UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru

Faculdade de Ciências

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

João Luiz da Silva Cancian

COMPARAÇÃO DA CHUVA ACUMULADA SOBRE ÁREAS URBANA E VEGETADA NA CIDADE DE BAURU (SP)

Bauru

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

João Luiz da Silva Cancian

Comparação da chuva acumulada sobre áreas urbana e vegetada na cidade de Bauru (SP)

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Felippe Gozzo (orientador)

Prof. Dr. Clara Miho Narukawa Iwabe

Prof. Dr. Helber Custódio de Freitas

C215c

Cancian, João Luiz da Silva
Comparação Da Chuva Acumulada Sobre Áreas Urbana E Vegetada Na Cidade De Bauru (SP) / João Luiz da Silva Cancian. -- Bauru, 2024
15 p. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Meteorologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru
Orientador: Luiz Felippe Gozzo

1. Meteorologia. 2. Climatologia. 3. Ilha de Calor Urbana. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Sumário

1. Introdução **4**
2. Objetivos **7**
3. Metodologia **7**
4. Resultados **10**
5. Conclusões **13**
Referências **15**

Resumo

Este estudo analisou a formação de chuvas na cidade de Bauru, São Paulo, situada na região Sudeste do Brasil, para avaliar a quantidade de chuva acumulada em regiões de cidade e de vegetação. A chuva no Sudeste do Brasil pode ser formada por diferentes processos como a convecção e o levantamento por frentes frias. Utilizando dados pluviométricos de 2017 a 2021, foi comparada a quantidade média mensal de chuva acumulada em áreas urbanas e vegetadas na cidade, evidenciando um viés positivo para a região vegetada durante todo o ano. O fato da região urbana não ser a área de maior chuva acumulada no verão, destaca a importância da presença de umidade na área vegetada para o fenômeno. Pode-se concluir que a umidade desempenha um papel mais relevante na formação de chuvas em Bauru do que a ilha de calor urbano, destacando a complexidade da interação entre fatores climáticos e urbanização. Por fim, recomendam-se estudos futuros ampliando o período de análise e replicação do estudo em diferentes climas urbanos.

Palavras-Chave: Chuva, Ilha de calor, Climatologia.

1. Introdução

A precipitação líquida (ou chuva) é o principal hidrometeoro na atmosfera terrestre. O processo de formação da chuva se dá pela ascenção de parcelas de ar úmido e quente. A diminuição da temperatura da parcela com a altura provoca a condensação da água e a formação das gotículas de nuvem, na presença de núcleos de condensação. Conforme as gotículas vão acumulando massa (água líquida) vão atingindo o limite para deposição gravitacional causando a chuva (Santos, 2002). O processo de ascenção das parcelas pode ocorrer por três processos: orografia (ou relevo); atuação de sistemas meteorológicos; e convecção. O efeito da orografia (ou relevo) seria visto, por exemplo, com o escoamento batendo numa montanha, é forçado a subir e provoca chuva. A atuação de sistemas meteorológicos que causam convergência do vento (por exemplo, frentes frias e zonas de convergência), também provoca o fenômeno. A convecção ocorre por causa do aquecimento das parcelas: pelo calor da superfície, as parcelas ficam menos densas e começam a subir pela força de empuxo. A Figura 1 ilustra cada processo da formação de nuvens e eventual chuva.

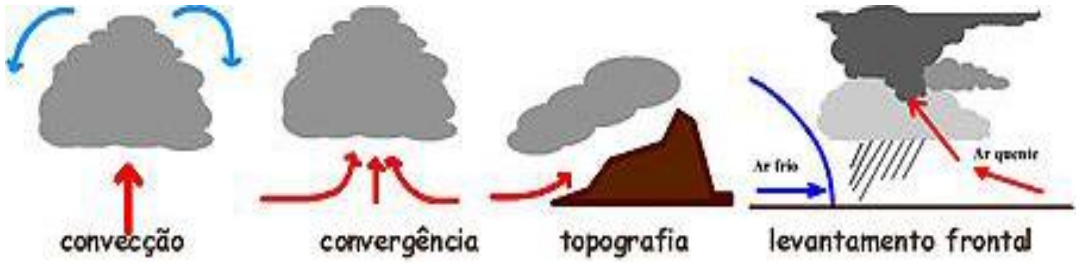

Figura 1: Processos de formação de chuva (FONTE: conteúdo da disciplina de Meteorologia Básica do Curso de Meteorologia da UNESP - Bauru, 2016).

A região Sudeste do Brasil tem um grande contingente populacional, alta densidade demográfica e é responsável por uma parcela expressiva das atividades econômicas do país. A população dessa região corresponde a 42,6% do total do país. Essa concentração da população faz a região Sudeste ter uma alta sensibilidade às condições climáticas, pois elas condicionam atividades econômicas importantes, por exemplo, a agricultura, o abastecimento urbano e geração de energia hidroelétrica. A área da região em questão estende-se aproximadamente entre 14 a 25 graus de latitude Sul, com grande diversidade de atributos físicos e maior parte das terras nos trópicos. A região Sudeste apresenta uma alta variedade de regimes climáticos, que vão do tropical até o subtropical. Sua posição latitudinal favorece ampla exposição à radiação solar (Cavalcanti, 2009).

A chuva é o principal tipo de precipitação que ocorre na região Sudeste, e é reflexo da localização e de seus atributos geográficos da paisagem, pela dinâmica dos

sistemas atmosféricos na região, as grandes variabilidades interanual e espacial estão entre as características mais marcantes do ritmo pluvial.

A distribuição espacial da pluviosidade é controlada fortemente pela distribuição do relevo, também pela atuação das frentes frias e pela continentalidade, com quatro zonas totais pluviométricas distintas na região Sudeste.

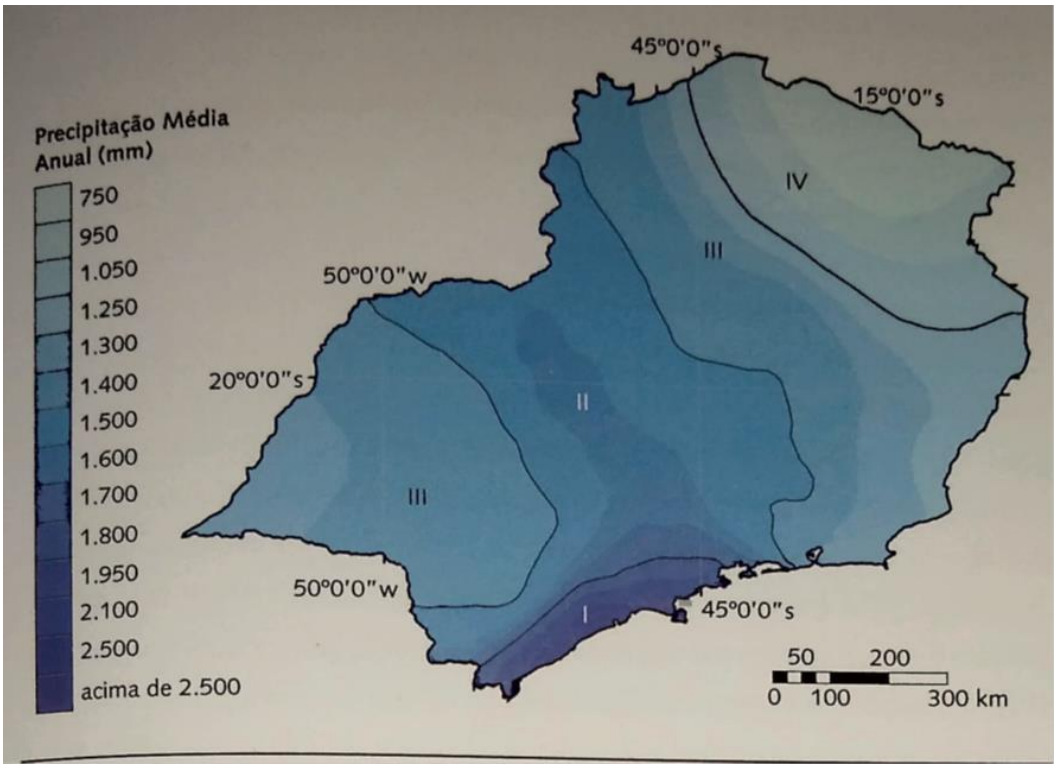

Figura 2: Climatologia de precipitação media anual (mm) sobre o Sudeste do Brasil (Fonte: Tempo e clima no Brasil, capítulo 16).

A cidade de Bauru está localizada no Planalto Ocidental Paulista, na zona III da Figura 2, com precipitação entre 1250 mm e 1400 mm. As frentes frias atuam como fator gerador das chuvas no local, mas de forma menos intensa do que no litoral.

O ritmo sazonal da chuva na região de Bauru é subtropical, com dois períodos bem caracterizados: um que concentra grande parte da precipitação (verão) e outro com baixa pluviosidade (inverno). A causa desse comportamento está relacionada com as monções (Zhou e Lau, 1997). No verão, ha transporte de umidade da Amazônia para o Sudeste. O transporte de umidade desde o Oceano Atlântico equatorial e o intenso aquecimento radiativo na superfície, para as regiões amazônicas e centro-oeste do Brasil, ajudam para o desenvolvimento de atividade convectiva. Os movimentos convergentes do vento, juntamente com o aquecimento diabático proveniente da

liberação de calor latente por condensação, promovem a ascensão do ar. A intensa atividade convectiva na região Amazônica, é um fator importante no desenvolvimento de um anticiclone em altos níveis, conhecido como Alta da Bolívia (AB). A outra maneira pra essa formação da AB seria um intenso aquecimento sobre o Altiplano Boliviano abaixo de 500 hPa, a qual resulta da intensa transferência de calor sensível da superfície para a atmosfera, por causa da maior quantidade de radiação solar incidente no solo. Com a convergência em baixos níveis, o estabelecimento do Jato de Baixos Níveis (Marengo et al., 2004), um cavado em 500 hPa, e a difluência entre a AB e o Cavado do Nordeste, forma-se uma banda de nebulosidade com orientação noroeste-sudeste que caracteriza a Zona de Convergência do Atlântico Sul, ZCAS (Reboita et al., 2010).

O início da estação chuvosa no Sudeste está associado a padrões de mesoescala, frentes frias e a ZCAS (Alves et. al., 2005). O período chuvoso ocorre mais cedo no sul da região, devido às frentes frias, e cerca de 2 a 3 meses depois no norte, coincidindo com o aumento da frequência de ZCAS ocorrer em dezembro. No inverno, a influência dos controles de grande escala, como latitude e maritimidade, é maior. Isso causa uma distribuição espacial em sentido mais latitudinal, com diminuição dos volumes na direção SE-NW (Tempo e Clima do Brasil, 2009).

A alteração da paisagem natural e do uso do solo urbano acontece pela construção de estradas, calçadas, estacionamentos, casas e prédios. Isso torna mais difícil a chuva penetrar no solo e continuar o ciclo hidrológico. Além disso, as superfícies de cimento esquentam mais que as superfícies com vegetação. Isso permite que o local ganhe características de clima urbano, principalmente com a formação da ilha de calor urbano. Essa ilha de calor ocorre nas cidades devido a uma alta absorção de radiação solar e confinamento da radiação de onda longa na cidade, pelas construções como edifícios, superfícies pavimentadas e etc. (Bonan, 2015). A ilha de calor faz a temperatura do ar das cidades ficar mais quente do que em regiões de paisagem rural, mas há parques vegetados que permitem reduzir a ilha de calor dentro da cidade, reduzindo a absorção de calor e aumentando a evaporação e absorção da chuva no solo.

Embora a ilha de calor urbano seja a assinatura climática que mais acontece nas cidades, a urbanização também pode mudar a precipitação regional. Na maior parte das áreas urbanas, os componentes da superfície são heterogêneos, possibilitando as implicações significativas para os balanços de energia, hídricos e fenômenos climáticos na troposfera, a parte da atmosfera terrestre que os seres humanos vivem. A morfologia urbana impacta os fluxo de energia e o fluxo de ar permitindo os fenômenos como ilha de calor e o início da precipitação convectiva. Embora todo esse progresso tenha ocorrido na compreensão desses impactos, nosso conhecimento continua incompleto. Com o passar do tempo, a vida na cidade se torna cada vez mais comum para um grande número de pessoas, e portanto deve-se assegurar que os efeitos urbanos sobre o clima sejam mitigados (Colier, 2006). Vários estudos descobriram que o aumento da precipitação e o aumento da frequência de eventos climáticos severos ocorrem junto

com a ilha de calor urbano. Um estudo em St. Louis, Estados Unidos (Rozoff et al 2003), mostrou que as chuvas de verão do lado sotavento da cidade foram maiores do que em outros setores. E também, tempestades com mais de 25 mm acumulados são 50% mais comuns em regiões urbanas do que nas suburbanas ou regiões rurais (Bonan, 2015). Apesar dos problemas metodológicos para encontrar a causa do aumento de chuvas, Rozoff et al. (2003) indica que é provável que o fenômeno em St. Louis é causada pela construção da cidade. A pesquisa de modelagem numérica confirmou que a ilha de calor urbana é importante para iniciar a precipitação em produzir a precipitação em volta de St. Louis.

Neste contexto, podemos entender que a cidade de Bauru, composta de vegetação e malha urbana, pode também apresentar variação espacial na quantidade de chuva em suas diferentes regiões. Pode, com isso, não ter chuva em locais que precisam muito, e ter volumes altos em locais que apresentam perigos como alagamentos.

2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é comparar a quantidade de chuva acumulada em duas regiões diferentes na cidade de Bauru (SP), para verificar se a maior quantidade ocorre na área urbana ou vegetada. Como objetivos específicos, 1) apresentar as climatologias de precipitação na cidade e na região vegetada, e 2) calcular uma medida objetiva da diferença desta chuva.

3. Metodologia

Os dados de chuva utilizados neste trabalho são coletados por um equipamento que se chama pluviômetro (Figura 3), que mede a quantidade acumulada de chuva em períodos de tempo. Foram obtidos dados de precipitação acumulada na cidade de Bauru no período de cinco anos (2017 a 2021) das duas estações localizadas em regiões de diferentes coberturas de solo, que estão nas longitudes/latitudes de -49,1°W/-22,3°S e -49,1°W/-22,3°S, as duas primeiras pertencentes ao Ministério da Ciência (CEMADEN) e a última, a estação do IPMET-UNESP. A estação do IPMET forneceu dados em escala mensal. Já os dados do CEMADEN são coletados a cada hora. Por isso, nesses últimos, é feita uma somatória de todos os horários do mês inteiro para ter o valor mensal da quantidade de chuva e poder comparar com os dados do IPMET.



Figura 3: Pluviômetro instalado no Centro de Meteorologia (IPMET) – UNESP – Bauru - SP

A Figura 4 mostra o local de instalação das duas regiões onde estão localizados os pluviômetros utilizados neste trabalho. As localizações são na Vila Universitária e no IPMET. A estação meteorológica do IPMET está localizada em uma região de vegetação. A estação pluviométrica da Vila Universitária está num local urbanizado.

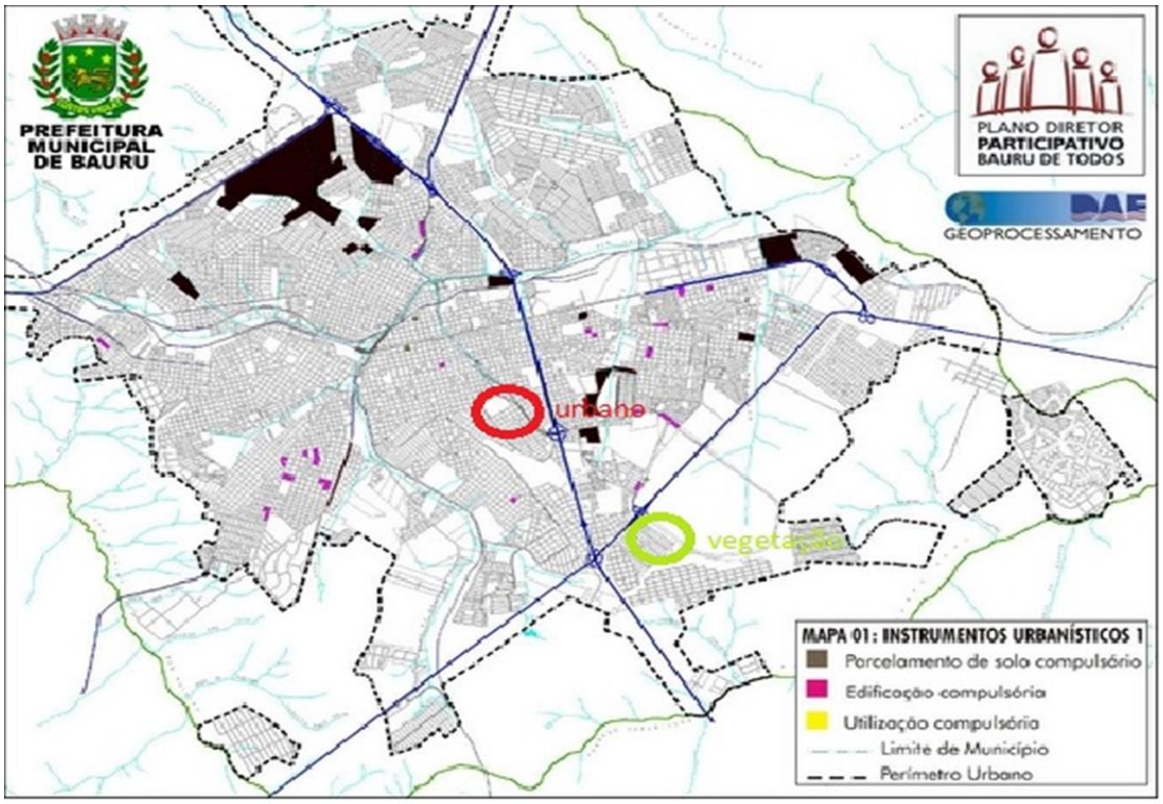

Figura 4: Mapa do município de Bauru com as localizações dos pluviômetros utilizados neste trabalho (Adaptado de https://sites.bauru.sp.gov.br/arquivos/website_planodiretor/imagens/cartografia/website_planodiretor_imagem01.jpg)

Foram feitas tabelas do total mensal no período de cinco anos, dos meses das estações seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), e construídos gráficos da média mensal de cinco anos, para cada estação pluviométrica.

A comparação objetiva dos dados mensais das estações dos locais com vegetação e com urbanização foi feita através do cálculo do erro médio, ou *bias*, e da raiz do erro quadrático médio.

$$BIAS = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Xveg - Xcid)$$

Equação 1: Erro médio ou *bias*, onde n é o número de dados, xveg é a chuva medida na estação vegetada e xcid é a chuva medida na estação da cidade.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Xveg - Xcid)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

Equação 2: Raiz do Erro Médio Quadrático, onde n é o número de dados, xveg é a chuva medida na estação vegetada e xcid é a chuva medida na estação da cidade.

Foram organizados os dados dos cinco anos em duas tabelas, obtidos para os dois pluviômetros dos locais estratégicos na cidade de Bauru SP.

4. Resultados

Os valores de chuva acumulado mensal nas regiões de estudo são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Chuva acumulada (mm) na estação do CEMADEN na região urbana (Vila Maracy)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2017	431,2	113,4	101	104,8	215,6	23	0	61,6	15,8	116,8	245	124,2
2018	233,4	65,4	237,6	15,2	15,4	16,4	4,2	121,8	99,4	208,4	119,4	170
2019	155,4	185,8	265	99,2	23,4	14,8	26,4	8,2	37,8	62,4	145,6	180
2020	247	330,8	27,8	24,2	32,2	81,8	10,2	55,6	6,8	57,8	118,8	435,2
2021	193	133,4	143,4	11,6	13,4	4,4	2,2	0,8	5,4	119,8	178,4	247

Tabela 2: Chuva acumulada (mm) na estação do IPMET na região de vegetação.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2017	462,1	138	136,1	119,2	218,8	22,4	0	66,3	16,5	118	263,5	95,1
2018	258,9	99	258,3	15	10,7	15,8	4,6	124,7	91,5	180,8	138	198,9
2019	176,5	185,2	273,2	82,9	14,8	13,2	31,3	11,2	43,5	59,9	169	217,3
2020	211,2	366,4	14,8	23,3	33,7	76	9,4	69,9	7,9	40,5	70,2	448,3
2021	182	169,9	125,8	33,3	19,6	46,8	10,4	15	14,9	130,8	201,9	215,5

A partir dos dados acima, foi calculada a média para cada mês dos cinco anos, para os dois locais diferentes, obtendo a tabela 3.

Tabela 3: Médias mensais de chuva acumulada (mm) para o período de cinco anos (2017-2021), na região urbana (linha vermelha) e vegetada (linha verde)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	252	165,76	154,96	51	60	28,08	8,6	49,6	33,04	113,04	161,44	231,28
	258,14	191,7	161,64	54,74	59,52	34,84	11,14	57,42	34,86	106	168,52	235,02

Com os valores da Tabela 3, foram criados gráficos mostrando o comportamento da quantidade de chuva em cada mês, divididos em duas estações (chuvosa e seca).

A Figura 5 representa a média da precipitação acumulado nos últimos cinco anos para o período seco (inverno), para as duas estações meteorológicas onde foram coletados os dados.

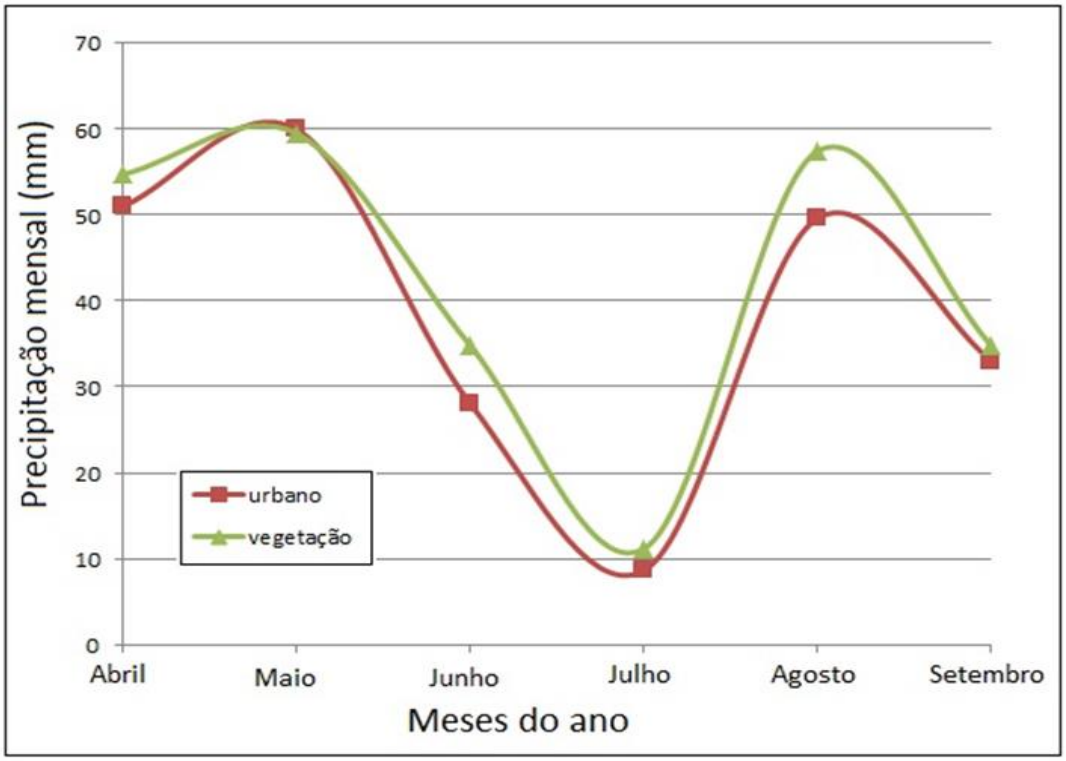

Figura 5: Média de chuva acumulada (mm) por mês durante o período seco nas estações urbana (linha vermelha) e vegetada (linha verde)

Comparando-se com o período chuvoso (Figura 6), observa-se que os acumulados destes meses são cerca de 100 mm menores, e julho é o mês com menor chuva. Pode-se observar que a precipitação apesar de decair em relação ao verão, ainda apresenta acumulados relevantes, pois ainda estamos na transição do outono. Junho e julho representam o período mais seco e tendo baixa concentração de precipitação, após o mês de julho começa aumentar a precipitação no mês de agosto, mais quando começa setembro ocorre uma queda da precipitação. Vemos que os maiores acumulados mensais ocorrem na maioria das vezes na região vegetada. Nesta época do ano, este resultado é esperado pois o principal mecanismo de levantamento do ar para formar nuvens são as frentes frias – e quando elas passam, levantam um ar mais úmido na região vegetada do que na região da cidade, devido à evapotranspiração das plantas. Portanto, há mais umidade e portanto instabilidade sobre a região vegetada.

A Figura 6 representa a média da precipitação acumulado nos últimos cinco anos no período chuvoso, nas mesmas estações.

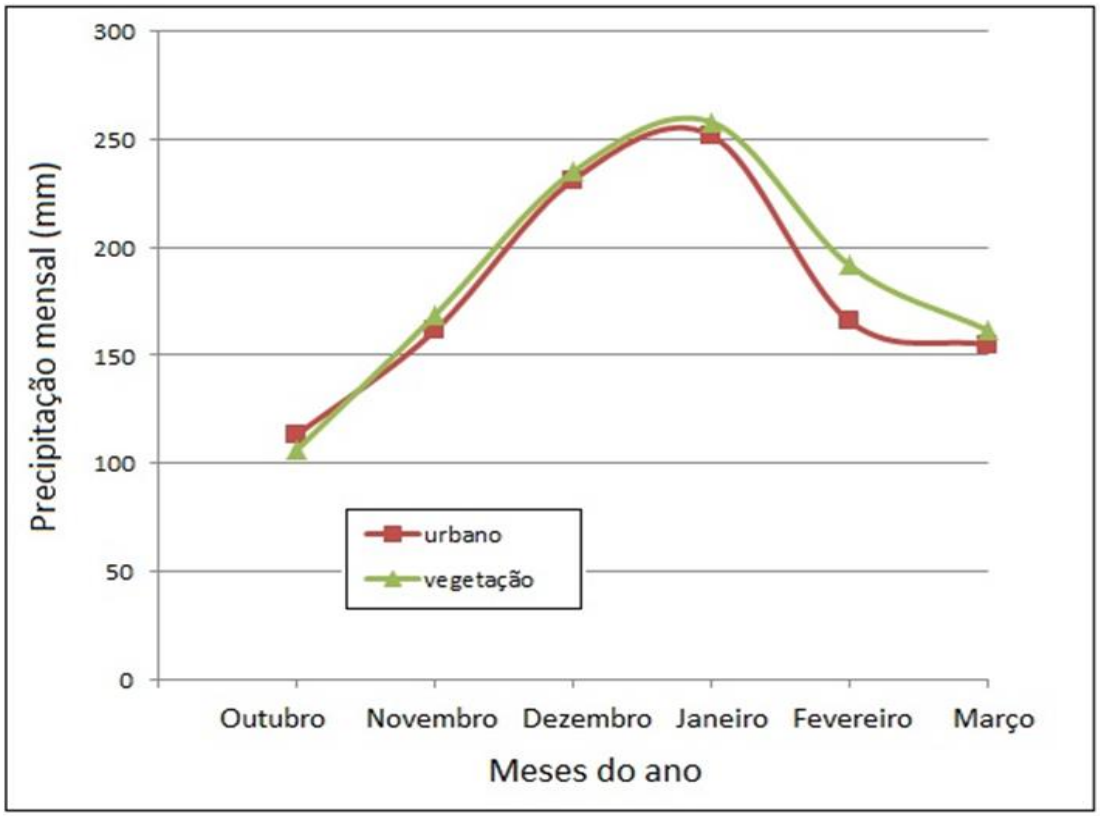

Figura 6: Média de chuva acumulada (mm) por mês durante o período chuvoso nas estações urbana (linha vermelha) e vegetada (linha verde)

Comparando-se com o período seco (Figura 5), verifica-se que há um acumulado de mais de 100 mm de chuva. Pode observar que na Figura 6 estão ocorrendo acumulados maiores da precipitação, mostrando que nesses meses ocorre uma alta concentração de precipitação e provocando chuva, mas quando começa os meses de fevereiro e março o valor começa a cair mostrando que o período de aumento de precipitação esta chegando ao fim e começando um outro período. Este comportamento mostra que os meses mais chuvosos em Bauru são novembro, dezembro e janeiro. A evolução no tempo mostra que, de forma geral as diferenças entre superfície vegetada e urbana são semelhantes ao período seco: há precipitação acumulada maior na região vegetada, do que na cidade, sendo a maior diferença no mês de fevereiro. Este resultado não era o esperado inicialmente – pensava-se que a temperatura mais alta na cidade causaria mais chuva. Porém, ele pode estar mostrando que a umidade é um fator mais importante para a instabilidade em Bauru do que o calor. Como na região vegetada tende a ter mais umidade, temos maior instabilidade e chuvas em todas as estações, de forma geral.

Os resultados do erro médio e da raiz do erro médio quadrático, calculados para o ano inteiro, foram +5,4 e 19,7 mm, respectivamente. O valor positivo do erro médio mostra que a chuva em Bauru tem um viés de acumular mais nas áreas vegetadas. E o valor da raiz do erro médio quadrático mostra o quanto, em média, é maior essa acumulação. Pelo valor de aproximadamente 20 mm, podemos entender que, se por exemplo chove em média 10 mm na região urbana, tem-se uma chuva média da ordem de 30 mm na região vegetada.

5. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi analisar a quantidade de chuva acumulada em dois locais com coberturas de solo diferentes – uma região vegetada e outra região urbana, na cidade de Bauru (SP). A análise foi realizada a partir de dados de pluviômetro entre os anos de 2017 e 2021.

A média mensal deste período mostrou que, de forma geral, chove mais em Bauru durante o verão (quando os acumulados variam entre 110 e 250 mm) do que no inverno (acumulados médios entre 10 e 60 mm). O comportamento anual da chuva concorda com a climatologia conhecida para esta cidade. Apenas o mês de agosto difere, já que ainda é um período de inverno e deveria chover menos que em setembro. Essa diferença pode ser devido ao pequeno período de tempo utilizado neste estudo (5 anos). Possivelmente, uma análise maior (de 30 anos) não apresentaria este comportamento.

A hipótese inicial deste trabalho era que haveria mais chuva na região urbana do que na vegetada durante o verão, pois neste período, a atuação da ilha de calor seria mais intensa, provocando mais convecção. Porém, os resultados mostraram que a maior chuva ocorre na região vegetada. Isto mostra que a umidade (que é maior na região

vegetada devido à evapotranspiração) parece ser um fator mais importante para a chuva em Bauru do que o aquecimento da superfície. Uma situação que reforça o papel da umidade na formação da chuva é o caso da cidade de São Paulo, onde muitas das chuvas intensas no verão estão associadas não apenas à ilha de calor, mas também à umidade vinda da brisa marítima (Vemado e Pereira-Filho, 2016).

Já para o inverno, era esperado que houvesse mais chuva na região vegetada, pois há maior quantidade de umidade e o mecanismo para elevação das parcelas de ar não é a convecção local, e sim as frentes frias (ou seja, não está tão diretamente ligado à temperatura da superfície).

Em média, ao longo de todo o ano, obteve-se um viés positivo de chuva para a região vegetada, da ordem de aproximadamente 20 mm.

A partir destes resultados, seguem-se as sugestões para estudos futuros: o aumento no período de estudo (pois com mais dados pode-se ter mais confiança nos resultados obtidos); usar simulações numéricas para avaliar o papel do aquecimento da superfície na formação de chuva; reproduzir este estudo em cidades com outros padrões de clima diferentes de Bauru, para verificar se o resultado permanece o mesmo.

Referências

BONAN, Gordon. Ecological climatology: concepts and applications, 2015, cambridge.

Clima da região sudeste do brasil, tempo e clima do brasil, Cavalcanti, Iracema Fonseca de Alburquerque; Ferreira, Nelson Jesus; Silva, Maria Gertrudes Alvares Justi; Dias, Maria Assunção Faus da Silva, 2009, Oficina de textos.

Colier, CG; O impacto das áreas urbanas no clima; Quartely Journal of the Royal Meteorological Society; 29 de dezembro de 2006.

Marengo, J. A., Soares, W. R., Saulo, C., & Nicolini, M. (2004). Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP–NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. Journal of climate, 17(12), 2261-2280. 204

REGIMES DE PRECIPITAÇÃO NA AMÉRICA DO SUL:UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA; MICHELLE SIMÕES REBOITA, MANOEL ALONSO GAN, ROSMERI PORFÍRIO DA ROCHA1 ETÉRCIO AMBRIZZI1; Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.2, 185 -, 2010

Rozoff, Christopher M.; Simulação de St. Louis, Missouri, impactos do uso da terra em tempestades; Journals AMS (American Meteorilogical Society);01 de junho de 2003.

Sampaio, G., Alves, L. M., DIAS, P., & MARENGO, J. (2006). O início da estação chuvosa no sudeste do Brasil pelo MCGA CPTEC/COLA. In *CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA* (Vol. 14).

SANTOS, Alexandre Rosa dos. Apostila Precipitação Atmosférica. UFES. Disponível em: www.mundogeomatica.com.br/CL/ApostilaTeoricaCL/Capitulo4precipitacaoAtmosferica.pdf. Acesso: dezembro de 2022.

Vemado, F., & Pereira Filho, A. J. (2016). Severe weather caused by heat island and sea breeze effects in the metropolitan area of São Paulo, Brazil. Advances in Meteorology, 2016.

ZHOU, Jiayu; LAU, K. M. Does a monsoon climate exist over South America?. **Journal of climate**, v. 11, n. 5, p. 1020-1040, 1998.