ESG - ENVIRONMENTAL,SOCIAL AND GOVERNANCE
SINGEURB
IV Simpósio Nacional de Engenharia Urbana

Rio de Janeiro, 22 a 24 de novembro de 2023

ANÁLISE DOS DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE MACAÉ NO PERÍODO DE VERÃO (2022/2023) E DA MORFOLOGIA URBANA DOS SEUS ENTORNOS IMEDIATOS

ANALYSIS OF METEOROLOGICAL STATION DATA IN MACAÉ DURING THE SUMMER PERIOD (2022/2023) AND URBAN MORPHOLOGY OF THEIR IMMEDIATE SURROUNDINGS.

BARBOSA, Gisele S.[1]; OLIVEIRA, João Pedro A.[2;] BARRETO,Karoliny[3], DRACH, Patrícia R.[4]

[1] Instituto Politécnico, Engenharia Civil, Campus Multidisciplinar de Macaé - UFRJ; PEU/POLI/UFRJ, giselebarbosa@poli.ufrj.br
[2 e 3] Instituto Politécnico, Engenharia Civil, Campus Multidisciplinar de Macaé – UFRJ,jp.alfoliveira@gmail.com
[4] UERJ, PEU/POLI/UFRJ, patrícia.drach@gmail.com

RESUMO

A urbanização atual, da maioria das cidades, busca intensificar a ocupação das áreas urbanas, mas essa abordagem pode gerar desafios socioeconômicos e ambientais. A configuração da cidade tem impacto significativo na qualidade de vida. A cidade de Macaé, RJ, está localizada em uma região de clima tropical úmido e possui verões quentes, apesar de ser uma região com bastante ventilação. A cidade passa por uma rápida expansão urbana e, consequentemente, aumento da verticalização e da impermeabilização do solo. Um projeto do Laboratório de Meteorologia (LAMET) da Universidade Estadual Norte Fluminense (UENF) mantém dez estações meteorológicas na cidade e esse artigo visa coletar tais dados de verão (2021, 2022 e 2023) de temperatura, umidade relativa e velocidade dos ventos, a fim de verificar o PET, o PMV, a Tmrt, Ts e a Ta para as médias de verão e verificar se há uma correlação entre o entorno imediato das estações e os dados coletados. Através do uso de imagens de figura e fundo, gráficos e tabelas, o estudo concluiu que os dados meteorológicos e a definição de morfologias mais adequadas à realidade climática local têm grande importância para as políticas e legislações urbanas, visto que o Brasil é um país tropical com um gasto energético bastante impactado pelo conforto ambiental.

Palavras-chave: Microclima Urbano, Estações Meteorológicas, PET, Conforto Ambiental.

ABSTRACT

The current urbanization of most cities aims to intensify the occupation of urban areas, but this approach can generate socio-economic and environmental challenges. The city layout significantly impacts the quality of life. The city of Macaé, RJ, is located in a region with a humid tropical climate and experiences hot summers, despite having ample ventilation due to its geographical location. The city is undergoing rapid urban expansion, leading to increased verticalization and soil impermeability. A project by the LAMET (Laboratório de Meteorologia) at UENF maintains ten meteorological stations within the city. This article aims to collect summer data (from 2021, 2022, and 2023) related to temperature, relative humidity, and wind speed in order to assess the Physiological Equivalent Temperature (PET), Mean Radiant Temperature (Tmrt), Skin Temperature (Ts), and Air Temperature (Ta) averages during summer. The goal is to determine if there is a correlation between the immediate surroundings of the stations and the collected data. Through the utilization of imagery, graphs, and tables, the study seeks to emphasize the importance of urban morphology as a means of transformation and underline the crucial role of meteorological data in urban policies and regulations. This is particularly relevant as Brazil is a tropical country with energy expenditures heavily impacted by environmental comfort considerations.

***Keywords**: Urban Microclimate, Meteorological Stations, PET (Physiological Equivalent Temperature), Environmental Comfort.*

1 INTRODUÇÃO

As cidades do litoral do Rio de Janeiro se localizam em uma área tropical úmida com pouca variação térmica durante o ano (INMET, 2020), principalmente pela proximidade do mar, efeito chamado de maritimidade. O planejamento urbano dessas cidades pode influenciar diretamente no microclima local e consequentemente no conforto térmico dos cidadãos. Visto que o planejamento interfere no posicionamento das edificações, na direção e dimensão das vias, nos gabaritos e afastamentos das edificações, na densidade construtiva, na taxa de ocupação do solo, na presença de áreas livres e/ou verdes, entre outras tantas características urbanas, é notório que pode alterar as características hidrotérmicas de uma determinada área melhorando ou piorando as características microclimáticas.

Foi verificado a temperatura média radiante (Tmrt) que é um dos quatro parâmetros ambientais, assim como temperatura do ar, a umidade relativa e a velocidade do vento, que interferem no equilíbrio energético humano (GÁL, KANTOR, 2020).

Arruda e Maciero (2021) salientam que pesquisas em campo exigem equipamentos caros e um grande tempo de validação. Uma abordagem alternativa envolve a utilização de simulações por meio de programas de computador especializados em aspectos bioclimáticos, como ENVI-met e Rayman. Dentro dessa perspectiva, o estudo calculou os índices de Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e Índice Climático Térmico Universal (UTCI) em uma zona industrial, utilizando esses programas, além de considerar variáveis relevantes, a fim de comparar os resultados obtidos (ARRUDA e MACIERO, 2021).

De acordo com Kruger et al. (2018), as condições climáticas desempenham um papel crucial na avaliação da relação com o conforto térmico, com destaque para índices como o PET. Estes são considerados recursos essenciais para orientar o planejamento urbano. O estudo estabeleceu intervalos de conforto térmico para ambientes ao ar livre em Curitiba/PR, situados entre 16,2 °C e 22,9 °C (KRUGER et al., 2018).

A busca por projetos urbanos mais eficientes e sustentáveis tem destacado a grande importância da forma urbana no planejamento de cidades. A forma urbana abrange não apenas a estrutura física das vias e suas dimensões, mas também engloba toda a configuração resultante das edificações, espaços abertos, áreas verdes e outros elementos presentes no ambiente urbano.

O conforto térmico em ambientes ao ar livre está se tornando cada vez mais significativo em meio à tendência global de rápida urbanização. Essa crescente importância é impulsionada pela interligação de elementos como a formação das ilhas de calor urbanas, a poluição do ar e a diminuição das áreas verdes nas regiões urbanas. Esses fatores podem causar alterações consideráveis nas características climáticas locais, conforme realçado por Sharmin, Steemers e Humphreys (2019).

Desta forma, este artigo tem como objetivo verificar os dados de verão dos últimos 3 anos de nove estações meteorológicas dispostas na cidade de Macaé, norte fluminense, analizando a forma urbana do entorno de cada estação e levantando discussões a cerca de quais parâmetros podem estar influenciando as variações encontradas. Macaé é uma cidade média litorânea que está passando por um expressivo crescimento populacional nos últimos anos (IBGE, 2023) e uma das tendências é a verticalização de áreas já consolidadas. Desta forma, esse artigo visa evidenciar as características climáticas da cidade e verificar se a configuração urbana pode interferir em tais características.

2. METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em quatro etapas principais:

- Levantamento e organização dos dados das estações meteorológicas do LAMET (Laboratório de Meteorologia) da Universidade Estadual Norte Fluminense (UENF) para os períodos de verão.

- Desenvolvimento de modelos em 3 dimensões dos entornos imediatos (600m x 600m) das estações meteorológicas com auxílio dos softwares Google Earth Pro® e ArcGis Pro®.

- Simulação dos parâmetros térmicos através do software RayMan: índices de Temperatura Fisiológica Equivalente (PhysiologicalEquivalent Temperature - PET), (HÖPPE, 1984), o Voto Médio Predito (Predicted Mean Vote - PMV)(FANGER, 1970), a temperatura média radiante (tmrt), a Temperatura da superfície (Ts) e a Temperatura do ar (Ta).

- Análise dos dados coletados em comparação com as morfologias urbanas do entorno das estações.

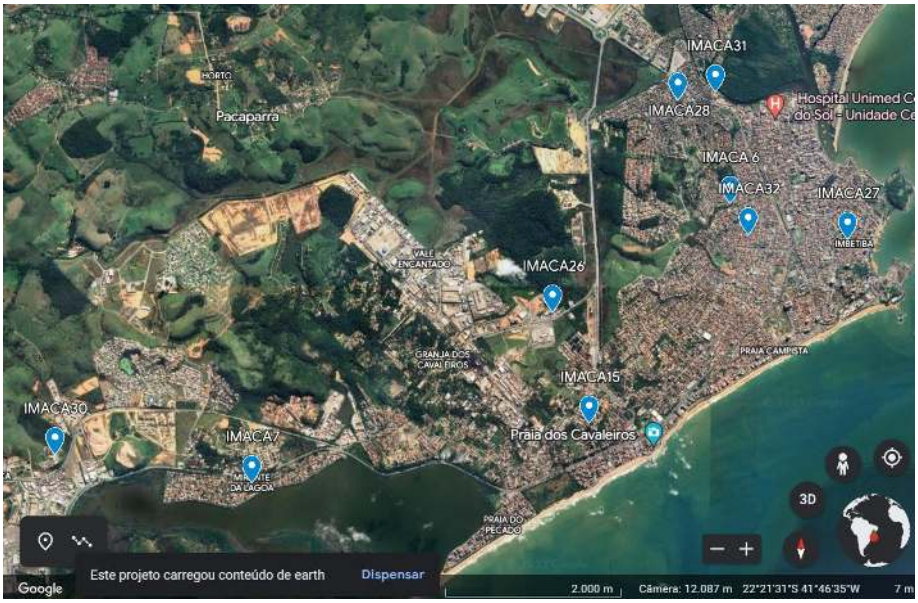
Para o estudo foram coletados os dados das nove estações e realizada uma simulação computacional no software RayMan (Matzarakis, 2010). Ainda, modelos simplificados em 3 dimensões foram desenvolvidos utilizando o GoogleEarth Pro, o ArcGis Pro e visitações em campo para verificar características das vias e das edificações.

O LAMET (Laboratório de Meteorologia) da UENF, possui nove estações meteorológicas (IMACA6 - Colégio Castelo de Macaé; IMACA7 - Mirante da Lagoa; IMACA15 - Colégio Ativo; IMACA26 - Cidade Universitária; IMACA27 - Colégio Irene Meirelles; IMACA28 - Colégio Télio Barreto, IMACA30 - LAMET/UENF, IMACA31- Escola M. Nosso Senhor dos Passos – Botafogo, IMACA32 - Escola M. Profa.

Neiva Mariano dos Santos) distribuídas na cidade de Macaé, conforma a Figura 01, e mais uma (IMACA13 – Trapiche) em área rural do mesmo município. Ainda possui em funcionamento mais quatro estações meteorológicas em municípios vizinhos, sendo duas (IRIODA05 - Parque dos Pássaros e IRIODA06 - Colégio Jacintho Xavier) em Rio das Ostras, uma (ICABOF04 - Colégio Edilson Duarte) em Cabo Frio e uma (ICAMPO96) em Campos dos Goytacazes. Todos os dados das estações são de livre acesso e estão disponíveis no aplicativo disponível no site https://dadosmeteorologicos.uenf.br/.

Figura 1 – Imagem de satélite com a localização das nove estações

Fonte: GoogleEarth (2023)



Para a realização desde artigo, foram coletados os dados disponíveis das estações nos verões de 2021, 2022 e 2023. Seis das estações possuem somente dados de verão de 2023 (IMACA 26, 27, 28, 30, 31 e 32) e uma possui dados de 2022 e 2023 (IMACA 15). Somente duas possuem dados dos últimos três verões (IMACA 6 e 7). Apesar das lacunas dos dados, a coleta dos últimos três anos foi relevante, pois apresenta a realidade microclimática de grande parte da cidade.

Foi realizada a organização e análise dos dados coletados das nove estações meteorológicas e os resultados foram apresentados em gráficos e tabelas estruturadas para facilitar a discussão dos resultados conjuntamente com a morfologia urbana do entorno de cada estação. Também foi utilizado a ferramenta RayMan, que é um software utilizado para avaliar parâmetros térmicos com base em dados meteorológicos e características do ambiente para verificar os índices de temperatura equivalente fisiológica (Physiological Equivalent Temperature - PET), definido como balanço térmico do corpo humano mantido com as temperaturas centrais e as da pele iguais para aquelas condições avaliadas.

A temperatura média radiante (Tmrt) que é um dos quatro parâmetros ambientais e representa a média ponderada das temperaturas das superfícies ao redor de um indivíduo ou de um espaço, levando em consideração tanto a temperatura do ar quanto as temperaturas radiantes das superfícies circundantes; a Temperatura da superfície (Ts) e a Temperatura do ar (Ta). Ainda foi verificado o PMV, que é um

índice que se baseia no equilíbrio ou balanço térmico do corpo humano com o ambiente que o rodeia, sendo uma abordagem denominada racional do conceito do conforto térmico[1].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira tabela apresenta a média de verão dos anos 2021, 2022 e 2023 (Tabela 1). A estação IMACA 15 não possui dados do verão de 2021 e as estações IMACA 26, 27, 28, 30, 31 e 32 não possem dados de 2021 nem de 2022. Desta forma, as comparações dos dados foram mais relevantes para a análise do verão de 2023, porém, nesta primeira tabela foram apresentados todos os dados coletados e o cálculo do PET (índices de Temperatura Equivalente Fisiológica), do Voto Médio Predito (Predicted Mean Vote - PMV)(FANGER, 1970), a temperatura média radiante (tmrt), a Temperatura da superfície (Ts) e a Temperatura do ar (Ta) dos anos que haviam medições de verão completos. A Tabela 2 apresenta os mesmos dados, porém com as medições dos dias e horários mais quentes de cada estação registrados no verão de 2023.

Tabela 1 – Dados das médias de verão coletados nas estações

ESTAÇÃO	ANO	Ta (°C)	Umid. R. (%)	V (m/s)	Ts (°C)	Tmrt (°C)	PMV	PET (°C)
IMACA 6	2021	26,58	82,66	5,96	35.5	49.6	1.7	28.4
	2022	25,96	83,11	3,38	39.1	50.9	1.8	30.5
	2023	25,96	85,49	4,25	37.3	50.2	1.7	29.3
IMACA 7	2021	26,05	82,14	3,77	38.3	50.6	1.8	30.0
	2022	26,25	84,39	3,03	40.3	51.5	2.0	31.6
	2023	26,42	84,59	4,34	37.6	50.5	1.8	29.8
IMACA 15	2022	25,56	82,61	2,42	41.5	51.8	2.0	31.8
	2023	26,03	79,99	2,39	42.0	52.2	2.1	32.5
IMACA 26	2023	26,2	78,88	15,03	30.4	47.4	1.1	23.1
IMACA 27	2023	25,76	83,4	5,43	35.3	49.3	1.5	27.6
INACA 28	2023	26,22	82,3	4,01	38.0	50.6	1.8	29.9
IMACA 30	2023	26,87	79,42	6,41	35.3	49.7	1.7	28.5
IMACA 31	2023	26,71	78,87	2,22	43.3	53.0	2.3	33.9
IMACA 32	2023	26,93	76,95	3,98	38.8	51.1	2.0	31.0

Fonte: Autores (2023)

[1]A Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE, 1981) desenvolveu uma escala destinada a ser utilizada em pesquisas, na qual os ocupantes de espaços selecionam um valor numérico inteiro (chamado de "voto") variando entre -3 e +3. Nesse contexto, o valor zero indica que a pessoa está em um estado de conforto térmico, em harmonia com o ambiente circundante. Valores negativos correspondem a sensações de desconforto térmico devido ao frio, enquanto valores positivos indicam desconforto térmico devido ao calor.

Tabela 2 – Dados do dia e hora mais quentes do verão de 2023 coletados nas estações.

ESTAÇÃO	Data	Hora	Ta (°C)	Umid. R. (%)	V (m/s)	Ts (°C)	Tmrt (°C)	PMV	PET (°C)
IMACA 06	15/2/2023	13:04	36,3	26	4,9	47.1	57.1	4.1	43.4
IMACA07	26/2/2023	12:04	36,6	50,6	1,5	57.2	62.0	5.1	48.4
IMACA15	15/2/2023	13:04	36,3	52,2	1,8	55.5	61.2	5.0	47.4
IMACA 26	1/2/2023	12:04	32,5	56,7	13,9	37.3	51.9	2.9	34.6
IMACA 27	29/12/2022	11:04	35	46,2	4,9	45.9	56.4	3.9	41.7
INACA 28	15/2/2023	13:04	36,1	46,8	4,5	47.6	57.5	4.3	43.8
IMACA 30	26/2/2023	13:04	35,9	45,9	6,3	45.0	56.3	4.1	42.6
IMACA 31	15/2/2023	13:04	37,7	43,5	1,9	56.3	61.9	5.2	48.9
IMACA 32	15/2/2023	13:04	36	44,7	5,9	45.5	56.6	4.2	42.9

Fonte: Autores (2023)

Quando os dados são comparados com a escala de sensação térmica desenvolvida por Hirashima (2010) (Tabela 3) observa-se que quando consideradas as médias de verão sete medições permaneceram dentro da faixa de sensação térmica 'confortável' e três medições possuem médias que já apresentam sensação térmica 'pouco quente' e quatro medições são classificadas como 'quente'. Porém, a média de verão considera as 24h do dia, isto é, considera tanto horários com incidência solar, quanto horários noturnos.

Desta forma, no intuito de verificar o pior cenário, a Tabela 2 apresenta os dias mais quentes do verão de 2023. Assim, é possível verificar que a sensação térmica registrada em todas as estações em horários próximos do meio do dia, estão classificados como 'muito quentes' e somente uma das estações (IMACA 26 – Cidade Universitária) apresentou PET menor do que 35,5° devido à velocidade do vento.

Tabela 3 – Escala de sensação térmica para os índices PMV e PET

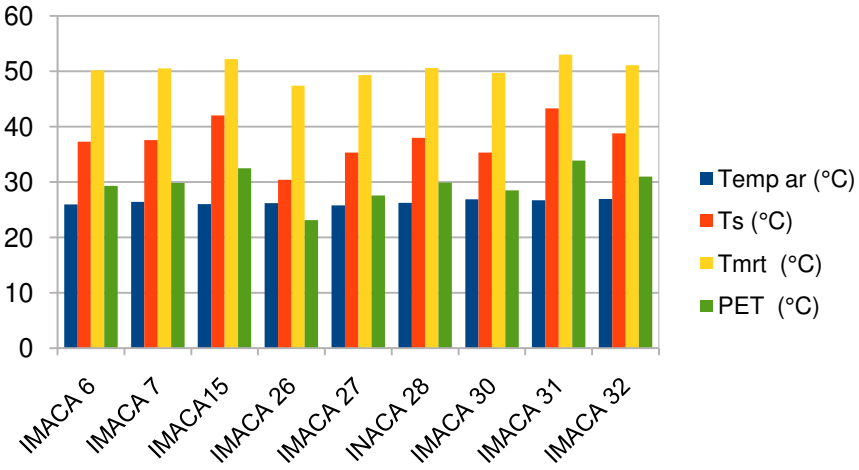
PMV	PET	Sensação Térmica
-1,5 a -3,5	Sem dados	Muito frio
Abaixo de -1,5	Abaixo de 12,0	Frio
-1,5 a -0,5	12,0 a 15,5	Pouco Frio
-0,5 a 1,5	15,5 a 30,5	Confortável
1,5 a 2,0	30,5 a 31,0	Pouco quente
2,0 a 3,0	31,0 a 35,5	Quente
Acima de 3,0	Acima de 35,5	Muito quente

Fonte: Hirashima (2010)

Chama a atenção também as temperaturas registradas no nível do solo (Ts) chegando a uma máxima de 57.2°C na IMACA 7 – Mirante da Lagoa. Com exceção da IMACA 26, todas as demais registraram Ts acima de 45°C e Temperatura do ar (Ta) acima de 35°C.

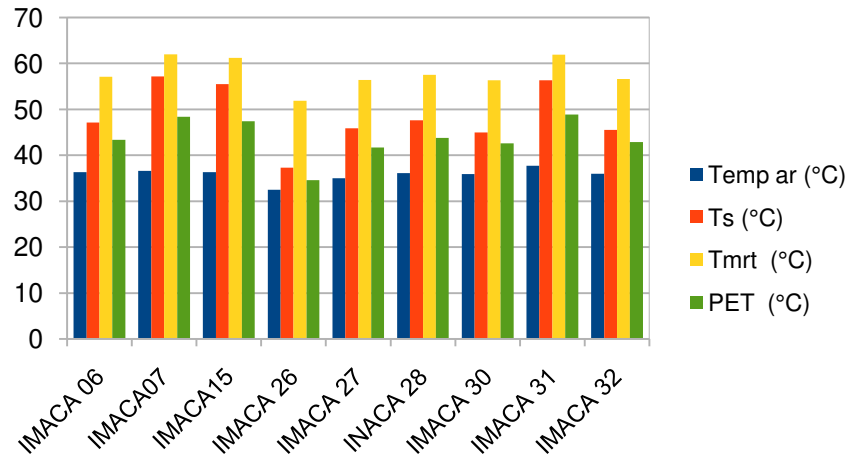
Quando os dados relacionados às temperaturas somente do verão de 2023 são comparados chama a atenção às temperaturas médias radiantes (Tmrt) chegando a mais de 50°C nas médias de verão (Gráfico 1) e mais de 60°C nos dias mais quentes (Gráfico 2).

Gráfico 1 – Dados relacionados à Temperaturas médias de verão, a Temperatura do solo (Ts), Temperatura do ar (Ta), temperaturas médias radiantes (Tmrt) e o PET (índice de Temperatura Equivalente Fisiológica)



Fonte: Autores (2023)

Gráfico 2 – Dados relacionados à Temperatura do ar mais alta no verão, a Temperatura do solo (Ts), Temperaturas médias radiantes (Tmrt) e o PET (índice de Temperatura Equivalente Fisiológica)



Fonte: Autores (2023)

A estação da Cidade Universitária (IMACA26) apresentou médias de ventilação

bastante diferentes das demais. Não há confirmação se os dados apresentaram erros durante esse período, porém, alguns horários dessa estação não foram marcados. Essa medição diferenciada corroborou para que a sensação térmica neste ambiente fosse a mais amena.

Ao verificar os mapas de cheios e vazios dos entornos das estações é possível verificar que as localidades mais densas apresentaram PET e PMV mais altos. Os modelos com mais áreas livres ou que estão em grandes avenidas (como a IMACA30) apresentam velocidades do vento maiores, pois possuem menos bloqueios (Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5), o que contribui também com a melhoria da sensação térmica.

Figura 2 – Mapa de cheios e vazios do entorno das estações IMACA 6 e IMACA 7



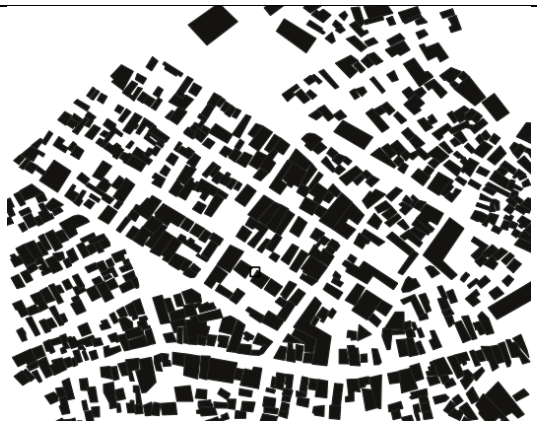
Fonte: Autores (2023)

Figura 3 – Mapa de cheios e vazios do entorno das estações IMACA 15 e IMACA 26



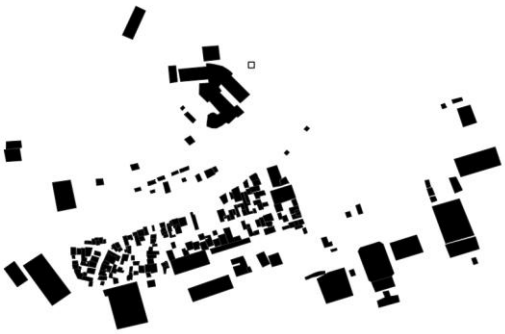
Fonte: Autores (2023)

Figura 4 – Modelos 3D do entorno das estações IMACA 27 e IMACA 28 e os cálculos das taxas de ocupação (%) e volumetrias (m³)

IMACA 27	IMACA 28
	

Fonte: Autores (2023)

Figura 5 – Mapa de cheios e vazios do entorno das estações IMACA 30 e IMACA 31

IMACA 30	IMACA 31
	

Fonte: Autores (2023)

Figura 6 – Mapa de cheios e vazios do entorno das estações IMACA 32

IMACA 32


Fonte: Autores (2023)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando a cidade é vista como um Sistema Complexo, pode-se compreender que a inserção de um edifício em uma área antes desocupada ou o alargamento de uma via podem ter consequências significativas em todo o sistema e nas relações das pessoas com os espaços urbanos, incluindo o microclima urbano.

Nesse contexto, é de suma importância ter acesso aos dados confiáveis e organizados para projetar a forma urbana de maneira consciente e planejada para criar ambientes que sejam mais funcionais, acessíveis e acolhedores para os cidadãos contribuindo com cidades mais inteligentes e sustentáveis. Uma cidade bem planejada e com uma forma adequada à sua realidade climática pode contribuindo para a redução do uso de ar-condicionado, para a redução da produção de CO^2 com a redução de congestionamentos, com o sombreamento e insolação das vias, com a ventilação, a insolação e a temperatura no interior das edificações considerando afastamentos, laterais, frontais e posteriores, bem como com a consequente qualidade hidrotérmica dos cidadãos.

Dessa forma, compreender os dados climáticos e suas possíveis correlações com a forma urbana do entorno das estações meteorológicas, contribui para o fomento de planejamentos mais eficientes e coerentes com a realidade tropical do sudeste brasileiro. Ainda, ao considerar a forma urbana como um elemento-chave na concepção de projetos urbanos, os planejadores têm a oportunidade de contribuir de forma significativa para o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis e adaptadas às necessidades das pessoas que nelas vivem. Portanto, o acesso aos bancos de dados urbanos e o tratamento e análise dos mesmos se torna de suma importância para as ações no ambiente urbano.

REFERÊNCIAS

ASHRAE Handbook, 1981 Fundamentals: An Instrument of Service Prepared for the Profession Containing a Technical Data Section of Reference Material Pertaining to Systems for Heating, Refrigerating, Ventilating, and Air Conditioning, 1981.

ARRUDA, A. & MASIERO, E., **Análise de índices de conforto térmico através dos softwares Rayman e ENVI-met em áreas industriais**. Conference: III SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA [SINGEURB 2021] DOI: 10.46421/singeurb.v3i00.851, 2021.

FANGER, P. O. **Thermal comfort. Analysis and application in environment engineering Danish Technical Press.** Copenhagen, 1970

HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do Índice de conforto Térmico Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) para Espaços Abertos do Município de Belo Horizonte, MG**. 2010. 225f. Dissertação (Mestrado Insterdisciplinar em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

HÖPPE, P. Die Energiebilanz des Menschen. München Universitäts Schriften,Fachbereich Physic. Wissenschaftliche Mitteilungen, p. 49, 1984. In: RIBEIRO et al, **Análise dos índices de conforto térmico PMV e PET em diferentes tipos de coberturas em ambiente aberto na cidade de Cuiabá-MT,** DOI: 10.5380/abclima.v26i0.69343, Revista Brasileira de Climatologia, 26, 2020.

Instituto Nacional Meteorológico (INMET). **NORMAIS CLIMATOLÓGICAS 1991-2020.** Edição Digital BRASÍLIA - DF 2022. Disponível em: www.portal.inmet.gov.br/normais#

ROSS, J L.S. **Ecogeografia do Brasil - subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

SHARMIN, T.; STEEMERS, K. & HUMPHREYS, M**. Outdoor thermal comfort andsummer PET range: A field study in tropical city Dhaka.** Energy and Buildings, v.198, p. 149-159, 2019.