto Alegre. Para o trabalho futuro ainda é necessário investigar o porquê de a estação de Campo Bom apresentar maiores temperaturas que Porto Alegre, mesmo sendo menos urbanizada que esta última.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, E. S. de. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. In: **Revista de Urbanismo e Arquitetura**. [S.l.: s.n.], 2006. v. 7, n. 1. 7

CAMILLONI, I.; BARRUCAND, M. Temporal variability of the buenos aires, argentina, urban heat island. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, p. 47–58, 01 2011. 7, 8, 12

CHANDLER, T. J. London's urban climate. In: **The Geographic Journal**. [S.l.: The Royal Geographical Society, 1962. v. 128, p. 279–298. 5

_____. Urban climatology and its relevance to urban design. **World Meteorological Organization**, 1976. 7

DAVIDSON, B. A summary of the new york urban air pollution dynamics research program. **Journal of the Air Pollution Control Association**, Taylor & Francis, v. 17, n. 3, p. 154–158, 1967. 5

FILHO, A. C. C. **Adequação bioclimática para os espaços urbanos abertos do centro de Fortaleza, CE**. Dissertao (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, 2010. 6

HASENACK, H. **Influência de variáveis ambientais sobre a temperatura do ar na área urbana de Porto Alegre, RS**. Dissertao (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 1989. 7

HENKES, A. F. **Estudo de sensibilidade da parametrização urbana no modelo BRAMS na simulação da ilha de calor na região metropolitana de São Paulo**. Dissertao (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil, 2017. 6, 7, 8

HOWARD, L. **The Climate of London**. [S.l.: s.n.], 1818. 5

KUTTLER, W. Urban ecology. 2008. 7

LANDSBERG, H. E. The climate of towns. In: **Man's Role in Changing the Face of the Earth**. [S.l.]: Thomas, W.L., 1956. p. 584–606. 5

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: [s.n.], 1976. (Teses e Monografias, 25). 5

MONTEIRO, C. A. de F.; TARIFA, J. R. Contribuição ao estudo do clima de marabá: uma abordagem de campo subsidiária ao planejamento urbano.

Climatologia, n. 7, p. 1–51, 1977. 5

NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um sig. In: **Ambiente**

Construído. [S.l.]: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2016. v. 16, n. 3, p. 73–87. 8

OKE, T. R. City size and the urban heat island. In: **Atmospheric Environment**. Great Britain: Pergamon Press, 1973. v. 7. 5, 7

_____. **Bondary layer climates**. Second. [S.l.]: Taylor and & Francis Group, 1988. 6, 7

_____. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **World Meteorological Organization**, 2006. 5, 6

SAMPAIO, A. H. L. **Correlações entre uso do solo e ilhas de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador**. Dissertao (Mestrado) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1981. 5

SANHUDO, A. V. **Crônicas da minha cidade**. [S.l.: s.n.], 1975. 11

TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. In: **Energy and Buildings**. [S.l.]: Elsevier Science S.A., 1997. v. 25, p. 99–103. 8