ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Análise de cenários de clima para a avaliação de desempenho térmico considerando os efeitos do Aquecimento Global

Analysis of climate scenarios for evaluating thermal performance considering the effects of Global Warming

Walter José Ferreira Galvão
Centro Universitário Senac | São Paulo | Brasil | walter.jgalvao@sp.senac.br
Marcelo Suzuki
Centro Universitário Senac | São Paulo | Brasil | marcelo.suzuki@sp.senac.br
Paulo Magri
Centro Universitário Senac | São Paulo | Brasil | paulo.hgmagri@sp.senac.br
Stephane Queiroz Nogueira
Centro Universitário Senac | São Paulo | Brasil | stephane.qnogueira@ sp.senac.br
Amanda Diamantino
Centro Universitário Senac | São Paulo | Brasil | amandadiamantino@sp.senac.br
Nicole Santos Pereira
Centro Universitário Senac | São Paulo | Brasil | nicole.spereira5@sp.senac.br

Resumo

O clima mundial está passando por um momento de profundas transformações. Agravado pela ação humana, as mudanças fazem com que aconteça uma ascensão progressiva na temperatura do ar. Nesse sentido, as normativas prescritivas para avaliação de conforto ambiental térmico, que se baseiam em médias de condições climáticas de um período prolongado precisam ser revistas. Assim, baseado em análises de dados climáticos, este trabalho teve como objetivo analisar os indicadores, inclusive os cenários climáticos preconizados na norma brasileira NBR 15575, para avaliação do desempenho térmico de ambientes interiores para a cidade de São Paulo. Foram verificados se esses indicadores permanecem válidos para modelos climáticos considerando os efeitos do aumento da temperatura do ar ocorrido nos últimos anos. Para isto, foram analisados valores de temperatura do ar em estação climatológica do IAG/USP e comparados com as atuais recomendações de clima para simulação segundo a NBR 15575, a saber, média das variáveis climáticas dos últimos trinta anos. Assim, a adoção das variáveis climáticas do último ano anterior à avaliação, mostrou-se mais adequada para uma projeção de condições climáticas em simulações.

Palavras-chave: Mudança climática e arquitetura. Conforto Ambiental Térmico na arquitetura. análise de indicadores da NBR 15220.

Como citar:
GALVÃO, W. J. F. et. al. Análise de cenários de clima para a avaliação de desempenho térmico considerando os efeitos do Aquecimento Global. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

The world climate is going through a time of profound transformation. Aggravated by human action, the changes cause a progressive rise in air temperature. In this sense, prescriptive standards for evaluate of thermal environmental comfort, which are based on average climatic conditions over a prolonged period, need to be reviewed. Thus, based on climate data analysis, this work aimed to analyze the indicators, particularly climate predictions recommended in the Brazilian standard NBR 15575 for evaluating the thermal performance of indoor environments for the city of São Paulo. It was verified whether these indicators remain valid for climate models considering the effects of the increase in temperature that has occurred in recent years. To this end, air temperature values at a climatological station at IAG/USP were analyzed and compared with current climate recommendations for simulation according to NBR 15575, namely, average climate temperatures over the last thirty years. Thus, the adoption of climate variations from the last year prior to the assessment proved to be more appropriate for projecting climate conditions in simulations.

Keywords: Climate Change and architecture. Thermal Environmental Comfort in architecture. analysis of NBR 15220 indicators.

INTRODUÇÃO

O clima do planeta terra está passando por grandes transformações nos últimos tempos. Particularmente em locais onde acontecem significativas variações de clima entre os períodos de inverno e verão, as evidências recentes demonstram um aumento na temperatura do ar causando inúmeros efeitos danosos ao homem [1].

Resultado de fenômenos naturais e agravados pela ação humana, esse fenômeno, denominado “Aquecimento Global”, não é uma exclusividade apenas de países localizados no hemisfério norte, pois no Brasil já começam a aparecer suas decorrências. Com efeito, não estávamos habituados a acontecimentos climáticos tão extraordinários, como períodos de secas em locais normalmente chuvosos, enchentes cada vez mais volumosas e mesmo eventos climáticos extremos e em maior quantidade, como tornados, ciclones e até mesmo furacões [2].

Particularmente na cidade de São Paulo o aumento de temperatura do ar já vem sendo observado e estudado há várias décadas. Digno de nota que a capital paulista está entre as capitais brasileiras onde aconteceu o maior crescimento no número de dias por ano com ondas de calor entre os anos de 1961 e 2014 [3]

Especialmente na arquitetura, fica claro que os preceitos adotados até então para sua adaptação ao clima local podem estar trabalhando com cenários equivocados, pois não consideram a ascensão súbita das condições climáticas, como demonstra a notícia de um veículo de comunicação português, a seguir:

> “Durante o verão de 2022, algumas casas no bairro de Carnide (Lisboa/Portugal) foram alvo de um estudo para se medir as temperaturas interiores e perceber o impacto do calor na população mais idosa. Agora, os estudos provisórios mostram que em períodos de maior intensidade de calor as temperaturas médias noturnas dentro de casa foram 7,6 graus acima da temperatura da rua.” (https://www.publico.pt/2023/06/24/azul acessado em 26/07/2023).

Nesse sentido, as normativas prescritivas para a montagem de cenários para avaliação de conforto ambiental térmico, que se baseiam em procedimentos estatísticos de condições climáticas de um período prolongado, precisam ser revistas.

Assim, este trabalho teve como objetivo analisar os cenários climáticos adotados para avaliação de desempenho térmico nos ambientes interiores, inclusive os preconizados na norma brasileira NBR 15575 [4], comparando-o com o já comprovado aquecimento global, particularmente para a cidade de São Paulo. A saber, a NBR 15575 [4] considera o Ano Meteorológico Típico (ou *Typical Meteorological Year*), que consiste na determinação estatística dos meses individuais de dados meteorológicos que melhor representam as condições de clima tomando como base a climatologia de um período de 30 anos [5].

Para esta análise foram verificados valores relativos ao clima da cidade de São Paulo monitorado pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP). Com isso, verificou-se que a adoção das variáveis climáticas do último ano mostrou-se mais adequada para uma projeção de condições climáticas em simulações para avaliação de desempenho térmico de ambientes interiores.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente buscou-se informações climáticas que pudessem corroborar a afirmação feita no trabalho, a saber, que a mudança climática está ocorrendo de maneira muito rápida. Assim, foram tabulados e comparados os dados meteorológicos para a cidade de São Paulo constantes nos arquivos do IAG/USP a partir de monitoramento feito na estação localizada no bairro da Água Funda na cidade de São Paulo. Esses dados foram obtidos em boletins produzidos pelo IAG/USP constante no seu site (www.iag.usp.br/boletim.php)

Foram observados dados relativos à Temperatura de Bulbo Seco das normais climatológicas de 1933 até 1960, de 1961 até 1990 e de 1991 até 2020. Também foram considerados isoladamente os valores para os anos de 2020, 2021 e 2022 para comparações. Digno de nota que, no site do IAG/USP os últimos valores publicados e disponíveis na sua integridade até o presente momento foram os relativos ao ano de 2022.

Digno de nota que foram igualmente feitas médias aritméticas dos valores relativos aos anos de 2013 até 2022 e de 2018 até 2022, para obtenção de singulares anos climáticos tipo.

RESULTADOS

Os arquivos climáticos do IAG/USP, constantes na tabela 1 a seguir, demonstram que realmente está ocorrendo um aumento da temperatura do ar na cidade de São Paulo:

Tabela 1: Temperatura média mensal das normais de 1933-1960, 1961-1990 e 1991-2020. Em vermelho estão os valores maiores. Adaptado pelo autor de Boletim meteorológico IAG/SP.

Mês	Normal (°C) 1933-1960	Normal (°C) 1961-1990	Normal (°C) 1991-2020
1	21,00	21,60	22,50
2	21,00	21,90	22,70
3	20,30	21,20	21,80
4	18,20	19,20	20,30
5	16,30	17,10	17,70
6	15,10	15,70	16,70
7	14,40	15,30	16,20
8	15,60	16,40	16,90
9	16,40	17,20	18,10
10	17,50	18,30	19,60
11	18,30	19,60	20,30
12	19,70	20,70	21,90

Note-se que, com exceção do mês de fevereiro, sempre as médias de temperatura do ar da última normal climática (1991-2020) sempre esteve acima das anteriores, chegando a ser 2,20°C superior à normal climática de 1933-1960 (mês de dezembro).

A tabela 2, a seguir, considera as médias de temperatura do ar de cada mês para uma normal climatológica considerando o intervalo de 1997-2020, assim como os mesmos valores isolados dos anos de 2020, 2021 e 2022.

Tabela 2: Temperatura média mensal da normal de 1991-2020, bem como dos anos de 2020, 2021 e 2022. Em vermelho estão os valores maiores. Adaptado pelo autor de Boletins meteorológicos IAG/SP.

Mês	Normal (°C) 1991-2020	Ano 2020 (°C)	Ano 2021 (°C)	Ano 2022 (°C)
1	22,50	22,40	23,40	22,30
2	22,70	21,50	22,00	22,30
3	21,80	20,80	22,60	23,00
4	20,30	19,20	19,10	20,30
5	17,70	16,70	17,50	20,90
6	16,70	18,40	16,40	16,20
7	16,20	17,40	14,40	17,70
8	16,90	16,60	17,30	16,30
9	18,10	20,60	19,70	16,00
10	19,60	20,40	18,10	20,00
11	20,30	19,70	19,70	18,50
12	21,90	22,20	20,60	21,00

Com exceção dos meses de fevereiro, abril e novembro, nos outros nove meses do ano a média da temperatura do ar dos anos 2020, 2021 e 2022 suplantaram as médias da última normal apresentada pelo IAG/USP. Ainda assim, no mês de abril o valor da normal 1991-2020 igualou-se ao do ano de 2022. Digno de nota o valor do mês de maio de 2022, que ficou 3,20°C superior ao da normal 1991-2020.

Em adição, na tabela 3 a seguir são apresentados os valores de anos típicos considerando as médias de temperatura do ar de 10 anos (2013-2022) e 5 anos (2018-2022).

Tabela 3: Temperatura média mensal das normais de 2013-2022, 2018-2022, bem como dos anos de 2020, 2021 e 2022. Em vermelho estão os valores maiores. Adaptado pelo autor de Boletins meteorológicos IAG/SP.

Mês	Ano típico (°C) 2013-2022	Ano típico (°C) 2018-2022	Ano 2020 (°C)	Ano 2021 (°C)	Ano 2022 (°C)
1	22,99	23,02	22,40	23,40	22,30
2	22,68	21,98	21,50	22,00	22,30
3	22,05	22,10	20,80	22,60	23,00
4	20,19	22,24	19,20	19,10	20,30
5	18,22	20,06	16,70	17,50	20,90
6	16,96	17,26	18,40	16,40	16,20
7	16,26	16,44	17,40	14,40	17,70
8	16,89	16,80	16,60	17,30	16,30
9	18,73	18,70	20,60	19,70	16,00
10	19,85	19,72	20,40	18,10	20,00
11	20,11	19,70	19,70	19,70	18,50
12	21,99	21,62	22,20	20,60	21,00

Importante citar que, considerando a média de temperatura do ar mais elevada, o cenário permaneceu inalterado com a grande predominância para os valores inerentes aos anos 2020, 2021 e 2022, isoladamente. No entanto, a diferença entre os valores máximos dos anos isolados e dos anos típicos diminuíram significativamente. O valor do mês de maio de 2022, por exemplo, que era 3,20°C superior ao valor da normal 1997-2020, passou a se elevar apenas 0,95°C e 090°C em relação aos valores dos anos típicos de 2013-2022 e 2018-2022, respectivamente.

Verifica-se, na tabela 4, que a ascensão da temperatura do ar nos valores dos anos de 2020, 2021 e 2022 fica mais evidente, considerando-se as médias das máximas de cada mês, comparando-se com as médias das máximas da normal climática 1997-2020 e anos típicos de 21013-2022 e 2018-2022.

Tabela 4: Temperatura média máxima mensal da normal 1991-2020, dos anos típicos de 2013-2022 e 2018-2022, bem como dos anos de 2020, 2021 e 2022. Em vermelho estão os valores maiores. Adaptado pelo autor de Boletins meteorológicos IAG/SP.

Mês	Normal (°C) 1991-2020	Ano típico (°C) 2013-2022	Ano típico (°C) 2018-2022	Ano 2020 (°C)	Ano 2021 (°C)	Ano 2022 (°C)
1	28,40	29,08	28,94	28,90	30,20	28,80
2	28,80	29,22	28,26	27,00	28,70	29,40
3	27,80	28,49	28,92	25,50	29,80	30,20
4	26,30	26,61	29,10	26,10	25,00	26,60
5	23,40	23,99	26,48	24,10	24,40	23,20
6	22,80	23,17	23,54	24,60	22,50	22,50
7	22,70	23,52	24,26	24,60	22,80	25,80
8	24,00	23,94	23,56	24,10	22,50	23,30
9	24,60	25,94	25,88	28,90	27,80	22,10
10	25,90	26,41	26,04	27,40	23,70	26,60
11	26,30	26,36	26,12	26,70	26,30	25,30
12	28,00	28,41	28,02	28,40	27,00	27,10

Em nove meses a média da temperatura mais elevada ocorreu nos anos isolados 2020, 2021 e 2022, sendo que em dois dos três meses restantes, o maior valor ocorreu no ano típico que considera as médias dos valores observados do ano 2018 até 2022.

Por fim, nas temperaturas médias mínimas mensais, apresentados na tabela 5 a seguir, ocorre uma igualdade na predominância com os valores mais elevados entre os anos 2020, 2021 e 2022 e os anos típicos de 21013-2022 e 2018-2022.

Tabela 5: Temperatura média mínima mensal da normal 1991-2020, dos anos típicos de 2013-2022 e 2018-2022, bem como dos anos de 2020, 2021 e 2022. Em vermelho estão os valores maiores. Adaptado pelo autor de Boletins meteorológicos IAG/SP.

Mês	Normal (°C) 1991-2020	Ano típico (°C) 2013-2022	Ano típico (°C) 2018-2022	Ano 2020 (°C)	Ano 2021 (°C)	Ano 2022 (°C)
1	16,80	18,84	18,80	18,40	19,60	18,60
2	17,00	18,50	18,02	18,20	18,00	17,80
3	16,40	18,14	18,12	16,40	18,10	18,70
4	14,30	16,17	18,12	14,30	15,20	16,00
5	11,60	13,60	15,74	11,60	12,50	12,40
6	09,70	12,75	13,02	13,90	12,50	12,00
7	09,70	11,24	10,96	12,20	08,60	12,00
8	09,90	12,06	12,22	11,50	12,50	11,80
9	12,00	14,18	14,28	15,70	14,60	12,00
10	13,60	15,81	15,82	16,10	14,60	15,80
11	13,90	16,29	15,54	15,20	15,30	14,10
12	16,00	17,68	17,48	18,30	16,50	17,30

Para seis meses o maior valor ficou nos anos típicos 2103-2022 e 2018-2022 e seis meses com predominância nos valores dos anos de 2020, 2021 e 2022. Convém salientar que em nenhum mês o maior valor ocorreu na norma 1991-2020.

CONCLUSÕES

De acordo com os dados observados conclui-se que nos processos de simulação e cálculo para avaliação de desempenho térmico de ambientes interiores, para a previsão das condições climáticas adotadas devem ser considerados os valores do último ano medido, ou mesmo de um ano típico obtido através dos valores médios dos últimos cinco anos. Se for considerada a normal climatológica de trinta anos, o processo de avaliação pode estar trabalhando com um cenário distinto da situação real.

Digno de nota que os valores observados recentemente para o ano de 2024, corroboram a rápida e contínua elevação da temperatura, particularmente na cidade de São Paulo [6]. Este fato reforça a necessidade de previsões mais adequadas nos modelos de simulação, para que sejam tomadas medidas corretas e criados indicadores adequados para provimento de conforto ambiental térmico nos ambientes interiores utilizando ações passivas, aquelas que não utilizam energia elétrica para sua efetivação.

Por fim, mesmo que os valores ora apresentados sejam válidos para a cidade de São Paulo, o aquecimento global é um fenômeno mundial, como já citado. Assim, as propostas delineadas neste trabalho, dizem respeito aos aspectos metodológicos, sendo, portanto, adequados para aplicação em simulações para avaliação de desempenho térmico de ambientes interiores igualmente de outras localidades.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

Coordenação de Pesquisa e Extensão do Centro Universitário SENAC.

REFERÊNCIAS

[1] HARVEY, Danny L. D. **Global Warming**: The hard Science. New York. Routelege, 2018.

[2] JURAS, Ilídia da Ascenção Garrido Martins. Aquecimento global e mudanças climáticas: uma introdução. **Revista Plenarium**. Brasília, v.5, n.5, p. 34 - 46, out., 2008.

[3] DINIZ, Fernanda Rodrigues. **Ondas de calor e mortalidade de idosos por doenças respiratórias e cardiovasculares nas capitais dos estados brasileiros: uma análise no presente (1996-2016) e projeções para o futuro próximo (2030-2050) e futuro distante (2079-2099) em diferentes cenários de mudanças climáticas**. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. 2022

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575/1-6**: Edificações habitacionais. Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

[5] LUIZ, Eduardo Leite; MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno; SCHUCH, Nelson Jorge. Determinação de um ano meteorológico típico para a cidade de Florianópolis – SC. **IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES** – São Paulo, 18 a 21 de setembro de 2012

[6] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Boletim Climatológico março 2024**, INMET – SP: 01/04/2024 disponível em https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Balan%C3%A7o-SP_mar%C3%A7o-R.pdf acessado em 18/03/2024