

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

FERNANDO HENRIQUE SILVA REINOSO COTULIO

**ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE TEMPERATURA DO AR: ESTUDO DE
CASO EM CAMPINAS-SP**

**CAMPINAS
2022**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM SISTEMAS DE
INFRAESTRUTURA URBANA

ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE TEMPERATURA DO AR: ESTUDO DE
CASO EM CAMPINAS-SP

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana da Pontifícia Universidade Católica de Campinas em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Mestrando: Fernando Henrique Silva Reinoso Cotulio

Orientadora: Profa. Dra. Marina Lavorato de Oliveira

Coorientadora: Profa. Dra. Cláudia Cotrim Pezzuto

Ficha catalográfica elaborada por Vanessa da Silveira CRB 8/8423
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

577.22
C851a

Cotulio, Fernando Henrique Silva Reinoso

Análise da tendência de temperatura do ar: estudo de caso em Campinas-SP /
Fernando Henrique Silva Reinoso Cotulio. - Campinas: PUC-Campinas, 2022.

44 f.

Orientador: Marina Lavorato de Oliveira; Coorientador: Cláudia Cotrim Pezzuto.

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbano) - Programa de Pós-
Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbano, Centro de Ciências Exatas,
Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas,
2022.

Inclui bibliografia.

1. Mudanças climáticas. 2. Climatologia urbana. 3. Planejamento urbano. I.
Oliveira, Marina Lavorato de. II. Pezzuto, Cláudia Cotrim III. Pontifícia Universidade
Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia.
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbano. IV. Título.

CDD - 22. ed. 577.22

FERNANDO HENRIQUE SILVA REINOSO COTULIO

ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE TEMPERATURA DO AR: ESTUDO DE CASO EM CAMPINAS-SP

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Marina Lavorato de Oliveira.
Co-orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Cláudia Cotrim Pezzuto.

Dissertação defendida e aprovada em 24 de junho de 2022 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Marina Lavorato de Oliveira
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Nívea Adriana Dias Pons
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

Agradeço a meus pais Fernando e Cássia, por todo o incentivo e apoio, além de todo o suporte dado a mim por eles.

Agradeço ao meu irmão Victor, por todo apoio.

Agradeço a minha namorada, Poliana por toda a compreensão e incentivo

Agradeço a meu grande e querido amigo Matheus Zerbeti, Zerba para os íntimos, por toda a ajuda em Física C, pois sem essa ajuda não estaria escrevendo uma dissertação de mestrado.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte de toda a minha jornada, desde a educação básica, até os da graduação, e da pós. Em especial as minhas professoras orientadoras Marina e Cláudia, por toda ajuda e paciência.

Agradeço também a PUC Campinas pela bolsa de estudos que viabilizou minha trajetória no programa de mestrado.

“Todo discurso é inútil e vazio, a menos que seja acompanhado de ação”

Demóstenes

RESUMO

COTULIO, F. H. S. R. **Análise da tendência da temperatura do ar: estudo de caso em Campinas-SP.** 2022. 44p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, SP, 2022.

O crescimento populacional aliado à urbanização vem trazendo consequências diretas na qualidade de vida da população. Observar as mudanças de temperatura, sua intensidade, e principalmente suas tendências, é fundamental para o entendimento dessas mudanças no clima urbano. Este trabalho tem por objetivo verificar tendências anuais da temperatura média, máxima e mínima do ar entre dois pontos de referência na região norte da cidade de Campinas-SP e comparar com a evolução urbana do período de 20 anos. Para isso, foi utilizado o método de Mann-Kendall, método sequencial e não paramétrico, que tem como função determinar uma tendência temporal em determinada série de dados. O método é robusto e um dos mais utilizados para análises de tendências para variáveis ambientais. Para esta pesquisa foi utilizada uma série histórica do período de 2000 a 2019. A análise da evolução da ocupação urbana foi realizada a partir de um levantamento visual de imagens do Google Earth. Para caracterização do uso e ocupação do solo foi delimitado um raio de 2 km a partir dos pontos de análises. Foram definidas três classes de uso e ocupação do solo: alta média e baixa ocupação. Foi observada a existência de tendências de elevação nas temperaturas máximas dos dois pontos de estudo, e diferenças térmicas de 2,3°C na média da temperatura máxima e 1,2°C na média das mínimas entre os pontos.

Palavras-chave: Tendências Climáticas. Clima urbano. Mann-Kendall.

ABSTRACT

COTULIO, F. H. S. R. **Analysis of the Air Temperature Trend: A Case Study in Campinas-SP**. 2022. 44p. Dissertation. Postgraduate Program in Urban Infrastructure Systems at the Pontifical Catholic University of Campinas, Campinas, SP, 2022.

Population growth combined with urbanization has had direct consequences on the population's quality of life. Observing temperature changes, their intensity, and especially their trends, is fundamental to understanding these changes in urban climate. This work aims to verify annual trends in the average, maximum and minimum air temperature between two reference points in the northern region of the city of Campinas-SP and compare with the urban evolution of the period of 20 years. For this, the Mann-Kendall method was used, a sequential and non-parametric method, whose function is to determine a temporal trend in each data series. The method is robust and one of the most used for trend analysis for environmental variables. For this research, a historical series from 2000 to 2019 was used. The analysis of the evolution of urban occupation was carried out from a visual survey of Google Earth images. To characterize the use and occupation of the land, a radius of 2 km was delimited from the points of analysis. Three classes of land use and occupation were defined: high, medium and low occupation. It was observed the existence of rising trends in the maximum temperatures of the two study points, and thermal differences of 2.3°C in the average of the maximum temperature and 1.2°C in the average of the minimums between the points.

Keywords: Climate Trends. Urban climate. Mann-Kendall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Campinas dividida em regiões.	19
Figura 2 - Distância entre os pontos	20
Figura 3 - Ponto 1	20
Figura 4 - Ponto 1 proximidades da estação	20
Figura 5 - Ponto 2	21
Figura 6 - Ponto 2 proximidades da estação	21
Figura 7 – Ocupação no entorno do ponto 2. Ano 2002.....	28
Figura 8 – Ocupação no entorno ponto 2. Ano 2019.....	28
Figura 9 - Ocupação no entorno do ponto 1. Ano 2002	29
Figura 10 - Ocupação no entorno do ponto 1 . Ano 2019	29
Figura 11 - Vegetação e água (2002). Ponto 2	30
Figura 12 - Vegetação e água ponto (2019). Ponto 2	30
Figura 13 - Vegetação e água (2002) . Ponto 1	31
Figura 14 - Vegetação e água (2019). Ponto 1	31
Figura 15 - Média das temperaturas máximas comparadas de 2000 a 2019.	32
Figura 16 - Média das temperaturas mínimas comparadas de 2000 a 2019.....	32
Figura 17 - Média das temperaturas máximas 2009.....	33
Figura 18 - Média das temperaturas mínimas 2009.....	34
Figura 19 - Média das temperaturas máximas mensais 2010.....	35
Figura 20 - Média das temperaturas mínimas mensais 2010.....	35
Figura 21 - Média das temperaturas máximas mensais 2011.....	36
Figura 22 - Média das temperaturas mínimas mensais 2011.....	36
Figura 23 - Média das temperaturas máximas mensais 2012.....	37
Figura 24 - Média das temperaturas mínimas mensais 2012.....	37
Figura 25 – Obras, movimentações de terra e áreas de solo exposto nas imediações da estação do ponto 2 em 2011	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas mínimas diárias de 2000 a 2009 do ponto 2.....	25
Tabela 2 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas mínimas diárias de 2009 a 2019 do ponto 2.....	25
Tabela 3 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas máximas diárias de 2000 a 2009 do ponto 2.	26
Tabela 4 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas máximas diárias de 2000 a 2019 do ponto 2.	26
Tabela 5 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas mínimas diárias de 2000 a 2009 do ponto 1.....	27
Tabela 6 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas mínimas diárias de 2010 a 2019 do ponto 1.....	27
Tabela 7 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas máximas diárias de 2000 a 2009 do ponto 1.....	27
Tabela 8 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas máximas diárias de 2000 a 2019 do ponto 1.....	27
Tabela 9 - Densidade construtiva 2002 ponto 2	28
Tabela 10 - Densidade construtiva 2019 ponto 2	28
Tabela 11 - Densidade construtiva 2002 ponto 1	29
Tabela 12 - Densidade construtiva 2019 ponto 1	29
Tabela 13 - Vegetação e água 2002 ponto 2.....	30
Tabela 14 - Vegetação e água 2019 ponto 2.....	30
Tabela 15 - Vegetação e água 2002 ponto 1.....	31
Tabela 16 - Vegetação e água 2019 ponto 1.....	31
Tabela 17 - Média das temperaturas máximas comparadas de 2009 a 2012.....	33
Tabela 18 - Média das temperaturas mínimas comparadas de 2009 a 2012.....	33

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
SUMÁRIO	xi
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Urbanização e clima urbano	14
2.2 Tendências Climáticas e métodos para avaliação	15
3 METODOLOGIA	17
3.1 Caracterização da área de estudo	18
3.2 Seleção dos pontos de análise	19
3.3 Coleta de dados	22
3.3.1 Análise de tendências	22
3.3.2 Teste não paramétrico de Mann-Kendall	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5 CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

As cidades são organismos vivos em constante evolução e transformação, essa transformação vem sendo cada vez mais acelerada, principalmente pelo crescimento da população mundial. A Organização Mundial das Nações Unidas (ONU), estima que em 2030 a população global será de 8,5 bilhões e 9,7 milhões em 2050 (UNITED NATIONS, 2022). O estudo aponta que para um futuro mais sustentável é necessária uma visão demográfica, além da adoção de um planejamento proativo e prospectivo. Neste sentido, as cidades são protagonistas no combate ao aquecimento global. Estudos relatam que muitos municípios já vêm assumindo compromissos para a redução das causas e efeitos das mudanças climáticas (ROSENZWEIG et al., 2010).

O Sexto relatório do Grupo de Trabalho I do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) relata que as últimas quatro décadas foram sucessivamente mais quentes (IPCC, 2019). O relatório descreve que no ano de 2019 as concentrações atmosféricas de CO₂ atingiram os maiores valores comparados com qualquer outro período. O estudo relata que eventos climáticos causados pelo homem têm afetado todas as regiões do planeta. Estima-se um aquecimento global de 1,0°C acima dos níveis pré-industriais, com variação de 0,8°C a 1,2°C, causado pelas atividades antrópicas. A estimativa é que entre 2030 e 2052 este aquecimento alcance 1,5°C (IPCC, 2018). Santos (2016) ainda aponta que as pressões no clima, poderão impactar nos setores de energia, saneamento e transporte. Nos países em desenvolvimento, como no Brasil, esses impactos são sentidos de maneira mais intensa, uma vez que em condições normais esses serviços já têm dificuldades de atender a população com qualidade. Além dos impactos na saúde da população relacionados a falta de conforto térmico, e radiação solar intensa.

As mudanças climáticas também impactam na escala regional, podendo ocorrer alteração nas temperaturas, precipitação entre outros efeitos. Um exemplo, é a ocorrência com maior frequência de dias e noites quentes mais quentes (RIBEIRO, 2008). É preocupante a ocorrência dessas mudanças, sendo um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade (KRELLENBERG et al., 2014). Isto inclui elaborações de planos que favoreçam a adaptação das populações afetadas, elaboração das políticas públicas, planos administrativos e instrumentos em diferentes níveis. O aquecimento global pode afetar o Brasil de diferentes maneiras em cada uma das regiões, podendo levar a diferenças nas temperaturas e precipitação. (RIBEIRO, 2008).

Para a detecção dessas mudanças, estudos avaliam tendências das series históricas de temperatura (SOUZA; AZEVEDO, 2012). BLAIN et al. (2009) relatam a importância de analisar a influência das fontes de calor urbano nos pontos de medição, principalmente nos dados mais recentes. Para verificar a ocorrência desse possível fenômeno, deve-se analisar se a presença de tendências de elevação em uma mesma região é simultânea e correspondente às tendências em outras localidades, se em ambos os locais as tendências forem semelhantes, indica uma possível tendência global.

As alterações das variáveis meteorológicas durante os estudos das series temporais, podem ser resultantes de inúmeras fontes, desde naturais que não podem ser controlados, como o El Niño e La Niña e a intensificação da atividade solar, como as antrópicas, estas que deveriam ser controladas, como a urbanização crescente de maneira descontrolada e o desmatamento (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016).

Para buscar por resolução ou amenização dos efeitos, e senso comum, é necessário o engajamento de empresas, governos e população, na busca por um padrão de vida, conceitos de comportamento diferentes e investimentos em tecnologias mais corretas ambientalmente, para suportarem uma vida mais saudável (IPCC, 2014). O incremento da Infraestrutura verde é apresentado como uma maneira para preparar as cidades para as mudanças climáticas, uma vez que tem um custo baixo e uma velocidade de execução e de funcionamento reativamente rápido (NIELSEN et al., 2016). Comparando com as construções tradicionais, a infraestrutura verde também traz muitos benefícios em termos de sustentabilidade, uma vez que atende bem os três pilares, econômico, o social e o ambiental (CEBDS, 2015).

A gestão das cidades, os planos diretores e o planejamento urbano em si são os responsáveis por adaptar os cenários das cidades para o futuro. Um exemplo, é a estratégia urbana adotada na cidade de Shanghai na China que vem buscando potencializar as ilhas de frescor para combater as já detectadas ilhas de calor. Para isso, a área vegetada per capita cresceu de 1m² para 12,5m². Em Tokio vem seguindo o exemplo, criando parques, plantando árvores e utilizando materiais de pavimentação reflexivos e que retem umidade (ROSENZWEIG et al. 2011).

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo verificar tendências anuais das temperaturas máximas e mínimas do ar entre dois pontos provenientes de duas estações meteorológicas da cidade de Campinas-SP

Como objetivos específicos, analisar a série histórica de dados das estações da região norte da cidade no período de 2000 a 2019 e comparar por meio de imagens do Google Earth a evolução da mancha urbana dos pontos de análise nos últimos 20 anos com a temperatura do ar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo de revisão bibliográfica apresenta uma breve revisão de literatura sobre os temas da pesquisa

2.1 Urbanização e clima urbano

A preocupação com o clima urbano e seus impactos não é nova, Santos (2016), aponta que Luke Howard, publicou em 1833 um estudo com a observação da diferença de temperatura do meio urbano ao rural, mostrando um excesso de calor nas cidades. Howard (1833) *apud* Mills (2006) ressalta-se que a revolução industrial que começou em 1760 só terminou em 1840, 7 anos após a divulgação deste estudo.

Em 1960 Gordon Manley relatou sobre a questão da ilha de calor, nesta definição, o autor relata o aumento da temperatura do ar das áreas urbanizadas quando comparado com o ambiente não urbanizado nas adjacências, sendo a principal característica o aumento da temperatura do ar geralmente no período da noite, relatou ainda sobre aquecimento das edificações, superfícies urbanas (MANLEY, 1958).

Diferentes técnicas e dados podem ser utilizados para o estudo do clima urbano e a determinação das ilhas de calor (Santamouris, 2020; Stewart, 2019, Oke 1978). Destaca-se o estudo brasileiro de Lombardo (1985) na cidade de São Paulo que utilizou o sensoriamento remoto, transectos móveis e medições fixas de temperatura do ar. A partir de imagens de satélite, identificou a variação da temperatura no centro urbano da cidade. Cui e Shi (2012) em Xangai, utilizaram dados históricos de uso do solo, dados de estações meteorológicas, dados estatísticos sociais e índice de vegetação por diferença normalizada e dados da temperatura da superfície terrestre. Alves (2017) , em uma cidade de pequeno porte, verificou a influência das variáveis geourbanas e a determinação da ilha de calor a partir de estações meteorológicas na área urbana.

Stewart e Oke (2012), relatam que os efeitos da ilha de calor têm implicações positiva ou negativa, depende do macroclima da cidade. Nos climas ou estações quentes podem ser verificados os efeitos nocivos deste aumento de temperatura. O resfriamento de ambientes é mais custoso e demorado, demandando maior quantidade de energia, além de todos os problemas causados pelo estresse térmico, tanto aos seres humanos quanto aos animais e vegetais. Em contrapartida, em climas frios o efeito da ilha de calor pode ser benéfico, pois diminui custos com aquecimento, potencializa o conforto em ambientes abertos, reduz os riscos em estradas, como o gelo na superfície das vias ou neblina, entre outros.

Ainda em relação ao clima urbano, é importante destacar as alterações na escala global, que normalmente potencializam ainda mais os efeitos nocivos das ilhas de calor urbano. Neste sentido, Morice et al. (2021) e Osborn et al (2021) discutem o conjunto de dados históricos globais de temperatura da superfície, HadCRUT5 e CRUTEM5, indicando as anomalias de temperatura em todo o mundo. Os resultados demonstram um aquecimento do planeta ao longo de todo o registro.

Com relação ao território brasileiro, Marengo (2007) relata uma tendência de aquecimento desde início do século XX, principalmente na temperatura mínima do período de inverno. O estudo relata que o acúmulo de gases de efeito estufa e as mudanças do uso de terra estão diretamente associados ao aquecimento global e as mudanças climáticas. Neste aspecto, relata que o Brasil é o quarto maior emissor histórico de gases de efeitos estufa do planeta, principalmente devido às queimadas oriundas do desmatamento ilegal.

Arnell et al. (2019), fornecem estimativas de impactos e riscos globais e regionais em aumentos de temperatura média global até 5 °C acima dos níveis pré-industriais. O estudo relata que a probabilidade de uma onda de calor aumenta de 5% em 1981-2010 para 28%.

2.2 Tendências Climáticas e métodos para avaliação

Observar as mudanças de temperatura, sua intensidade, e principalmente suas tendências, é fundamental para o entendimento desse fenômeno. A definição de tendência e dada como “inclinação; vocação; propensão; queda; pendor” (FERREIRA, 2009, p. 770). Então, pode-se considerar que as tendências climáticas são as inclinações do clima em relação a sua média, podendo ser para mais ou para menos,

Muitos estudos relatam a ocorrência de tendências climáticas com foco nas temperaturas (BLOOMFIELD, 1992, POKORNÁ, 2018) Frich *et al.* (2002) observaram se houve alteração entre a magnitude e a frequência dos extremos climáticos na segunda metade do século XX. O estudo utilizou dez indicadores de eventos extremos, baseados em séries de temperatura máxima e mínima diárias e precipitação total diária. Como resultados, apontaram que ocorreu um aumento nas noites quentes e uma diminuição das geadas, apresentando uma tendência de elevação na temperatura global no período estudado e diminuição da amplitude térmica. Os indicadores baseados em dados de precipitação diários demonstram padrões mistos de mudança, mas aumentos significativos foram observados na quantidade extrema derivada de períodos úmidos e número de eventos de chuvas fortes.

Vincent *et al.* (2005) analisaram tendências de índices de extremos diários das temperaturas no continente Sul-Americano. Os autores utilizaram dados climáticos do período de 1960 a 2000 para a avaliação de sua qualidade e homogeneidade, a fim de criar um índice de análise de extremos climáticos. Os resultados não indicam tendências nas temperaturas máximas diárias. Tendências foram encontradas nas temperaturas mínimas diárias, que demonstra um aumento significativo nas noites quentes principalmente durante o verão e o outono.

Huang *et al.* (2010), verificaram as tendências de extremos de temperatura na China com uma série histórica de aproximadamente 40 anos, e utilizou dados diários de temperaturas máximas e mínimas. Os resultados demonstraram que a frequência dos extremos quentes aumentou na maior parte do país, tendo um aumento significativo na região norte.

Minuzzi *et al.* (2010) analisaram as tendências climáticas das temperaturas máxima e mínima, da insolação e do conteúdo de vapor d'água mensais em algumas cidades de Minas Gerais entre os anos de 1960 e 2004 de dez estações meteorológicas do Estado de Minas Gerais. Para a análise das tendências, utilizaram o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK) e a Análise de Regressão para indicação de alterações pelo coeficiente angular da reta. Estes aplicados em três períodos diferentes da série temporal, delimitados por pontos de descontinuidade identificados pelo Teste de Homogeneidade Normal Padrão. Os resultados mostram um incremento das temperaturas máximas e mínimas entre 1,3° e 3,9°, período 1960-2004, ocorrendo principalmente no intervalo dos meses de setembro a dezembro. As tendências positivas ocorreram para o conteúdo de vapor d'água, e uma tendência negativa de insolação, período de 1960 a 1990.

Blain *et al.* (2009) verificaram tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar seis cidade do estado de São Paulo (Campinas, Cordeirópolis/Limeira (coletado na fronteira dos municípios), Monte Alegre do Sul, Pindorama, Piracicaba e Ribeirão Preto). Os dados das cidades de Piracicaba e Campinas foram divididos em três intervalos de trinta anos, 1917 a 1946, 1947 a 1976 e 1977 a 2006. As três amostras de cada cidade foram comparadas entre si, sendo estimada a função de densidade de probabilidade normal e seus parâmetros. Para as outras cidades foram utilizados os mesmos procedimentos, porém os intervalos foram apenas de 1951 a 1978 e 1979 a 2006 devido a menor disponibilidade de dados. Além da distribuição normal, o teste de MK foi usado para a observação de tendências. Nas cidades de Campinas, Cordeirópolis/Limeira e Ribeirão Preto foram detectados tendencias de elevação nas temperaturas mínimas. Não foram identificadas tendências nas séries de Monte Alegre do Sul e Pindorama relacionadas às

temperaturas mínimas. O estudo relata a importância de avaliar os fatores locais e/ou isolar ao avaliar séries históricas de diferentes localidades.

Silva Júnior *et al.* (2020) identificaram tendências na temperatura e precipitação em Recife, Pernambuco, utilizando dados de uma estação meteorológica entre os anos de 1961 e 2017, divididos em três períodos, de 1961 a 1980, de 1981 a 2000 e de 2001 a 2017. Os autores utilizaram testes estatísticos paramétricos, como regressão linear simples, e não paramétricos como MK e Curvatura de Sen, na detecção de tendências de temperatura. Os resultados demonstraram tendências de elevação nas temperaturas máximas, médias e mínimas, dos anos de 1961 a 2017, estas aumentaram 1,20°C, 1,14°C e 0,91°C, respectivamente. Para as tendências de precipitação, pelo método de regressão linear, não foram apontadas tendências, porém, quando estudadas pelos testes não paramétricos, verifica-se uma tendência de diminuição.

Gomes *et al.* (2015) identificaram prováveis tendências de elevação nas temperaturas médias máximas de quatro cidades da Amazônia Central, Estado do Pará, utilizaram dados de temperatura do BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa), que pertence ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), dados compilados de 1980 até 2013. O estudo utilizou-se da técnica de variância para observar se entre os municípios de estudo havia ou não diferenças significativas nas médias da temperatura. O estudo também utilizou o teste de MK e a Curvatura de Sen, para a identificação de tendências. Foram identificadas tendência de elevação em todas as cidades e em todas as estações do ano, com exceção das cidades de Monte Alegre e Óbidos que não apresentaram tendências na primavera e no outono na cidade de Porto Moz.

3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos de verificar tendências anuais da temperatura máxima e mínima do ar entre dois pontos, foram utilizados dados de temperatura máximas e mínimas diárias do período de 2000 a 2019 das estações meteorológicas, nestes dados foi aplicado o teste não paramétrico de Mann-Kendall, (MK), a seguir a descrição completa da metodologia. Essa análise possibilita comparar os resultados obtidos de cada um dos pontos e combinado com as análises das imagens, será possível observar as mudanças de uso de solo e suas influências na temperatura, se existirem.

3.1 Caracterização da área de estudo

O foco deste estudo é a cidade de Campinas., que tem seu surgimento datado do século XVIII, inicialmente como um bairro da Vila de Jundiá, os primeiros habitantes da região foram oriundos da “instalação” do pouso das “Campinas do Mato Grosso”, local de descanso de tropeiros nos arredores da Estrada dos Goiases. Promovendo assim a concentração de pessoas, aproximadamente 185 pessoas no ano de 1767. (Campinas, 2021)

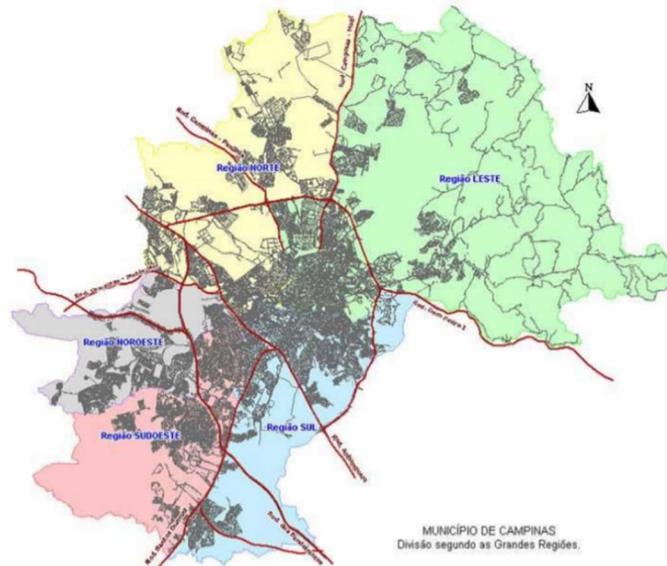
Hoje, Campinas localiza-se em uma área de aproximadamente 800 km² no centro-leste do Estado de São Paulo. Foi estimado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que em 2021 a população da cidade deve ser de pouco mais de 1,2 milhão de pessoas, e entre os anos de 2020 e 2021, a cidade ganhou 9,4 mil novos moradores IBGE (2022).

A cidade está localizada na transição entre o Planalto Atlântico Paulista que fica mais a leste do Estado e a Depressão Periférica predominante na região oeste, o que deixa a cidade com poucas planícies e predominância de ondulações com relevo bastante ondulado e poucas áreas planas. A cidade de Campinas permeia seis importantes bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, sendo elas: Atibaia, Anhumas, Capivari, Capivari Mirim, Jaguari e Quilombo. (CARPI; DAGNINO; SCALEANTE, 2007). A área de estudo está localizada na bacia hidrográfica do Ribeirão Anhumas.

No Guia de Captação de Eventos da cidade de Campinas, o clima é descrito como tropical de altitude, com ventos calmos, predominante sudeste, com média de 23,5 km/h anual, precipitação média de 280,3 mm em janeiro. A temperatura média de janeiro é de 24,7°C; máxima média 29,7 °C; máxima absoluta 36,2°C; mínima média 19,8°C; mínima absoluta 14,0°C. (Campinas, 2015)

A cidade de Campinas é dividida em 5 grandes regiões, como mostra a figura 1, Norte, Noroeste, Leste, Sul e Sudoeste, cada uma delas com suas próprias características.

Figura 1 - Campinas dividida em regiões.



Fonte: Campinas 2015

Dentre elas, o foco do estudo será na Região Norte da cidade, que conta com a segunda maior população dentre as 5 regiões do município, aproximadamente 212 mil habitantes, distribuídos na segunda maior área, quase 166 km², tendo assim a menor densidade demográfica das 5 macrorregiões da cidade. Além de polo Educacional, tecnológico e cultural, ainda conta com hospitais de referência da região e uma das regiões mais prosperas economicamente do município, e é onde estão localizados os dois pontos pretendidos.

3.2 Seleção dos pontos de análise

Para verificar a possível existência de tendências anuais das temperaturas máximas e mínimas do ar, foi feito um levantamento dos dados climáticos de dois pontos que já contam com estações meteorológicas. Os postos estão localizados na região Norte do município de Campinas, a uma distância aproximada de 5,5 km entre eles, como é possível observar na figura 2. A escolha desses pontos fica evidenciada por serem estações meteorológicas de referência da cidade, tendo um banco de dados robusto com o histórico necessário para avaliações temporais como o foco deste trabalho.

Figura 2 - Distância entre os pontos



Fonte: Adaptado do Google Earth 2022

A estação meteorológica do ponto 1 localiza-se na Fazenda Santa Elisa. Que pode ser observada nas figuras 3 e 4. A fazenda pertence ao IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), conta com uma área total aproximada de 765 ha (hectares) sendo: 19 ha de mata nativa, 70 ha de arboretos, 75 ha de várzea, 52 ha de cerrado além dos cursos d'água e represas. (Otaviano, 2008). O ponto 1 está situado na Avenida Dr. Theodureto de Almeida Camargo, 1500 - Jardim Nossa Sra. Auxiliadora

Figura 3 - Ponto 1



Fonte: Adaptado do Google Earth

Figura 4 - Ponto 1 proximidades da estação



Fonte: Adaptado do Google Earth

A estação meteorológica do ponto 2 localiza-se no CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura) no interior da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas), figuras 5 e 6.. A Unicamp tem uma área total de 350 ha, em uma região de vale, sendo circundado por leves colinas, tendo a oeste o bairro Barão Geraldo, ao Sul e a Leste terras agrícolas e a Norte um parque industrial, (Unicamp, 2016).

Figura 5 - Ponto 2



Fonte: Adaptado do Google Earth

Figura 6 - Ponto 2 proximidades da estação



Fonte: Adaptado do Google Earth

Para a interpretação dos possíveis efeitos das mudanças de uso de solo e vegetação arbórea adensada, foi delimitado um raio de 2 km tendo como ponto central cada uma das estações meteorológicas Stewart e Oke (2012) determinam que cada zona climática deve ter um raio mínimo de 200 a 500 m. Dentro deste raio, foi possível analisar as mudanças de uso e ocupação do solo para obtermos as comparações de 2002 com 2019 de cada recorte e entre eles.

A classificação do uso e ocupação do solo foi realizada visualmente, com a criação de polígonos no software Qgis de forma manual, baseando-se na metodologia de Ferreira (1995), utilizada por Targa *et al.* (2012), porém, adaptada com as seguintes classificações:

- Alta Ocupação - utilizada quando há maior adensamento, com uma maior proximidade entre as construções e menor área verde. E quando as construções são imediatas entre si, e as áreas verdes são praticamente inexistente.
- Média Ocupação - vegetação arbórea nas vias, gramados em jardins e quintas, além de maior espaçamento entre as construções, presença de praças e terrenos vazios entre as construções.
- Baixa Ocupação - foi aquela onde a ocupação por construções era muito baixa e espaçada ou inexistente.

Já para quantificar a vegetação arbórea adensada o critério visual utilizado foi a presença contínua de árvores, de maneira adensada sem a presença de vazios entre elas.

A análise de área de lâmina d'água foi feita de maneira visual e mensurada a área no Qgis como as anteriores.

3.3 Coleta de dados

Os dados utilizados para o desenvolvimento das análises pelo teste de MK (Mann-Kendall), são provenientes das estações meteorológicas do ponto 2 e do ponto 1. Sendo utilizadas as temperaturas máximas e mínimas diárias. Os dados pertencem a um intervalo de 01/01/2000 a 31/12/2019, correspondendo a 20 anos.

Os dados de temperaturas máximas e mínimas do ponto 2 apresentaram lacunas equivalentes a aproximadamente 0,2%. Estudos relatam a existência de métodos e técnicas como o cálculo da média aritmética entre dados de estações próximas, redes neurais, método do inverso da distância, método da ponderação regional, regressão linear simples, método da razão normal, entre outros (BIER; FERRAZ, (2017); FERREIRA *et al.*, (2017); SANTOS, (2016)). Porém, a estação mais próxima ao ponto citado, é exatamente a estação a qual está sendo utilizada como ponto de comparação. Desta forma, optou-se por desprezar estes dados, visto que a porcentagem de lacunas é pequena perante a quantidade de dados analisados.

3.3.1 Análise de tendências

Para a análise de tendência, o método escolhido foi o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK). O teste de MK foi proposto a princípio por Sneyers (1975), e é uma das alternativas adequadas e utilizadas para a observação de tendências. De acordo com Silva Junior (2020) o MK é um método que permite que as tendências sejam identificadas estatisticamente de forma significativa.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM), sugere o teste não paramétrico de MK (MANN, 1945; KENDALL, 1975), para avaliar possíveis tendências em séries históricas de dados climáticos ambientais por sua eficiência. (WIASB, 2015)

Segundo a literatura, para o tratamento estatístico dos dados de temperatura do ar, a fim de determinar as tendências de temperatura, um dos métodos mais utilizado é o de (MK),

3.3.2 Teste não paramétrico de Mann-Kendall

Para a realização do teste de MK, usam-se as hipóteses “H0” ou hipótese nula, quando os dados não apresentam tendências, e a hipótese “HA”, a hipótese alternativa, como aquela que denota uma tendência, podendo ser de aumento ou diminuição dentre os dados analisados, quando o valor do índice “Z” é inferior ao valor de “a” que representa o nível de significância adotado, que normalmente é adotado entre os valores de 0,10; 0,05 ou 0,01 (MANN, 1945).

A variável “S”, para uma série de “N” dados do teste de MK é obtida pelo somatório das diferenças em pares, do total de valores da série “xi” em relação aos valores “xj”. Eq. (1) e (2).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{t=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{se } x_j > x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases} \quad (2)$$

A variável “S” é normalmente distribuída e tem variância “V(S)” uma vez que $N \geq 10$. Kendall (1975) Eq. (3)

$$V(S) = \frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5)] \quad (3)$$

Como $N \geq 10$, podemos calcular a estatística do teste de MK “Z”, como segue na Eq (4).

$$Z = \frac{S-m}{\sqrt{V(S)}} \quad (4)$$

Para a obtenção do coeficiente do parâmetro “m”, deve seguir: Eq. (5)

$$m = \begin{cases} 1; & \text{se } S < 0 \\ 0; & \text{se } S = 0 \\ -1; & \text{se } S > 0 \end{cases} \quad (5)$$

Com o resultado de “Z”, pode-se realizar a comparação com “U” para a verificação da existência ou não de tendência.

Na literatura, a significância “a” mais utilizada é de 0,05, o que ao decorrer de sua equação resultará em um valor de “U” de 1,96, o valor de “Z” será aceito sempre que estiver no intervalo de -1,96 a 1,96. sendo possível a observação das tendências, pelos valores positivos ou negativos, correspondendo respectivamente a tendência de elevação ou queda. A hipótese H0 é rejeitada caso “|Z|” seja menor que $U_{1-a/2}$ onde $(1-a/2)$ é o quantil da distribuição normal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as análises realizadas nas amostras pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall, foram constatadas tendências de elevação, nas temperaturas máximas diárias tanto do ponto 2, quanto do ponto 1, dentro do intervalo temporal de estudo, que corresponde aos dados de temperatura de 01/01/2000 a 31/12/2019. A partir do teste de MK é possível observar que o somatório “S” do ponto 1 corresponde a 687.675, e o somatório “S” do ponto 2 a 775.432, indicando que o ponto 2 no intervalo teve mais dias quentes, observando as tendências pela temperatura máxima de ambos os pontos.

Para elucidar estas tendências nos testes realizados, pode-se observar nas tabelas 2 e 3 os resultados do ponto 2 na evolução anual do teste de MK para as temperaturas máximas e mínimas diárias, e nas tabelas 4 e 5 pode-se observar os resultados do teste de MK e sua evolução para as temperaturas máximas e mínimas do ponto 1.

Tabela 1 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas mínimas diárias de 2000 a 2009 do ponto 2

	Ano									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
N	366	731	1096	1461	1827	2192	2557	2922	3288	3653
S	-6166	-18559	-10553	-102336	-229023	-263279	-304292	-287505	-337061	-161383
Z	-2,637	-2,814	-0,872	-5,495	-8,795	-7,694	-7,058	-5,459	-5,362	-2,192
U	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960

Fonte: Autor

Tabela 2 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas mínimas diárias de 2009 a 2019 do ponto 2.

	Ano									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
N	4018	4383	4749	5114	5479	5844	6210	6562	6923	7288
S	-67921	24206	173868	135786	137037	236952	130306	36970	107061	318597
Z	-0,800	0,250	1,594	1,114	1,014	1,591	0,799	0,209	0,558	1,536
U	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960

Fonte: Autor

Na tabela 1 que retrata o teste de MK para as temperaturas mínimas do ponto 2 no período, na análise realizada, os valores de “|Z|” superam “|U|”, porém, sempre com valores de somatório “S” negativos, denotando uma tendencia de diminuição da temperatura de 2000 a 2009, com única exceção no ano de 2002, que por mais que o valo de “S” seja negativo, o “|Z|” não foi maior que “|U|”.

Na tabela 2 é possível verificar que a tendência de diminuição observada na tabela 1 é inexistente a partir do ano de 2010.

É possível observar também que os valores de “S” e “Z” vem crescendo com o passar do tempo, por mais que, no período analisado não seja possível observar tendências significativas de elevação de temperatura pelo teste de MK.

Tabela 3 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas máximas diárias de 2000 a 2009 do ponto 2.

	Ano									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
N	366	731	1096	1461	1827	2192	2557	2922	3288	3653
S	-2183	-2429	26547	10601	-58834	-33373	-99306	-162467	-322607	-272261
Z	-0,934	-0,368	2,194	0,569	-2,259	-0,975	-2,303	-3,085	-5,132	-3,699
U	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960

Fonte: Autor

Tabela 4 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas máximas diárias de 2000 a 2019 do ponto 2.

	Ano									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
N	4018	4383	4749	5114	5479	5844	6210	6562	6923	7288
S	-19712	205444	428444	325383	613167	574352	617155	546524	576713	775432
Z	-0,232	2,124	3,927	2,669	4,535	3,856	3,783	3,084	3,003	3,739
U	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960

Fonte: Autor

Analisando os dados do teste de MK das temperaturas máximas do ponto 2 mostrados na tabela 3, observa-se que no ano de 2002 ocorreu uma tendência de elevação, ainda mais quando comparado ao somatório “S” dos anos anteriores apresentados na tabela, e repentinamente no ano de 2002 apresenta um somatório positivo que acaba levando consigo o “[Z]” para valores superiores a “[U]”.

Entre 2006 e 2009, as tendências foram de diminuição nas temperaturas, em 2010 estabilizaram, e a partir de 2011 permanecem em tendências de elevação constante como pode ser observado na tabela 4.

As temperaturas mínimas do ponto 1 mostradas nas tabelas 5 e 6, explicitam a presença de tendência "negativa" nos anos de 2000 e 2001, “positiva” no ano de 2002, (igual ao ocorrido no mesmo período na análise das temperaturas máximas do ponto 2.), e novamente “negativa” de 2009 a 2014, tendo seu ápice de tendência em 2011 e sua maior somatória negativo no ano de 2013.

Tabela 5 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas mínimas diárias de 2000 a 2009 do ponto 1

	Ano									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
N	366	731	1096	1461	1827	2192	2557	2922	3288	3653
S	-5648	-14270	28960	15900	-35294	-13529	-24916	23755	-62678	-168600
Z	-2,415	-2,164	2,393	0,854	-1,355	-0,395	-0,578	0,451	-0,997	-2,290
U	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960

Fonte: Autor

Tabela 6 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas mínimas diárias de 2010 a 2019 do ponto 1

	Ano									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
N	4018	4383	4749	5114	5479	5844	6210	6575	6940	7304
S	-365779	-618489	-644608	-705307	-543725	-240715	-170914	-147218	-108111	174986
Z	-4,308	-6,393	-5,908	-5,785	-4,022	-1,616	-1,048	-0,828	-0,561	0,841
U	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,96	1,96	1,96	1,96

Fonte: Autor

Na análise dos resultados do teste de MK com os dados das temperaturas máximas do ponto 1, nas tabelas 7 e 8, pode-se notar que o padrão da tendência de elevação de 2002 novamente se repete, seguido por tendência de diminuição em 2004 e 2005, e segue de 2009 a 2013 com tendências de redução, semelhante ao ocorrido nos resultados das temperaturas mínimas do mesmo ponto. Porém, nas mínimas a tendência permanece até 2014.

Tabela 7 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas máximas diárias de 2000 a 2009 do ponto 1.

	Ano									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
N	366	731	1096	1461	1827	2192	2557	2922	3288	3653
S	-259	-2661	28758	-7714	-100894	-122575	-122507	-25735	-142883	-348086
Z	-0,111	-0,404	2,376	-0,414	-3,874	-3,582	-2,842	-0,489	-2,273	-4,729
U	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960

Fonte: Autor

Tabela 8 - Evolução dos resultados do teste de MK nas tendências anuais, com os dados das temperaturas máximas diárias de 2000 a 2019 do ponto 1.

	Ano									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
N	4018	4383	4749	5114	5479	5844	6210	6575	6940	7304
S	-459441	-622628	-563839	-610110	-208935	-135771	45389	81058	301478	687675
Z	-5,411	-6,436	-5,168	-5,004	-1,545	-0,912	0,278	0,456	1,564	3,305
U	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960

Fonte: Autor

Para avaliar as mudanças do uso do solo e sua cobertura no período de estudo foram utilizadas imagens do Google Earth do ano de 2002 e 2019. A escolha destes anos justifica-se devido ao fato que 2019 é o último ano de análise e 2002 apresenta uma melhor resolução que os anos 2000 e 2001.

Na análise de densidade de construções, pode-se observar na figura 7, que o ponto 2 dentro do raio estabelecido, apresentou em 2002 aproximadamente 23% da área com densidade de construções alta, 20% média e 57% baixa como também é possível observar na tabela 9.

Figura 7 – Ocupação no entorno do ponto 2. Ano 2002



Fonte: Adaptado do Google Earth 2002

Figura 8 – Ocupação no entorno ponto 2. Ano 2019



Fonte: Adaptado do Google Earth 2019

Quando observado o ano de 2019 na figura 8, verifica-se que a área de baixa densidade reduziu para 52%, enquanto a área de média e de alta apresentou um acréscimo, atingindo 24% e 25% respectivamente. A área de alta densidade cresceu 8%, e a área de média 20%, no total, a área de baixa apresentou uma redução de 8,77% nesses 17 anos como é possível observar na tabela 10

Tabela 9 - Ocupação no entorno do ponto 2. Ano 2002

Ocupação	ha	%
Alta	281	23%
Média	254	20%
Baixa	713	57%
Área total	1249	100%

Fonte: Autor

Tabela 10 - Ocupação no entorno do ponto 2. Ano 2019

Ocupação	ha	%
Alta	309	25%
Média	295	24%
Baixa	645	52%
Área total	1249	100%

Fonte: Autor

Comparando com o recorte do ponto 1, no ano de 2002 na figura 9, a área de alta densidade era de aproximadamente 30%, a média 13% e a de baixa 57%, ou seja, a área de baixa densidade de ambos os pontos em 2002 possuíam valores semelhantes, porém a área de

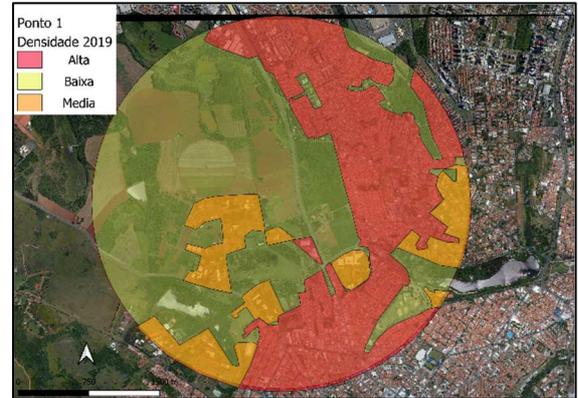
alta densidade do ponto 1 no ano era 23% maior e, conseqüentemente, a área de média, 35% menor. Como é possível comparar nas tabelas 9 e 11.

Figura 9 - Ocupação no entorno do ponto 1.
Ano 2002



Fonte: Adaptado do Google Earth 2002

Figura 10 - Ocupação no entorno do ponto 1.
Ano 2019



Fonte: Adaptado do Google Earth 2019

A análise de 2019 do ponto 1 na figura 10, mostra um acréscimo na área de alta densidade de 20%, chegando a 36% da área total do recorte. A área de média manteve-se praticamente igual, tendo uma redução de 13% para 12% e a área de baixa reduziu de 57% para 52% redução de 9,6%, mais uma vez ficando igual a área de baixa densidade do ponto 2. Como é possível comparar nas tabelas 10 e 12.

Tabela 11 – Ocupação no entorno do Ponto 1.
Ano 2002

Ocupação	ha	%
Alta	37,7	30%
Média	16,0	13%
Baixa	71,2	57%
Área total	1249	100%

Fonte: Autor

Tabela 12 – Ocupação no entorno do Ponto 1.
Ano 2019

Ocupação	ha	%
Alta	44,5	36%
Média	15,6	12%
Baixa	64,8	52%
Área total	124,9	100%

Fonte: Autor

Seguindo as análises de imagens, foram levantadas as porcentagens de áreas com vegetação arbórea densa e espelhos d'água.

Figura 11 - Vegetação e água (2002). Ponto 2



Fonte: Adaptado do Google Earth 2002

Figura 12 - Vegetação e água ponto (2019). Ponto 2



Fonte: Adaptado do Google Earth 2019

Tabela 13 - Vegetação e água 2002. Ponto 2

Ocupação	ha	%
Vegetação	70,84	5,67%
Água	11,18	0,90%
Área total	1249	100%

Fonte: Autor

Tabela 14 - Vegetação e água 2019. Ponto 2

Ocupação	ha	%
Vegetação	247,92	19,85%
Água	11,18	0,90%
Área total	1249	100%

Fonte: Autor

Em 2002, apenas 5,67% da área total do raio do Ponto 2 era ocupada por vegetação que pode ser observado na figura 11, aproximadamente 71ha, enquanto o ponto 1 no mesmo período possuía aproximadamente 138,77ha como mostra a figura 13, uma área de quase o dobro, área esta que correspondia a 11,11% da área total. Mostrado nas tabelas 13 e 15.

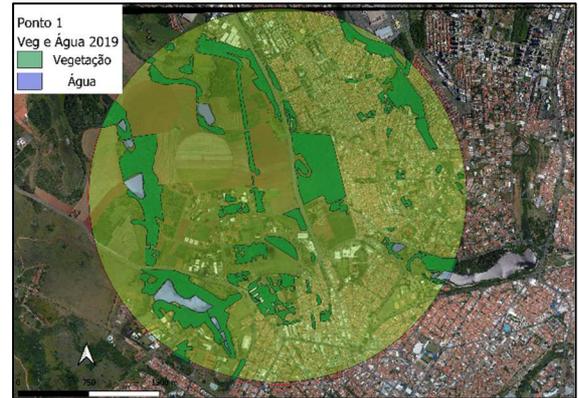
No ano de 2019, a área de vegetação arbórea densa do ponto 2 (19,85%), atingiu nível superior ao do ponto 1 (16,99%). A maior diferença que pode ser observada entre as áreas, é a proporção de lâmina d'água presente no raio no ano de 2002. No Ponto 2 as lâminas correspondem a 11,18 ha, o equivalente a 0,9% da área total. Já no ponto 1 a ocupação da área por lâmina d'água é de 20,78ha, área equivalente a 1,66% da área total.

Figura 13 - Vegetação e água (2002) . Ponto 1



Fonte: Adaptado do Google Earth 2002

Figura 14 - Vegetação e água (2019). Ponto 1



Fonte: Adaptado do Google Earth 2019

Tabela 15 - Vegetação e água 2002 ponto 1

Ocupação	ha	%
Vegetação	138,77	11,11%
Água	20,78	1,66%
Área total	1249	100%

Fonte: Autor

Tabela 16 - Vegetação e água 2019 ponto 1

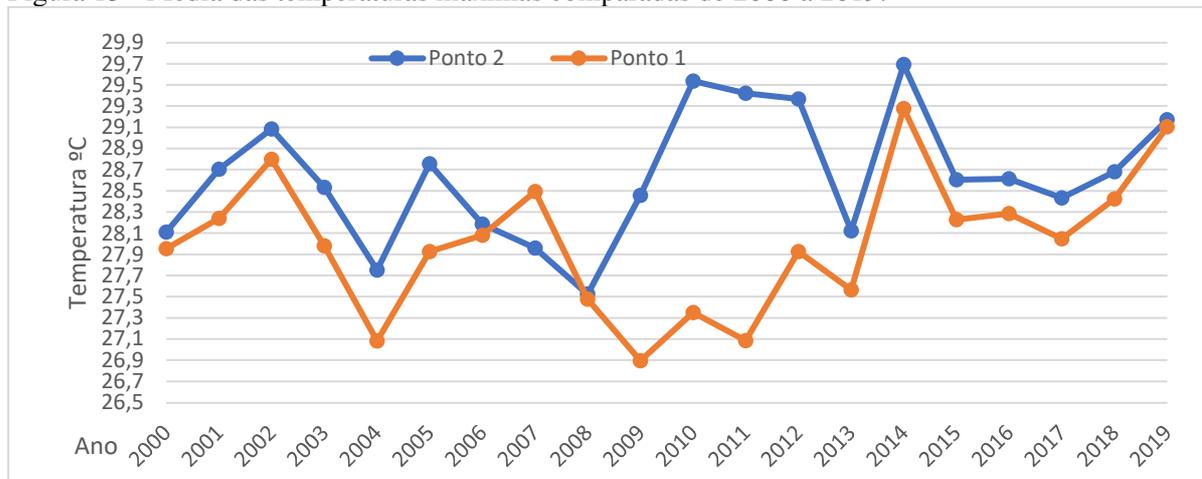
Ocupação	Há	%
Vegetação	212,20	16,99%
Água	20,78	1,66%
Área total	1249	100%

Fonte: Autor

Santos (2016), a partir de mapas termodinâmicos do bairro Atalaia na cidade de Aracaju no estado do Sergipe, verificou que os locais que possuíam áreas verdes apresentavam temperaturas mais baixas, formando ilhas de frescor. A autora especifica ainda que este fenômeno ocorre não somente pela presença da vegetação, mas também por corpos d'água.

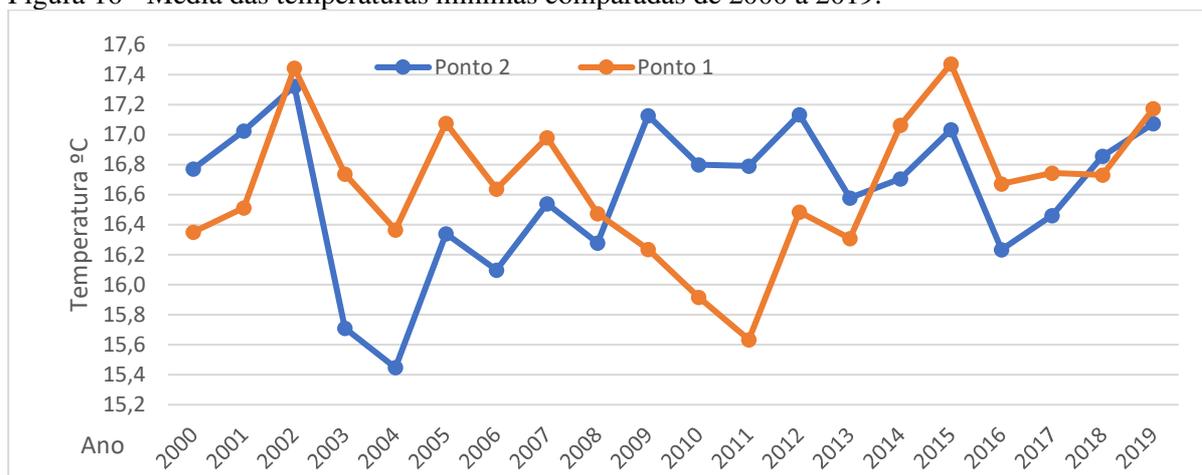
As figuras 15 e 16 mostram os dados das temperaturas coletados no intervalo de 20 anos.

Figura 15 - Média das temperaturas máximas comparadas de 2000 a 2019.



Fonte: Autor

Figura 16 - Média das temperaturas mínimas comparadas de 2000 a 2019.



Fonte: Autor

De acordo com as médias das temperaturas máximas e mínimas, pode-se observar que dentro do intervalo estudado, as temperaturas aferidas na estação do ponto 1 na média das máximas, só não supera a média máxima do ponto 2 no ano de 2007. Já nas médias das

mínimas anuais, o ponto 2 ficou com as médias mais elevadas em 12 dos 20 anos, e o ponto 2 com os outros 8 anos restantes.

Pode-se destacar nessa observação, a diferença tanto das médias máximas como das mínimas nos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012, chegando a 2,3°C na média da temperatura máxima e 1,2°C na média das mínimas do ano de 2011 como pode ser visto nas tabelas 18 e 19.

Tabela 17 - Média das temperaturas máximas comparadas de 2009 a 2012.

Ano	Ponto 2	Ponto 1	Diferença °C
2009	28,46	26,90	1,56
2010	29,54	27,35	2,19
2011	29,42	27,08	2,34
2012	29,37	27,93	1,44

Fonte: Autor

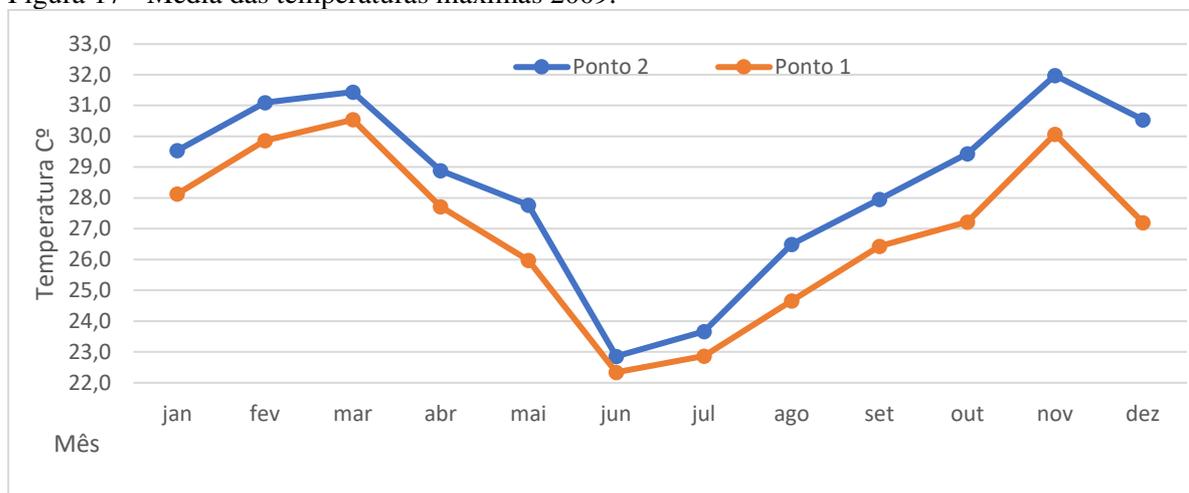
Tabela 18 - Média das temperaturas mínimas comparadas de 2009 a 2012.

Ano	Ponto 2	Ponto 1	Diferença °C
2009	17,13	16,24	0,89
2010	16,8	15,92	0,88
2011	16,79	15,63	1,16
2012	17,13	16,49	0,64

Fonte: Autor

Como os dados observados nas figuras 15 e 16 e nas tabelas 17 e 18 referem-se às temperaturas médias de cada ano, foi realizado o estudo anual das temperaturas, assim pode-se observar as médias mensais das temperaturas máximas e mínimas de cada um dos anos.

Figura 17 - Média das temperaturas máximas 2009.



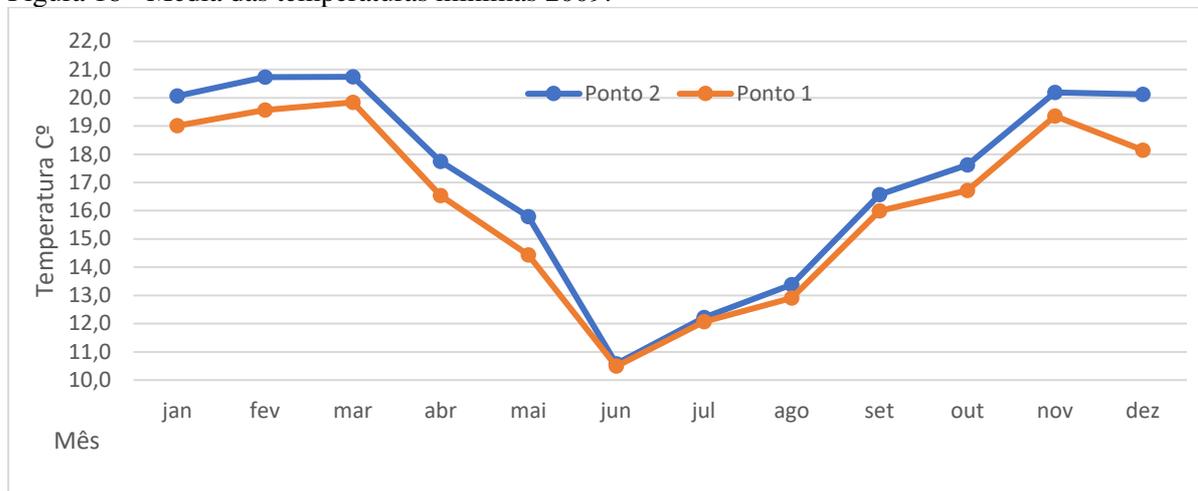
Fonte: Autor

A figura 17, que representa o gráfico das médias das temperaturas máximas dos pontos no ano de 2009, ano este em que a diferença média entre as médias das máximas foi de 1,6°C, revela que dentre os doze meses do ano, cinco deles apresentaram diferença maior que a média, podendo destacar o mês de dezembro, onde a diferença chegou a 3,3°C.

A figura 18, que representa as médias das temperaturas mínimas dos pontos em 2009 correspondente a 0,9°C, mostra que em sete meses do ano, a diferença entre as temperaturas foi maior que a média, destacando o mês de dezembro, onde a diferenças das mínimas foi de

2,0°C, mais que o dobro da média da diferença. Pode-se observar também que o mês que apresentou a menor diferença entre os pontos foi o de junho, onde a diferença entre as máximas foi de 0,5°C, e entre as mínimas de 0,1°C.

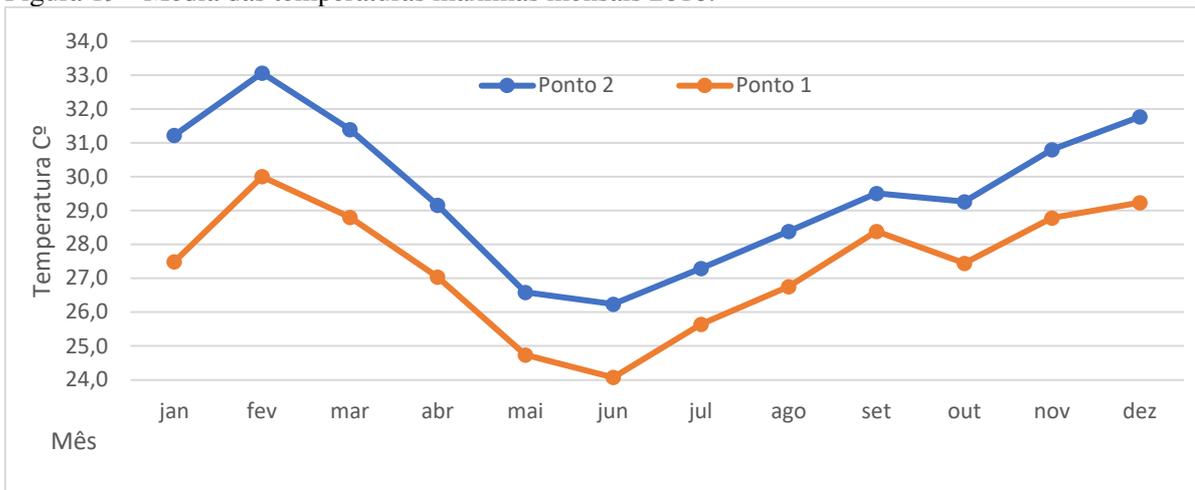
Figura 18 - Média das temperaturas mínimas 2009.



Fonte: Autor

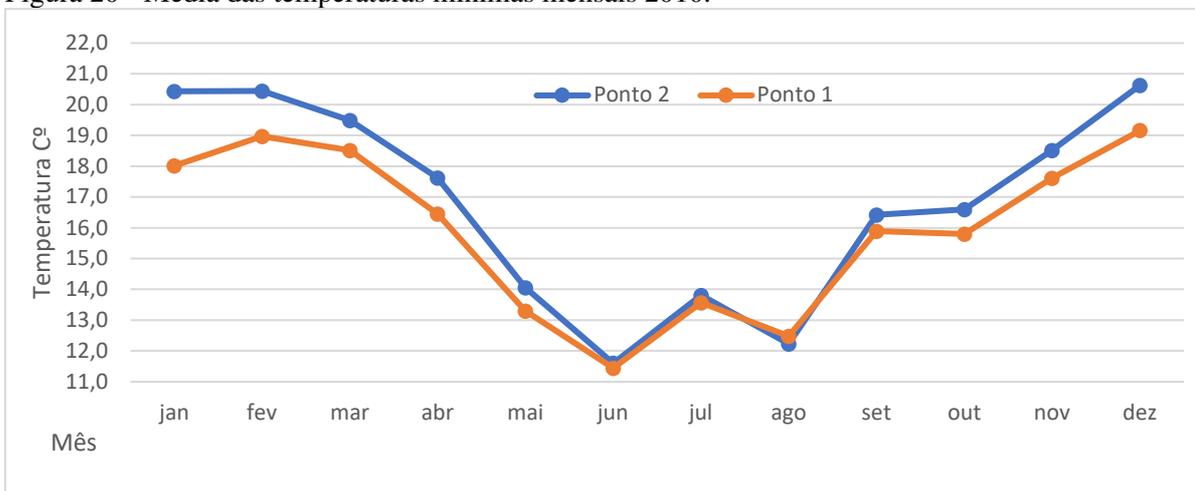
Nas figuras 19 e 20, pode-se observar os dados das médias das temperaturas máximas e médias das temperaturas mínimas do ano de 2010, respectivamente, tendo diferença média de 2,2°C na média das máximas e de 0,9°C das mínimas. Dentre as médias máximas, foi o ano que apresentou menos meses com diferenças acima da média, apenas quatro, e a maior diferença apresentou-se no mês de janeiro, 3,7°C, e a menor, de 1,1°C foi registrada em setembro. No campo das médias mínimas, seis meses apresentaram diferenças superiores à média, sendo destaque também o mês de janeiro, com uma diferença de 2,4°C. O mês de agosto apresentou uma diferença de 0,2°C, porém, desta vez, o ponto 1 possui a mínima mais quente.

Figura 19 - Média das temperaturas máximas mensais 2010.



Fonte: Autor

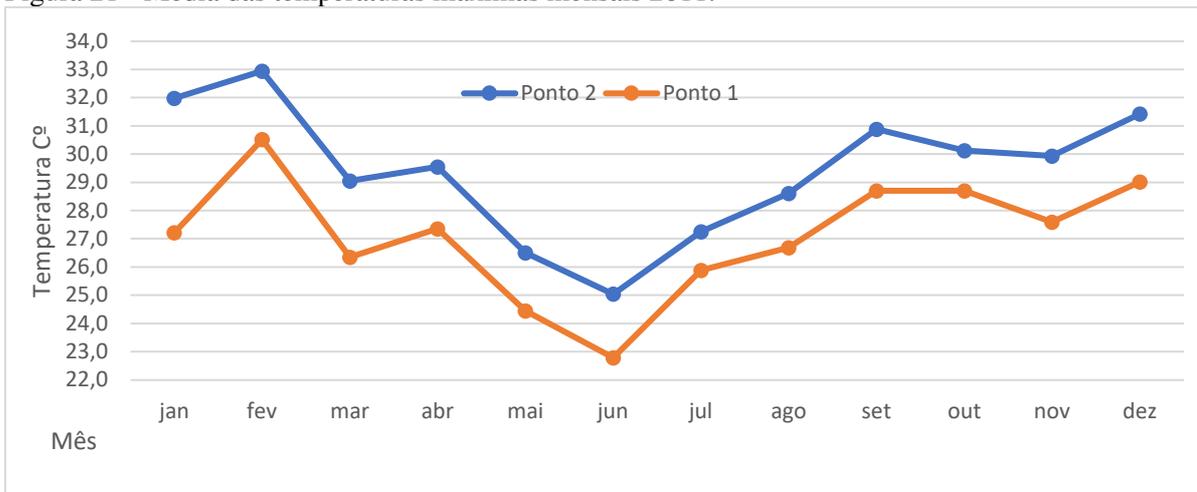
Figura 20 - Média das temperaturas mínimas mensais 2010.



Fonte: Autor

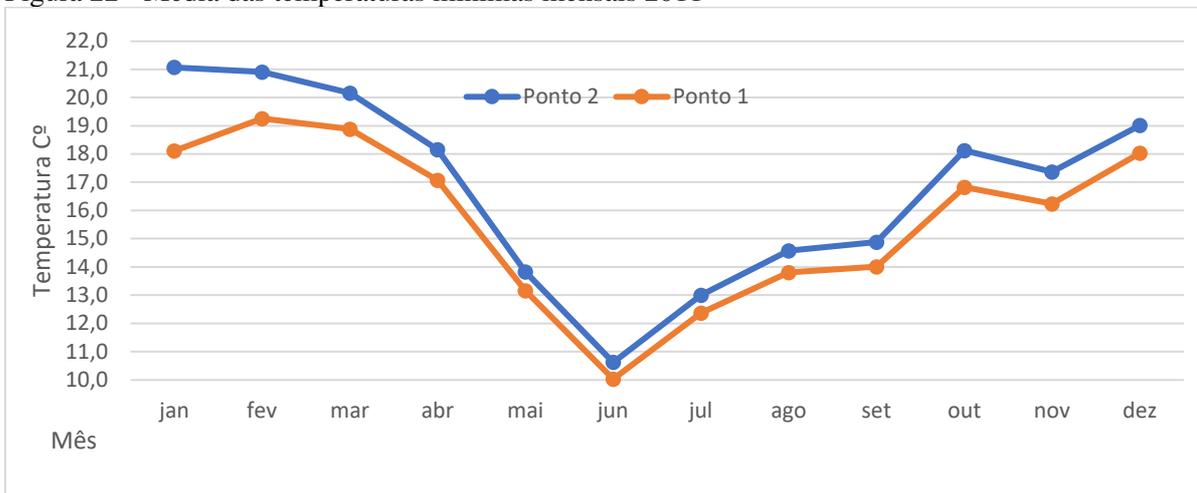
O ano de 2011 é o que apresenta maior diferença entre as temperaturas médias máximas e mínimas obtidas nos pontos como é possível observar nas figuras 21 e 22. Na média, a diferença entre as máximas foi de 2,3°C sendo superada em 5 meses com destaque para janeiro com 4,8°C, a maior diferença encontrada na comparação dos 20 anos, e 1,2°C para as mínimas, sendo superada em 4 meses, com a maior diferença no mês de janeiro, com 3°C. As menores diferenças foram nos meses de julho com 1,4°C para as máximas e junho com 0,6°C para as mínimas.

Figura 21 - Média das temperaturas máximas mensais 2011.



Fonte: Autor

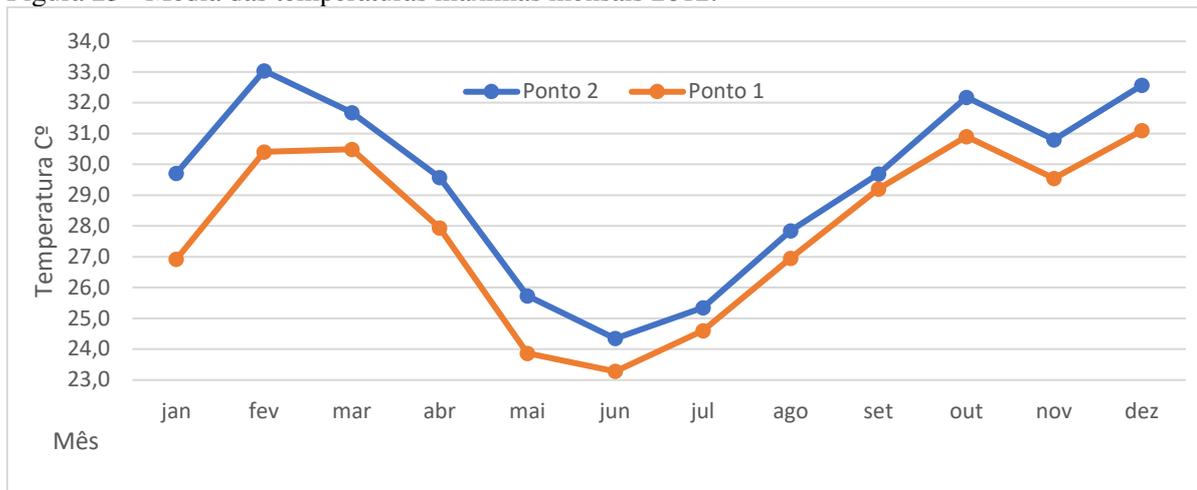
Figura 22 - Média das temperaturas mínimas mensais 2011



Fonte: Autor

Na figura 23, a média das diferenças representadas é a menor no intervalo de 2009 a 2012 destacado pela figura 15 e tabela 17 correspondendo a 1,4°C, com cinco meses de diferenças maiores que a média, sendo mais uma vez o mês de janeiro o destaque com 2,8°C, e a menor diferença foi encontrada no mês de setembro, com 0,5°C.

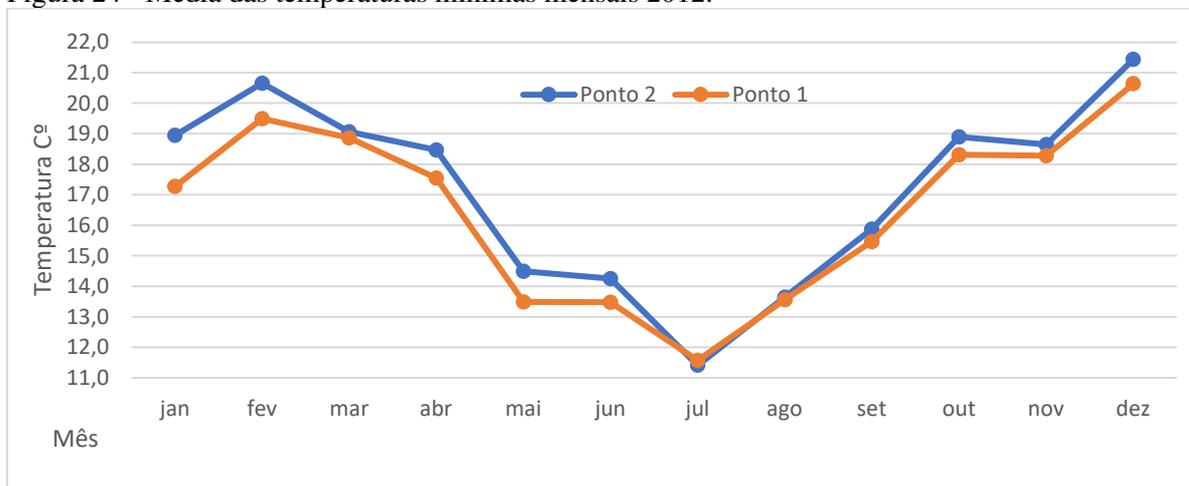
Figura 23 - Média das temperaturas máximas mensais 2012.



Fonte: Autor

Na figura 24, que representa as médias das temperaturas mínimas dos pontos em 2012, a diferença média entre os pontos foi de 0,6°C. Verifica-se que em seis meses do ano, a diferença entre as temperaturas foi maior que a média, com destaque para janeiro com 1,7°C, assim como na figura 23, onde janeiro foi o destaque. Também pode ser observado que o mês que apresentou a menor diferença entre os pontos foi o mês de julho, com uma diferença de 0,2°C.

Figura 24 - Média das temperaturas mínimas mensais 2012.



Fonte: Autor

Na busca por possíveis motivos que levaram às diferenças das temperaturas dos anos de 2009 a 2012, tanto entre pontos quanto no geral da estação do ponto 2, foi encontrada uma mudança do uso do solo e presença de solo exposto em suas imediações. O início deste processo de solo exposto data de 2009, corresponde a uma área de aproximadamente 3,53 ha, situada a uma distância aproximada de 1600 m da estação.

No ano de 2010 a presença de áreas de solo exposto diminuiu, conjuntamente com o fim das obras, resultando na edificação do LNBR - Laboratório Nacional de Biorrenováveis. Porém, uma nova área de solo exposto surgiu, desta vez para a construção do prédio da LRAC - Laboratório de Caracterização de Biomassa, Recursos Analíticos e de Calibração, com área de aproximadamente 1,12ha, e área construída final de aproximadamente 2000 m², além das modificações no solo da área de agricultura 36,1ha aproximadamente, áreas com distancia respectiva de 211 m e 388 m.

No mesmo ano, ainda ocorreu a remoção de uma mata de aproximadamente 5740 m² distante 230 m da estação, e uma exposição de solo em uma área de aproximadamente 8000 m² onde foi executada a obra de um restaurante da Unicamp e outras obras adjacentes. Em 2011, dentro de um raio de 2km da estação, existiam 10 pontos de áreas de solo exposto para obras, com área aproximada de 24,24 ha, além da área agrícola, com uma área aproximada de 135 ha, como pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 – Obras, movimentações de terra e áreas de solo exposto nas imediações da estação do ponto 2 em 2011



Fonte: Adaptado Google Earth, 2011

5 CONCLUSÕES

A partir do teste não paramétrico de Mann-kendall foram constatadas tendências de elevação nas temperaturas máximas diárias dos dois pontos de análises no período de 20 anos, 2009 a 2019. Com relação às temperaturas médias mínimas no ponto 2, verificou-se uma tendência de elevação da temperatura entre o período de 2000 a 2009, com exceção do ano de 2002 que apresentou uma tendência negativa, e a partir de 2009 tendência nula. O ponto 1 apresentou uma tendência negativa no período de 2000 a 2001, positiva no ano se 2002 e negativa no período de 2009 a 2014.

Ao verificar a evolução da ocupação urbana a partir do uso e ocupação do solo em um raio de 2 Km, verificou-se nos 20 anos de análises que a área de alta densidade do ponto 2 apresentou um acréscimo de 2%, a área de média densidade 4% e a área de baixa apresentou uma redução de 5%. Em contrapartida, no ponto 1 a área de alta densidade apresentou um acréscimo de 6%, e as áreas de média e baixa densidade apresentaram uma redução de 1% e 5%, respectivamente.

Ao avaliar os dados de temperatura do ar no período de análise de 20 anos, verificou-se que o ponto 2 apresentou maiores valores tanto da temperatura do ar média máxima, 2,3°C, quanto na temperatura do ar média mínima, 1,2°C. Neste aspecto verificou-se que a presença de vegetação no início do período de análise, ano 2002, era de aproximadamente 11% no ponto 1 e 6% no ponto 2%. Porém, no ano de 2019 a porcentagem de vegetação foi de 17% no ponto 1 e 20% no ponto 2. Apesar de índices próximos o ponto 1 está próximo de uma área de mata nativa, e próximo de vegetação arbórea adensada. Esta proximidade pode ter contribuído para a a diferença térmica no período de análise

Fica a lacuna ainda para a verificação por métodos estatísticos de quanto é essa elevação apresentada nas tendências das temperaturas, e se são inferiores ou superiores às perspectivas globais.

REFERÊNCIAS

ALVES, E. D. L.. Ilha de calor urbana em cidade de pequeno porte e a influência de variáveis geourbanas. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 13, v. 20, jan/jul 2017.

ARNELL, N. W. et al. Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. *Climatic Change*, v. 155, n. 3, p. 377–391, 2019.

BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T., Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos para Estações no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2, p. 215-226, Apr-Jun 2017.

BLAIN, G. C.; PICOLI, M. C. A.; LULU, J., Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no estado de São Paulo. *Agrometeorologia • Bragantia*, 68(3): 807-815, Campinas, 2009.

BLOOMFIELD, P. Trends in global temperature. *Climatic Change* 21, 1–16, 1992.

IBGE. Estimativas da População: Tabelas.: Estimativas da População. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=31451&t=resultados>. Acesso em: 20 jul. 2022.

CAMPINAS (SP). Prefeitura. 2021. Disponível em: <<https://www.campinas.sp.gov.br/sobre-campinas/campinas.php>> Acesso em: 15 de agosto de 2021

CAMPINAS (SP). Prefeitura. Relatório de informações sociais do município de campinas. Campinas, 2015. Disponível em: https://smcais-vis.campinas.sp.gov.br/sites/smcais-vis.campinas.sp.gov.br/files/arquivos/relatorio_de_informacoes_sociais_campinas_2015.pdf Acesso em: 28 de agosto de 2021

CARPI, S.; DAGNINO, R.de S.; SCALEANTE, O. A. F., Percepção e mapeamento de riscos em campinas/SP. *OLAM Ciência & Tecnologia*, Rio Claro, ano VII, v. 7, n. 1, p. 545-568, Maio 2007.

CEBDS, 2015: Riscos Climáticos: Como o setor empresarial está se adaptando? Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, 2015. 52 p.

CUI, Linli; SHI, Jun. *Urbanization and its environmental effects in Shanghai, China. Urban Climate*, China, n. 2, p. 1-15, 2012

FERREIRA, A. Y. Y. *et al.* Análise de tendência em séries de dados pluviométricos na bacia hidrográfica do rio das cinzas. *In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos, XXII., 2017, Florianópolis, 2017.*

FERREIRA, A. B. de H.. *Miniaurélio*. 7ª ed. rev. e ampl.. Curitiba: Ed. Positivo, fev. 2009.

FERREIRA, C. F. Produção do espaço urbano e degradação ambiental: um estudo de caso sobre a várzea do Igarapé do Tucunduba Belém-Pará. 1995. 120f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Coordenadoria de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, G.; HAYLOCK, M.; PETERSON, T., *Observed coherent changes in climate extremes during the second half of the century. Climate Research, Roskild*, v.19, p. 193-212.

GOMES, A. C. DOS S.; COSTA, M.da S.; COUTINHO, M. D. L.; VALE, R. S. DO; SANTOS, M. S. dos; SILVA, J. T. da; FITZJARRALD, D. R.. Análise Estatística Das Tendências De Elevação Nas Séries De Temperatura Média Máxima Na Amazônia Central: Estudo De Caso Para A Região Do Oeste Do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 11, v. 17, p. 82-97, jul/dez 2015.

HUANG, D., QIAN, Y., ZHU, J. *Trends of temperature extremes in China and their relationship with global temperature anomalies. Adv. Atmos. Sci.* 27, 937–946, 2010.

IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, *et al.* (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Aquecimento Global de 1,5°C: Sumário para Formuladores de Políticas. Ipcc, p. 28, 2019. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>>.

IPCC. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan. Cambridge University Press. In Press., 2021.

KENDALL, M.G. *Rank Correlation Methods, 4th Edition*, Charles Griffin, London, 1975.

KRELLENBERG, K.; JORDÁN, R.; REHNER, J.; INFANTE, A. S. B.; BARTH, K.; PÉREZ, A., *Adaptation to climate change in megacities of Latin America: Regional Learning Network of the research project Climate Adaptation Santiago (CAS). Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), Santiago, Chile, 2014.*

LEVIN, K.; BOEHM, S.; CARTER, R., Impacto das mudanças climáticas: 6 descobertas do relatório do IPCC de 2022 sobre adaptação. In: WRI Brasil. Brasil, 3 mar. 2022.

LOMBARDO, M. A., *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*, Editora Hucitec com apoio de Lalekla SA Comércio e Indústria, 1985.

MANLEY, G., On the Frequency of Snowfall in Metropolitan England. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84, 70-72, 1957.

MANN, H. B. N., Tests Against Trend. *Econometrica*, Wiley, Econometric Society, vol. 13, no. 3, pp. 245–59, 1945.

MARENGO, Jose A. A Ciência das Mudanças Climáticas: Relatório do IPCC-2007 (GT1 e 2) e Relatório de Clima do INPE. INPE, Brasil, 2007.

MILLS, G., Luke Howard and The Climate of London, *Weather*, v. 63, n. 6, pp. 153-157, 2008.

MINUZZI, R. B.; VIANELLO, R. L.; SEDIYAMA, G. C. 2010. Oscilações climáticas em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2, p.227-236, 2010.

MORICE, C.P., KENNEDY, JJ, RAYNER, WINN, JP, HOGAN, E., KILLICK, RE, DUNN, RJH, OSBORN, TJ, JONES, PD e SIMPSON, IR, *An Updated Assessment of Near-Surface Temperature Change From 1850: The HadCRUT5 Data Set. Journal of Geophysical Research*, v. 126, n 3, pp 1 – 28, 2021.

Nielsen, A.B., Hedblom, M., Olafsson, A.S. et al. *Spatial configurations of urban forest in different landscape and socio-political contexts: identifying patterns for green infrastructure planning. Urban Ecosyst* 20, 379–392, 2017.

OKE, Timothy Richard. *Boundary Layer Climates*. Nova York: Methuem & Ltd, 1978.

OKE, Timothy Richard. *Boundary Layer Climates*. 2. ed. Nova York: Methuem & Ltd, 1987.

UNITED NATIONS Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

OSBORN, Tim; JONES, Phil. *Global Temperature Record*. Climatic Research Unit School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Reino Unido, 2022.

OTAVIANO, Jefferson Santana. *Variação temporal e espacial da avifauna da fazenda Santa Elisa IAC*, Campinas, SP. 2008.

PBMC, 2014: Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp.

PBMC, 2016: Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

POKORNÁ, L.; KUČEROVÁ, M.; HUTH, R. Annual cycle of temperature trends in Europe, 1961–2000. *Global and Planetary Change*, v. 170, n. December 2017, p. 146–162, 2018.

RIBEIRO, Wagner Costa. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, v. 13, n. 27, p. 297-322, 2008.

ROSENZWEIG, Cynthia; SOLECKI, William; HAMMER, Stephen A.; MEHROTRA, Shagun. Cities lead the way in climate-change action. *Nature*, [s. l.], ed. 467, p. 909–911, 20 out. 2010.

ROSENZWEIG, Cynthia; SOLECKI, William D.; HAMMER, Stephen A.; MEHROTRA, S., *Climate Change and Cities First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press, Cambridge, ed. 3-12, p. 909–911, 2011.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.

SANTOS, V. de O., Identificação e análise de tendências das variáveis hidrológicas e mudanças no uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba, em Minas Gerais. Orientador: Luiz Nishiyama. 2016. 129 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2016

SANTAMOURIS, M. Recent progress on urban overheating and heat island research . Integrated assessment of the energy , environmental , vulnerability and health impact . Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings*, ilha de calorrevisão, v. 207, 2020.

STEWART, I. D. Why should urban heat island researchers study history? *Urban Climate*, revisaoilha de calor, v. 30, n. May, p. 100484, 2019.

SILVA JUNIOR, M. A. B. da; FONSECA NETO, G. C.a da; CABRAL, J. J. da S.a P., análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife-PE. *Revista de Geografia*, Recife, v. 37, n. 1, p. 222-240, 2020.

SNEYERS, R. Sobre el análisis estadístico de las series de observaciones. OMM, Nota Técnica 143, n. 415. 192 p, Geneva 1975.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 1, p. 143-159, 2012.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. *Local Climate Zones For Urban Temperature Studies*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vancouver, p. 1879-1900, dezembro 2012.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. N.; DIAS, N. W.; MATOS, F. M. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. *Ambi-Água*, Taubaté, v. 7, n. 2, 2012, p. 120-142.

UNICAMP (Campinas). O CAMPUS. In: O CAMPUS. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20160714095111/http://www.unicamp.br/unicamp/a-unicamp/historia/o-campus>. Acesso em: 26 ago. 2021.

VINCENT, L.A.; PETERSON, T.C.; BARROS, V.L.; *et al.*. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South of America. 1960-2000. *Journal of Climate*, Boston, v.18, p. 5011- 5023, 2005.