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

Alterações no conforto térmico de edificações residenciais ao longo de uma década em Belo Horizonte (MG)

Changes in residential buildings thermal comfort over a decade in Belo Horizonte (MG)

Camila Carvalho Ferreira
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | camilaccferreira@yahoo.com.br
Rejane Magiag Loura
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | rejaneml@gmail.com
Eleonora Sad de Assis
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | eleonorasad@yahoo.com.br

Resumo

A mudança climática tem impacto na alteração de eventos climáticos e nas temperaturas médias ao longo do globo. Entender o impacto destas alterações no parque edificado é fundamental para a proposição de medidas de resiliência climática, principalmente no caso das edificações residenciais que apresentam um expressivo consumo de energia que tende a aumentar neste cenário. O objetivo deste artigo é investigar como as tipologias construtivas residenciais típicas para a cidade de Belo Horizonte (MG) no período de 2011 a 2023 respondem em relação ao conforto térmico do usuário, buscando identificar características que podem melhorar a situação de conforto. As análises foram feitas por simulações computacionais ano a ano para 6 tipologias representativas e os resultados analisados a partir do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55. Para cada um dos modelos foram considerados um tipo de parede e cobertura padrão, alterando-se as cores das paredes externas. Os resultados apontaram redução nas horas de conforto ao longo do período analisado e a importância de pensar na resposta térmica das edificações a longo prazo. Os resultados originam implicações na abordagem de normativas e legislações urbanísticas locais, vinculando parâmetros edilícios tradicionais ao planejamento energético em escala municipal.

Palavras-chave: Mudança climática. Conforto térmico. Edificações residenciais. Planejamento urbano. Planejamento energético.

Abstract

Climate change has an impact on altering weather events and average temperatures across the globe. Understanding the impact of these changes on the building stock is essential for proposing climate resilience measures, especially in the case of residential buildings that have

Como citar:
FERREIRA, C. C.; LOURA, R. M.; ASSIS, E. S. Alterações no conforto térmico de edificações residenciais ao longo de uma década em Belo Horizonte (MG). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

a significant energy consumption that tends to increase in this scenario. The objective of this article is to investigate how the typical residential construction typologies for the city of Belo Horizonte (MG) in the period from 2011 to 2023 respond in relation to the thermal comfort of the user, seeking to identify characteristics that can improve the comfort situation. The analyses were made by year-by-year computer simulations for 6 representative typologies and the results were analyzed from the ASHRAE 55 adaptive comfort model. For each of the models, a standard type of wall and roof were considered, changing the colors of the external walls. The results showed a reduction in the hours of comfort over the analyzed period and the importance of thinking about the thermal response of buildings in the long term. The results have implications for the approach of local urban regulations and legislation, linking traditional building parameters to energy planning on a municipal scale.

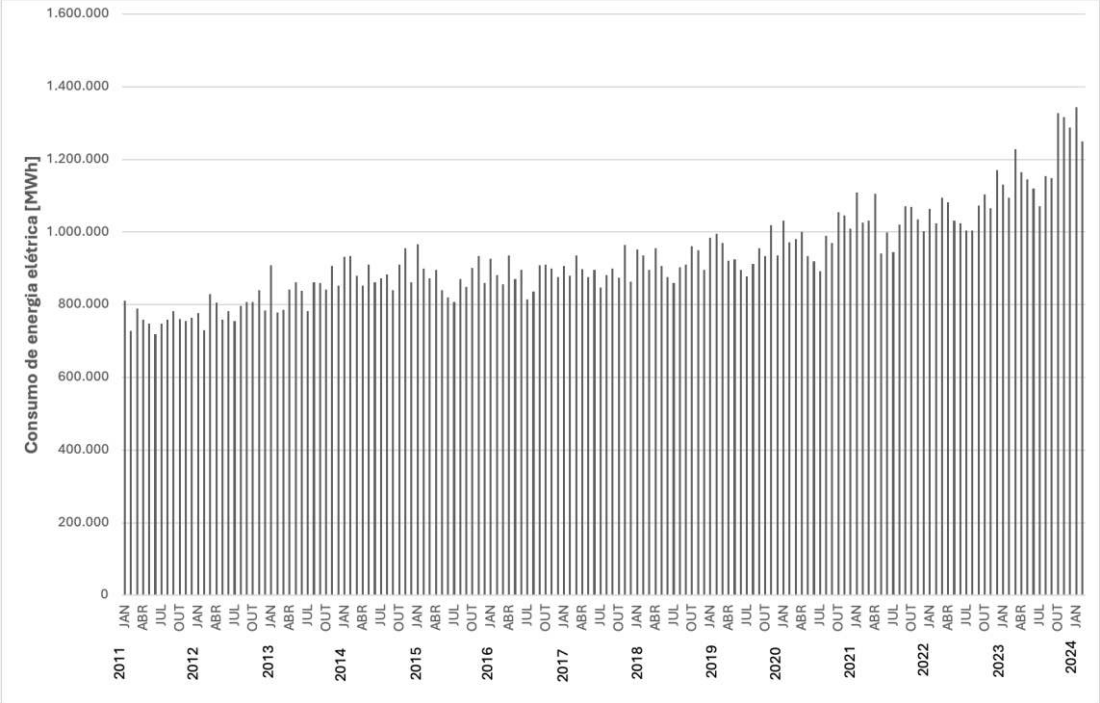
Keywords: Climate change. Thermal comfort. Residential buildings. Urban planning. Energy planning.

INTRODUÇÃO

Atualmente mais da metade da população mundial vive em áreas urbanas e projeta-se que essa proporção venha se elevar para 66% até o ano de 2050 [1]. Consequentemente, este aumento causa intenso crescimento e adensamento de cidades em países emergentes como o Brasil [2]. Este processo tem impacto direto no consumo de energia destes países por duas razões: pelo aumento de unidades construídas em si e pela baixa qualidade de muitas destas habitações, gerando uma demanda de condicionamento artificial para a obtenção de conforto nos ambientes. As cidades hoje são altamente dependentes da energia gerada fora de seu território, havendo o desafio de suprir as demandas energéticas de forma a minimizar os impactos ambientais e a emissão de gases de efeito estufa que agravam a situação climática. Em 2022, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) [3], o setor residencial apresentou uma participação de 27% no consumo final de energia elétrica no país. Para o período de 2005 a 2022, houve uma elevação de consumo de energia elétrica no setor residencial de 3,8%, enquanto nas edificações comerciais para o mesmo período o aumento foi de 1,4% [4].

A Figura 1 apresenta o consumo mensal de energia elétrica para o setor residencial para o estado de Minas Gerais para o período de janeiro de 2011 a fevereiro de 2024, último dado disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) [5].

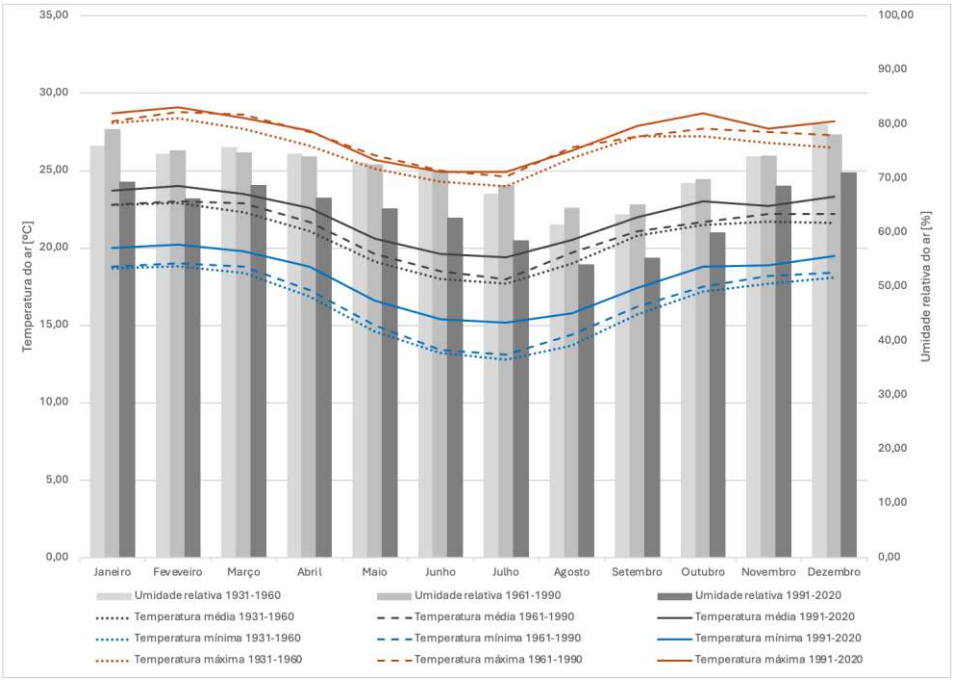
Figura 1: Consumo mensal de energia elétrica para o setor residencial de Minas Gerais a partir de 2022



Fonte: adaptado de [5]

A Figura 2 exibe os dados de temperatura do ar média, mínima e máxima e de umidade relativa para os três períodos das Normais Climatológicas (1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020) [6]. A apreciação dos dados apresentados nos permite observar haver uma redução da umidade relativa para o último período (1991-2020) e um aumento progressivo das temperaturas entre os três períodos, sendo mais expressivo para o período de 1991-2020. Destaca-se o período de setembro e outubro, em que a temperatura começa a se elevar e o ar seco contribui para temperaturas mais altas.

Figura 2: Dados climáticos de temperatura e umidade das Normais Climatológicas para Minas Gerais



Fonte: adaptado de [7]

Observando a Figura 2 cotejada com os dados disponíveis na Pesquisa Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PPH) está demonstrado uma significativa expansão da posse de aparelhos para condicionamento de ar. Em 2005, 7,0% das residências na região sudeste do país possuíam ao menos um equipamento, enquanto em 2019, esse número vai a 17,9% das habitações [8,9]. O hábito de uso também sofreu alteração neste mesmo período. Em 2005, 36,3% das residências que possuíam condicionadores de ar o utilizavam mais de quatro vezes na semana no período quente do ano. Já em 2019, durante o período quente do ano mais de 90% dos usuários informaram acionar o equipamento mais de quatro vezes na semana. Portanto, evidencia-se que há uma mudança significativa na posse e nos hábitos de uso desse equipamento que provoca impacto direto na demanda energética do setor residencial e possivelmente tem relação com a mudança do clima.

OBJETIVO

O objetivo deste artigo é investigar como as tipologias construtivas residenciais típicas para a cidade de Belo Horizonte (MG) no período de 2011 a 2023 respondem em relação ao conforto térmico do usuário, buscando identificar características que podem melhorar a situação de conforto.

METODOLOGIA

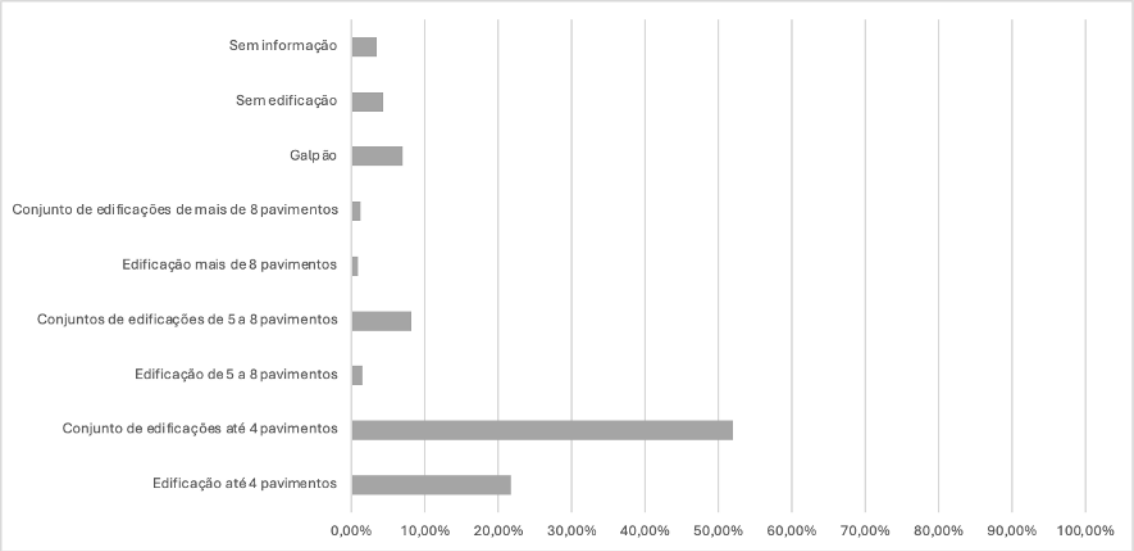
A metodologia aplicada para o desenvolvimento das análises constitui-se de simulações termoenergéticas no EnergyPlus® versão 23.1 de modelos referencias de edificações residenciais para o parque construído belorizontino, contemplando o período de 2011 a 2023. Para cada modelo referencial de edificação foram analisadas quatro condições: (i) parede externa em alvenaria de tijolo cerâmico em cores clara e (ii) escura e (iii) parede externa em alvenaria de bloco de concreto em cores clara e (iv) escura. A análise será baseada nas horas de desconforto por calor dos ambientes de permanência prolongada resultantes para cada caso, obtidas utilizando o software supracitado para cada ano do período de enfoque. Estes resultados foram então apresentados em gráficos e analisados.

Definição das edificações de referência para Belo Horizonte

A morfologia das edificações residenciais existentes em Belo Horizonte e sua respectiva proporção (edificação de até 4 pavimentos, conjunto de edificações de até 4 pavimentos, edificação de 5 a 8 pavimentos, conjunto de edificações de 5 a 8 pavimentos, edificações com mais de 8 pavimentos, conjunto de edificações com mais de 8 pavimentos, galpão, lote vago e parque) foram obtidos a partir dos dados disponibilizados pela Prefeitura de Belo Horizonte [10] e são apresentados na Figura 3. Pelos dados apresentados, constata-se o predomínio de edificações com até 4 pavimentos que somam 73,63% da área da cidade ao se considerar as edificações e o conjunto de edificações de até 4 pavimentos. As edificações de 5 a 8 pavimentos representam 9,54% da área e as edificações de mais de 8 pavimentos representam

2,14% da área do município. Nota-se assim a predominância de edificações mais baixas na cidade.

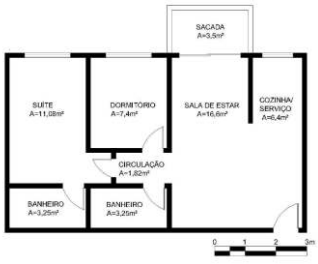
Figura 3: Gráfico de distribuição percentual de área por morfologia de edificação

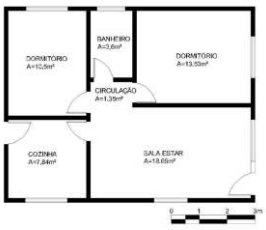
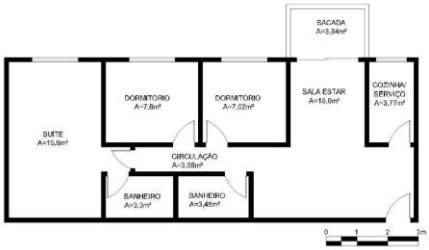
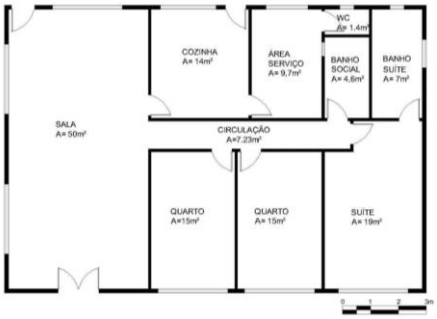


Fonte: adaptado de Bh Maps [10]

Autores como Sorgato [11], Teixeira et al. [12] e Telles [13] dedicaram-se a caracterização do setor residencial brasileiro com o objetivo de identificar modelos a serem adotados como referência do parque imobiliário residencial brasileiro. Dentre os modelos identificados, seis foram selecionados para o estudo: três modelos unifamiliares com diferenciações nas áreas construídas e três modelos multifamiliares (com 2 dormitórios e 3 dormitórios), conforme Quadro 1. A seleção dos modelos foi feita de modo a contemplar tanto residências multi como unifamiliares, segundo as diferenciações de tipologias existentes nas regiões socioeconômicas de Belo Horizonte.

Quadro 1: Modelos de edificações residenciais analisados

Modelos multi.	**Planta** N	**Modelos uni.**	**Planta** N
01	 Área = 53,3 m^2	04	 Área = 30,7 m^2

Modelos multi.	Planta N	Modelos uni.	Planta N
02	 Área = 60,85 m^2	05	 Área = 55,5 m^2
03	 Área = 66,8 m^2	06	 Área = 142,9 m^2

Fonte: adaptado de [11], [12]e [13]

No caso das edificações multifamiliares, foram considerados os pavimentos térreo, intermediário e de cobertura nas simulações. A partir dos resultados obtidos para estes pavimentos, foi considerada uma média dos resultados destes pavimentos para a caracterização da edificação.

A orientação foi mantida inalterada em todas as simulações e o Norte considerado conforme apresentado no Quadro 1.

A especificação das envoltórias fundamentou-se nas informações levantadas pela pesquisa Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PPH): ano base 2019 [9], tendo como fechamentos paredes como alvenaria com revestimento externo (19 cm) e cobertura com laje de concreto (10 cm) e telha de barro. A mesma cobertura foi considerada em todas as simulações, já as paredes foram variadas em: a primeira opção (P01) delas consiste em uma camada interna de argamassa de 2,5cm, seguida por blocos cerâmicos de dimensões 14,0 x 19,0 x 29,0cm e uma camada externa de argamassa de 2,5cm (U = 1,85 W/(m^{2}K) e CT = 161 kJ/(m^{2}K)) e a segunda opção (P02) composta por uma camada interna de argamassa de 2,5cm, seguida por blocos de concreto de dimensões 14,0 x 19,0 x 39,0cm, outra camada externa de argamassa de 2,5cm (U = 2,69 W/(m^{2}K) e CT = 272 kJ/(m^{2}K)). Além disso, a absortância das paredes foi variada em 0,3 e 0,7. Para as janelas, adotou-se janelas de correr com duas folhas sem venezianas com vidro comum 3 mm.

SIMULAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DAS HORAS DE DESCONFORTO POR CALOR

Cada um dos seis modelos representativos de edificações residenciais foi gerado conforme suas características geométricas e cada ambiente da unidade residencial foi modelado como uma zona térmica no EnergyPlus® versão 23.1.

Para as edificações multifamiliares foram modelados 4 pavimentos e as paredes em contato com unidades habitacionais adjacentes foram consideradas adiabáticas.

Os parâmetros de entrada de pessoas e a respectiva rotina de ocupação dos ambientes seguiram o especificado pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) [14] e foram mantidos constantes em todas as simulações realizadas.

Os parâmetros de entrada de cargas internas de iluminação e equipamentos (e suas respectivas rotinas) adotados foram os referenciados pelos dados da pesquisa Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial: ano base 2019 [9] para a classe socioeconômica C para a Região Sudeste, predominante em Belo Horizonte.

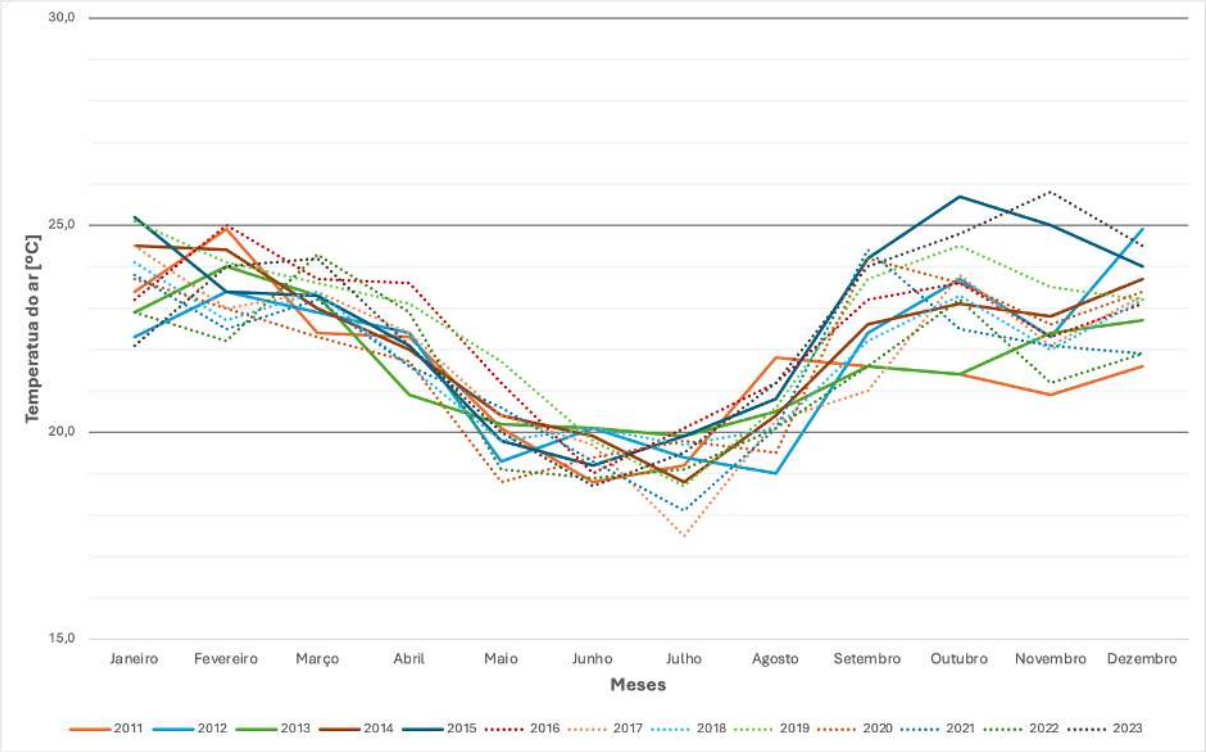
Para uma avaliação mais precisa do impacto da ventilação no desempenho térmico da edificação, optou-se por simular a ventilação natural no módulo "*Airflow Network*" do EnergyPlus. Os coeficientes de pressão foram calculados pelo programa. Os coeficientes de descarga adotados foram de 0,65 para as portas e de 0,6 para as janelas, valores recomendados pelo manual do programa [15] para as aberturas adotadas.

O controle de abertura e fechamento de janelas e portas internas foi com base no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55, com o objetivo de que a janela seja considerada fechada quando houver desconforto por frio. A porta de entrada foi considerada sempre fechada.

ARQUIVOS CLIMÁTICOS

Os arquivos climáticos anuais foram originados a partir da base de dados climáticos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [6] para cada um dos anos do período considerado (2011-2023). Os dados de temperatura média mensal do ar para cada ano são apresentados na Figura 3.

Figura 3: Gráfico de temperatura do ar mensal para o período de 2011 a 2023 para Belo Horizonte



Fonte: os autores

DADOS DE SAÍDA

As variáveis de saída solicitadas ao *software* de simulação foram a temperatura neutra (°C) e a temperatura operativa interna das zonas térmicas (°C), em dados horários para melhor precisão da análise, observando as variações ao longo do dia e do ano.

As temperaturas neutras (Tn) são utilizadas para o cálculo da faixa de conforto (equação 1) e, em seguida, as temperaturas operativas comparadas com a faixa de conforto para a verificação da condição de conforto ou não (horária) para cada ambiente de permanência prolongada (dormitórios e sala). O modelo de conforto adotado foi o modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 [15]. A faixa de conforto utilizada foi a de ±3,5 °C (T_{lim}), de acordo com a recomendação da norma ASHRAE 55 [15] de 80%, aplicando-se a correção da faixa conforme a velocidade do ar interno.

$$Tn = 0{,}310 \times T + 17{,}8°C \pm T_{lim} \qquad (1)$$

Os horários em que as temperaturas operativas dos ambientes se encontravam acima do limite superior da faixa foram contabilizados como hora de desconforto por calor. Estas horas foram somadas para cada modelo de referência e uma média pelo número de zonas realizado, de forma que ao final resultasse-se um número único representativo de horas de desconforto por calor para a edificação.

RESULTADOS

Os resultados das horas de desconforto por calor anuais obtidas por simulação são apresentados em gráficos para cada modelo referencial de edificação e são a base da

análise desenvolvida. Os resultados referentes a parede em alvenaria com tijolo cerâmico (P01) são representados em azul para o caso de cores claras (α=0,30) e em laranja para cores escuras (α=0,70). Já aqueles referentes a parede em alvenaria com bloco de concreto (P02) são representados em verde para o caso de cores claras (α=0,30) e em cinza para cores escuras (α=0,70).

Para o modelo de referência 1, edificação multifamiliar, os resultados são apresentados na Figura 4. É observado um aumento do desconforto de calor ao longo do período avaliado (2011 a 2023), de forma mais proeminente para os anos de 2015 e 2016 e a partir de 2019, anos estes que se destacam-se por temperaturas mais altas que o padrão. Este aumento das horas de desconforto ocorre para os quatro casos analisados variando as paredes externas, contudo em intensidade distintas. Sobressai-se o aumento das horas de desconforto por calor quando se tem as paredes externas em cores escuras.

Os resultados para o modelo de referência 2, também edificação multifamiliar, são apresentados na Figura 5. Apesar do modelo 2 apresentar melhores condições de conforto do que o modelo 1, há uma similaridade de comportamento entre estes modelos quanto ao aumento do desconforto de calor para o período analisado e para as variações de paredes externas analisadas.

Comportamento equivalente é encontrado nos resultados para o modelo de referência 3, edificação multifamiliar, conforme exposto na Figura 6.

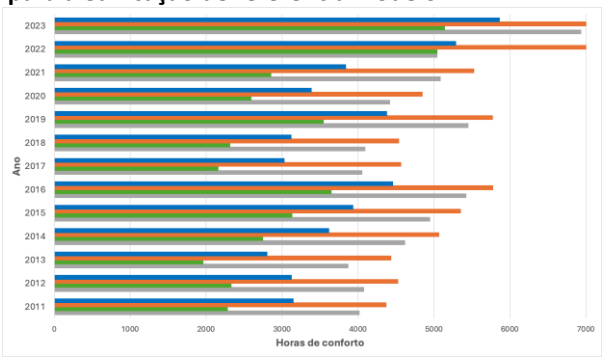
Analisando agora os modelos de referência para as tipologias unifamiliares, nota-se que os resultados apresentados apontam para menos horas de desconforto por calor, mas um comportamento análogo ao das edificações multifamiliares.

Os resultados para o modelo de referência 4, unifamiliar de menor área, estão expostos na Figura 7. Este modelo unifamiliar foi o que apresentou proporcionalmente maior número das horas de desconforto, de forma similar aos modelos multifamiliares. Assim como os modelos já apresentados, há um aumento do desconforto de calor ao longo dos anos, sobressaindo-se os anos de 2015 e 2016 e a partir de 2019 e os casos em que as paredes externas possuem a absortância maior.

Dentre todos os modelos analisados, o modelo de referência 5 foi o que apresentou os menores número de horas de desconforto por calor (Figura 8). Ainda sim é possível constatar o mesmo comportamento de aumento das horas de desconforto ao longo do tempo, destacando-se os anos de 2015, 2016, 2019 a 2023.

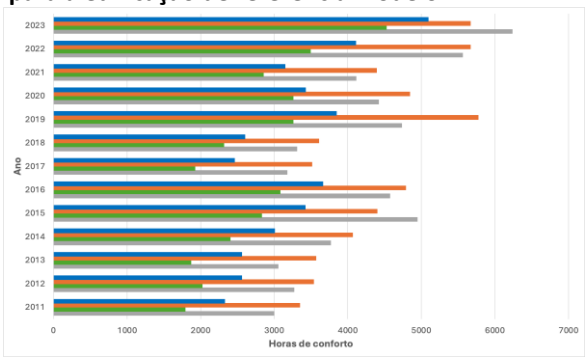
Por fim, o modelo de referência 6 tem as horas de desconforto por calor apresentadas na Figura 9. Para estes modelos é também identificado o aumento das horas de desconforto para o período de 2011 a 2023, com os mesmos anos em evidência. Nestes modelos, é observado a singularidade de que, em geral, a parede em tijolo cerâmico mesmo em cor clara resulta em desconforto similar ao da parede em bloco concreto na cor escura.

Figura 4: Horas de desconforto por calor ano a ano para a edificação de referência modelo 1



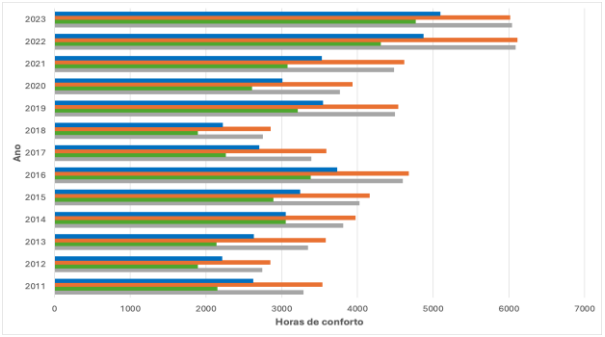
Fonte: os autores

Figura 5: Horas de desconforto por calor ano a ano para a edificação de referência modelo 2



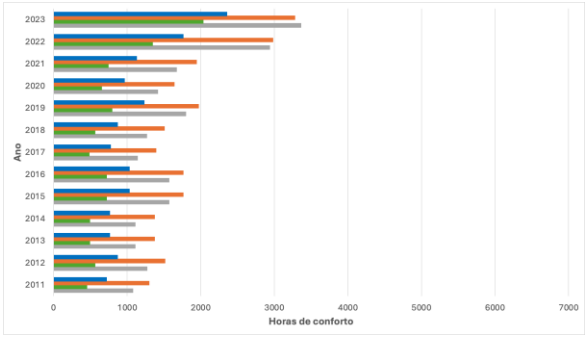
Fonte: os autores

Figura 6: Horas de desconforto por calor ano a ano para a edificação de referência modelo 3



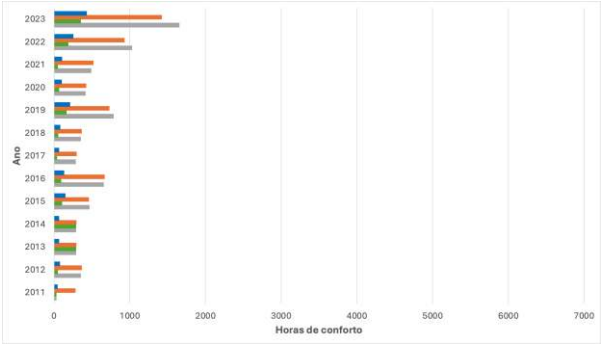
Fonte: os autores

Figura 7: Horas de desconforto por calor ano a ano para a edificação de referência modelo 4



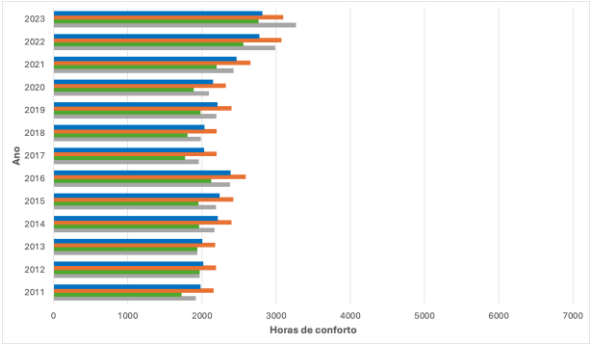
Fonte: os autores

Figura 8: Horas de desconforto por calor ano a ano para a edificação de referência modelo 5



Fonte: os autores

Figura 9: Horas de desconforto por calor ano a ano para a edificação de referência modelo 6



Fonte: os autores

Legenda



De forma geral, foi observado em todos os modelos de referência analisados um aumento das horas de desconforto por calor ao longo de período de análise (2011 a 2023), sobretudo a partir do ano de 2019. Destacam-se neste cenário os anos de 2016 e de 2021 a 2023, o que aponta ser uma tendência contemporânea. Na última década, o desconforto por calor teve um aumento médio da ordem de 2000 horas para os modelos multifamiliares, o que corresponde a aproximadamente 83 dias, e de 1000 horas para os modelos unifamiliares, correspondente a perto de 42 dias, o que explica a mudança ocorrida na posse e no hábito de uso dos condicionares de ar [8,9].

Outra observação relevante é quanto às características das paredes externas. De forma geral, os menores números de horas de desconforto por calor ocorreram para

as paredes de alvenaria de bloco de concreto em cores claras e os maiores números de horas de desconforto para as paredes de alvenaria de tijolo cerâmico na cor escura. A limitação da cor da parede externa influencia fortemente no aumento de horas por desconforto de calor, assim como, em menor escala, a escolha da composição das paredes. Fica assim explicitado a importância de os instrumentos de uso e ocupação do solo passem a tratar, para além de altimetria e afastamentos, da composição dos elementos da envoltória da edificação residencial com o intuito de mitigar os efeitos da mudança climática na demanda energética das edificações residenciais de Belo Horizonte (MG).

CONCLUSÃO

Os registros meteorológicos do INMET [13] entre os anos de 2011 e 2023 evidenciam a tendência de elevação das temperaturas médias apontadas nas Normais Climatológicas. O aumento da posse e da frequência de uso dos equipamentos de condicionamento de ar, que impactam diretamente a demanda energética, pode ser uma consequência decorrente da mudança observada no clima da cidade de Belo Horizonte. Esse artigo foi capaz de apontar em seis tipologias construtivas mais frequentemente observadas na cidade variações nas horas de desconforto térmico. As edificações residenciais multifamiliares, de modo geral, apresentaram comportamento térmico pior que as unifamiliares. Essa constatação é preocupante visto que a condição demográfica e espacial de Belo Horizonte impõe a substituição de edificações residenciais unifamiliares por prédios multifamiliares. Ou seja, a dinâmica de adensamento urbano da capital mineira pode ser um fator agravante da elevação da demanda energética.

Além da morfologia e densidade demográfica, a composição das vedações verticais e a cor de seus revestimentos são aspectos que contribuem diretamente na redução do desconforto térmico, no caso de paredes de bloco cerâmico com revestimentos em cores claras.

Portanto, esse trabalho aponta para a necessidade de planejadores urbanos incluírem em políticas de uso e ocupação do solo parâmetros que promovam a produção de edificações com envoltórias mais adequadas a situação climática visando a redução do impacto do setor residencial na demanda energética nacional.

Recomenda-se realizar estudos em outras capitais com climas distintos para tentar identificar se há algum padrão de comportamento em escala nacional, o que poderia contribuir para o ajuste da política habitacional do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPEMIG e CNPq para o desenvolvimento desta pesquisa e à Gerência de Custos (GCUST) da Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão (SMPOG) da Prefeitura de Belo Horizonte pelos dados fornecidos.

REFERÊNCIAS

[1] UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects the 2014 Revision**. New York, p. 517. 2015.

[2] DEVELOPMENT, W. -W. B. C. F. S. **Energy efficiency in buildings: business realities and opportunities**. [S.l.]. 2007.

[3] EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **Balanço Energético Nacional 2023: Ano base 2022**. EPE. Rio de Janeiro, p. 274. 2023.

[4] EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **Atlas de Eficiência Energética: Relatório de Indicadores**. EPE. Rio de Janeiro. 2023.

[5] EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas). Disponivel em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 20 abril 2024.

[6] INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA). Banco de Dados Meteorológicos do INMET. Disponivel em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 26 maio 2023.

[7] INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA). Gráficos Climatológicos. **Clima INMET**. Disponivel em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>. Acesso em: 09 maio 2024.

[8] ELETROBRAS. **Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso, Ano Base 2005, Setor Residencial, Relatório Brasil**. ELETROBRAS/Procel. Rio de Janeiro. 2007.

[9] ELETROBRAS. **Pesquisa de posse e hábitos de equipamentos elétricos na classe residencial**. Eletrobras. Rio de Janeiro. 2019.

[10] PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICA URBANA. Painel Interativo de Estudos Urbanos: Tipologia (2018). **Tipologia de uso e ocupação do solo**, 2020. Disponivel em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYzQxNmU2YTAtNDI2YS00NDA2LWJmMDUtM2FmYjUxZWM2MjFmIiwidCI6IjVkNzdmY2E1LWIxZDEtNDI3OS1iNzk3LWEzYTY1NzA2Y2YxOSJ9>. Acesso em: 10 outubro 2023.

[11] SORGATO, M. J. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 260. 2015.

[12] TEIXEIRA, C. A. et al. **Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros**. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, p. 87. 2015.

[13] TELLES, C. D. P. **Proposta de simplificação do RTQ-R**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 118. 2016.

[14] BRASIL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificaçòes Residenciais (RTQ-R)**. INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. Rio de Janeiro. 2012.

[15] ENERGYPLUS. **Input/Output Reference. Dados de entrada e saída do programa EnergyPlus**. Versão 23.0, 2023.

[16] AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING - ASHRAE. **ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ASHRAE. Atlanta. 2017.