

Influência das mudanças climáticas no desempenho térmico de uma habitação com diferentes sistemas construtivos: análise do clima de São Paulo

Gustavo Henrique Nunes ^[1], Thalita Gorban Ferreira Giglio ^[2]

[1] nunes.gustavo@outlook.com. [2] thalita@uel.br. Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Construção Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

RESUMO

A resposta termoenergética do edifício está estreitamente relacionada ao clima em que se insere e, assim sendo, os efeitos das mudanças climáticas podem influenciar no comportamento ambiental das habitações ao longo dos anos. Esta pesquisa objetivou investigar o desempenho térmico de habitações unifamiliares construídas em diferentes sistemas construtivos sob a influência dos efeitos de mudanças climáticas em São Paulo. Para tanto, simulações computacionais com o *EnergyPlus* foram realizadas considerando quatro períodos climáticos: TRY (1954), 2020, 2050 e 2080. Os arquivos climáticos futuros foram gerados com auxílio da ferramenta *CCWorldWeatherGen*, e a progressão gerada para o período 2020 foi comparada com dados meteorológicos medidos de 2011 a 2018. Os resultados mostraram que a temperatura do ar externo de São Paulo aumentará em média 4,23 °C até 2100, o que fará com que os indicadores de graus-hora para aquecimento (GHA) diminuam até 1.165,24 °Ch e de graus-hora para resfriamento (GHR) aumentem até 144,26 °Ch, conforme o sistema construtivo. Além disso, observou-se que fechamentos verticais com maior capacidade térmica serão importantes para satisfazer as exigências de conforto térmico do usuário. Portanto, é necessário considerar mudanças climáticas em soluções de eficiência energética em edificações.

Palavras-chave: Aquecimento global. Arquivos climáticos futuros. *CCWorldWeatherGen*. Cenários climáticos futuros. Conforto térmico adaptativo.

ABSTRACT

The thermo-energetic performance of the building is closely related to its climate and, therefore, the effects of climate change can influence the environmental comfort of dwellings over the years. This research aimed to investigate the thermal performance of single-family houses built in different building systems under the influence of the climate change effects on the climate in São Paulo. For this purpose, simulations with EnergyPlus were performed considering four climatic periods: TRY (1954), 2020, 2050 and 2080. The future climate files were generated with the assistance of the CCWorldWeatherGen tool, and the progression generated for the 2020 period was compared with meteorological data measured from 2011 to 2018. The results showed that outdoor air temperature of São Paulo will increase on average of 4.23 °C up to 2100, which will cause the degree-hours for heating (GHA) indicator to decrease to 1.165,24 °Ch and the degree-hours for cooling (GHR) indicator to increase to 144,26 °Ch, according to the constructive system. Furthermore, it was observed that building façades with higher thermal capacity will be important to satisfy the user's thermal comfort requirements. Therefore, it is necessary to consider climate change in energy efficiency solutions in buildings.

Keywords: Global warming. Future weather files. *CCWorldWeatherGen*. Future climate scenarios. Adaptive thermal comfort.

1 Introdução

Debates mundiais retratam cada vez mais a crescente preocupação com os efeitos das mudanças climáticas, caracterizadas, principalmente, pela elevação da temperatura global. Nesse contexto, os impactos das alterações no clima já caracterizam um grande desafio para a humanidade, indicando a necessidade de se encontrar estratégias de adaptação às condições climáticas futuras (FARAH *et al.*, 2019; WILDE; COLEY, 2012).

As pesquisas evidenciam mudanças no clima no decorrer dos últimos anos. A temperatura em 2018 foi 0,83 °C maior do que a média do século XX, representada pelo período de 1951–1980 (NASA, 2019). Os dados de NASA (2018) e NOAA (2018) mostram que os cinco anos mais quentes do recorde global ocorreram todos na década de 2010. Considerando os impactos atuais e as tendências esperadas, estima-se que a temperatura média do ar no período de 2081 a 2100 seja 4,8 °C mais alta do que em 1986–2005, alerta o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (IPCC, 2014).

Estudos apontam que a vida útil das edificações varia entre 35 e 70 anos (MCKINSEY, 2009). No Brasil, a NBR 15575 (ABNT, 2013) preconiza uma vida útil para edificações residenciais entre 50 e 75 anos. Considerando-se que a resposta termoenergética do edifício está estreitamente relacionada ao clima em que se insere (CASAGRANDE, 2013), Olonscheck, Holsten e Kropp (2011), Nakicenovic e Swart (2000) e Williams *et al.* (2012) apontam que mudanças no clima influenciam no conforto ambiental nas edificações, bem como no seu consumo energético.

Em geral, não se analisa o comportamento da edificação frente às situações futuras de sua vida útil. Além do mais, para simulações computacionais de desempenho térmico e energético, grande parte dos arquivos climáticos utilizados, especialmente no Brasil, é de 1961 a 1990. Dessa forma, a análise do desempenho de edificações fica comprometida e atrai interesse de soluções que consideram as condições climáticas futuras (INVIDIATA; GHISI, 2016; ROBERT; KUMMERT, 2012). Além disso, recomenda-se usar diferentes tipologias de edificações para avaliar o desempenho energético de grupos de habitações e de moradias individuais ou analisar cenários com estratégias de eficiência energética (DASCALAKI *et al.*, 2011).

Jentsch *et al.* (2013) propuseram uma técnica para adaptar arquivos *EnergyPlus Weather Files* (EPW) usando o método *morphing* desenvolvido por Belcher, Hacker e Powell (2005). Nela, os resultados dos cenários climáticos futuros HadCM3 do cenário A2 do IPCC (2011) são tidos como base. A ferramenta *Climate Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data* (CCWorldWeatherGen) foi desenvolvida de modo a permitir a geração de arquivos climáticos futuros para 2020 (representa o período de 2011 a 2040), 2050 (representa o período de 2041 a 2070) e 2080 (representa o período de 2071 a 2100) para qualquer parte do mundo (JENTSCH *et al.*, 2013). O método foi comprovado como uma forma prática e eficaz para avaliar mudanças climáticas no ambiente construído e vem sendo utilizado em diversas pesquisas (GUARDA *et al.*, 2018; TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2016; WANG; LIU; BROWN, 2017).

Estudos recentes (ALVES; DUARTE; GONÇALVES, 2015; CASAGRANDE, 2013; GUARDA *et al.*, 2018; INVIDIATA; GHISI, 2016) vêm inserindo o debate sobre as mudanças climáticas frente às situações de edificações do Brasil. Alves, Duarte e Gonçalves (2015) consideraram mudanças climáticas em estratégias para melhoria do desempenho termoenergético de edifícios residenciais para idosos. Casagrande (2013) investigou a influência de variáveis como orientação solar, sombreamento e porcentagem de abertura de janelas no desempenho de edificações comerciais em cenários futuros. Guarda *et al.* (2018) demonstraram como as mudanças climáticas afetarão a concepção de Casas de Energia Zero no estado de Mato Grosso. Invidiata e Ghisi (2016) estudaram o impacto de mudanças climáticas no desempenho termoenergético de habitações de interesse social em Belém, Curitiba e Florianópolis. Todavia, ainda há carência de pesquisas que abordem o comportamento térmico de edificações com diferentes tipologias e características construtivas diante de cenários futuros.

Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo analisar o desempenho térmico de habitações unifamiliares construídas em diferentes sistemas construtivos sob a influência dos efeitos de mudanças climáticas na zona bioclimática 3 da NBR 15220-3 (ABNT, 2005a), em referência à cidade de São Paulo. Dessa maneira, o presente trabalho contribui para a discussão do impacto de mudanças climáticas no desempenho térmico de edificações residenciais brasileiras.

2 Método da pesquisa

Para atender ao objetivo, realizou-se simulações computacionais com o software *EnergyPlus*, considerando o período climático do arquivo *Test Reference Year (TRY)* de 1954 e períodos climáticos futuros. Três sistemas construtivos foram propostos em uma habitação unifamiliar térrea com intuito de avaliar seu desempenho térmico a partir das premissas de conforto adaptativo, segundo a *ASHRAE Standard 55* (ASHRAE, 2017). Nesta seção, são apresentados o objeto de estudo, o clima analisado, a preparação dos períodos climáticos futuros e os procedimentos das simulações e da determinação do desempenho térmico da habitação.

2.1 Objeto de estudo

A edificação objeto de estudo é uma habitação unifamiliar isolada enquadrada nos padrões do Programa Minha Casa Minha Vida. Os ambientes que compõem a moradia são uma sala integrada com a cozinha, dois dormitórios e um banheiro, totalizando 40,75 m² com pé direito de 2,55 m. A edificação analisada é mostrada na Figura 1.

Para a envoltória da edificação considerou-se três opções de sistemas construtivos de paredes com propriedades termofísicas distintas: blocos cerâmicos

6 furos (9x14x24 cm); concreto maciço 10 cm; e *wood frame* – DATec 020-C (BRASIL, 2017), seguindo estudos acerca de sistemas leves de Bortone *et al.* (2018), Bortone, Nunes e Giglio (2019) e Zara, Santos e Giglio (2018). A cobertura é feita de uma estrutura de madeira (ático não ventilado) com telhas cerâmicas. O teto é forrado com folhas de PVC e dispõe de uma camada térmica isolante em lã de rocha de 10 cm de espessura. O piso é cerâmico sobre um radier em concreto armado de 15 cm de espessura. As janelas são compostas por caixilhos de alumínio com duas folhas deslizantes e vidro simples incolor de 3 mm de espessura, sem elementos de sombreamento. A absorptância solar da cobertura é 0,75 e a absorptância solar das paredes é 0,46.

Na Figura 2, apresentada na página seguinte, ilustram-se as composições das vedações verticais, do piso e da cobertura considerados, bem como seus respectivos valores de transmitância e capacidade térmica segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). Na Tabela 1 (página seguinte) estão descritas as propriedades termofísicas dos materiais utilizados nas composições das vedações verticais, da cobertura e do piso. Para a aplicação no *EnergyPlus*, as paredes com camadas heterogêneas foram transformadas em homogêneas equivalentes em resistência, conforme Weber *et al.* (2017).

Figura 1 – Planta baixa e corte da edificação (todas as dimensões são dadas em metros)

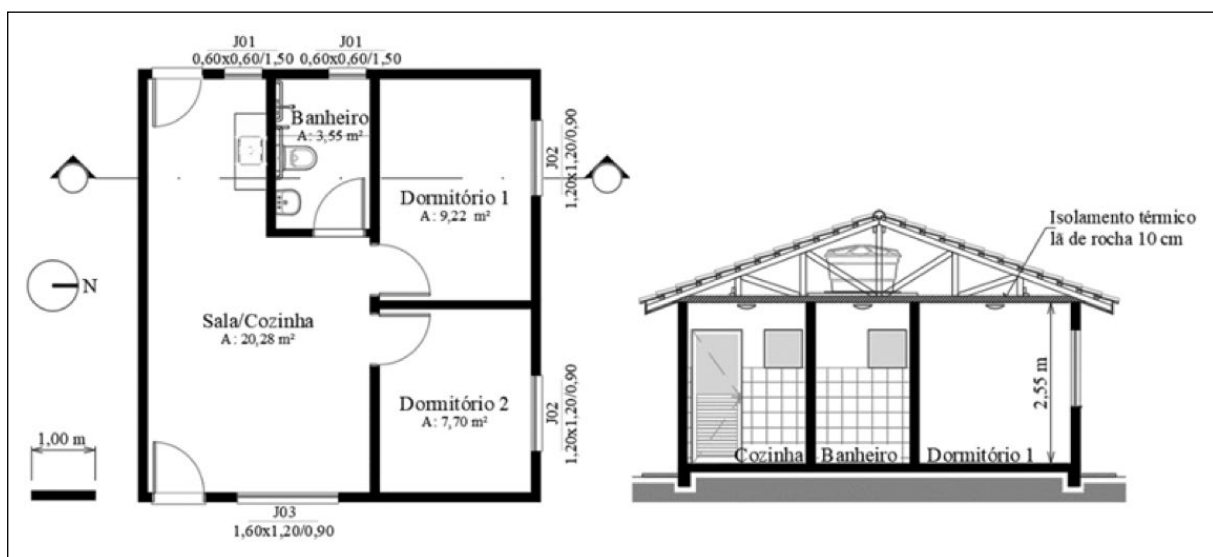


Figura 2 – Representação das paredes, da cobertura e do piso

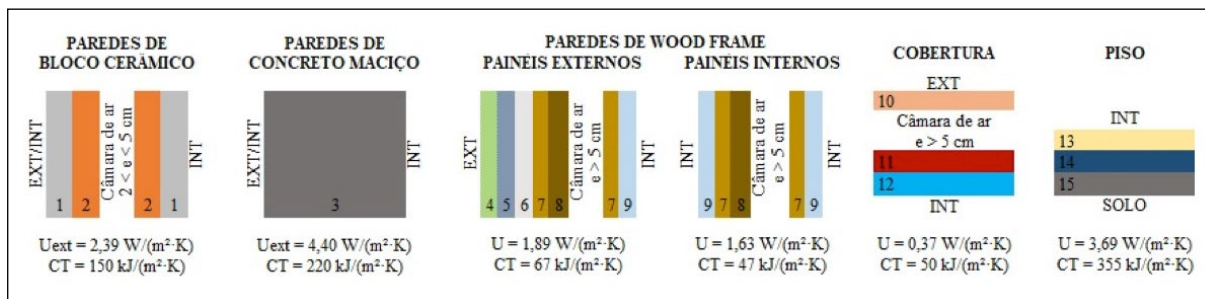


Tabela 1 – Propriedades dos componentes das paredes, da cobertura e do piso

	Material	Espessura [m]	Condutividade térmica [W/(mK)]	Calor específico [kJ/(kg·K)]	Densidade [kg/m³]
1	Argamassa de reboco	0,025	1,15	1,00	2.000
2	Bloco cerâmico (equivalente)	0,0134	0,90	0,92	1.600
3	Concreto das paredes	0,10	1,75	1,00	2.200
4	Acabamento em textura acrílica	0,003	1,15	1,00	2.000
5	Argamassa polimérica base coat	0,005	1,15	1,00	1.840
6	Placa cimentícia	0,008	0,35	1,00	1.700
7	Placa OSB	0,0095	0,17	2,30	681
8	Madeira Pinus (equivalente)	0,0015	0,15	1,34	494
9	Gesso acartonado	0,0125	0,35	0,84	750
10	Telha cerâmica	0,02	1,05	0,92	2.000
11	Lã de rocha	0,10	0,045	0,70	10,53
12	Forro PVC	0,01	0,20	0,96	1.300
13	Piso cerâmico	0,01	0,90	0,92	1.600
14	Argamassa de assentamento do piso	0,005	1,15	1,00	2.000
15	Concreto do radier	0,15	1,75	1,00	2.200

Fonte: os autores, elaborado a partir de ABNT (2005b), Brasil (2017) e Weber et al. (2017)

2.2 Clima analisado

Para investigar o desempenho térmico da habitação conforme os diferentes sistemas construtivos propostos e as possíveis mudanças climáticas, escolheu-se a zona bioclimática 3, que abrange boa parte da região sul e sudeste do país. Nestas regiões se concentra a maior parte da população brasileira (IBGE, 2018). Para as simulações, escolheu-se São Paulo como cidade representativa. O clima é predominantemente mais ameno, com invernos secos e frios, e verões úmidos e quentes (FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2014).

2.3 Cenários climáticos

O objeto de estudo foi avaliado no cenário do *Test Reference Year* (TRY), comumente aplicado em estudos de desempenho termoenergético, e em três períodos futuros gerados pela ferramenta *CCWorldWeatherGen* v. 1.9 a partir de seu manual (JENTSCH; BAHAJ; JAMES, 2017).

A ferramenta *CCWorldWeatherGen* consiste em uma planilha eletrônica incorporada ao *Microsoft® Excel* que foi desenvolvida para converter dados TRY e TMY para arquivos climáticos futuros (nos formatos EPW e TMY2) de qualquer local do mundo. Os arquivos climáticos são convertidos para os alongamentos

dos anos representativos 2020 (2011 a 2040), 2050 (2041 a 2070) e 2080 (2071 a 2100). O procedimento é realizado com base nos dados globais do modelo HadCM3 no cenário A2 do quarto relatório do IPCC (IPCC, 2011). Este cenário é o que mais se aproxima do desenvolvimento atual (JENTSCH *et al.*, 2013).

Dessa maneira, a partir do formato EPW com dados TRY de São Paulo, foram gerados os arquivos climáticos para os períodos 2020, 2050 e 2080, com intuito de obter respostas em diferentes condições climáticas a que a edificação pode estar sujeita durante sua vida útil.

Além disso, considerando-se que o ano atual (2019) já corresponde ao período representativo de 2020 (2011-2040), comparou-se os dados climáticos gerados na progressão do *CCWorldWeatherGen* para o período 2020 com os dados reais medidos entre 2011 e 2018 pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, da Universidade de São Paulo (IAG-USP) (IAG-USP, 2019).

2.4 Simulações computacionais

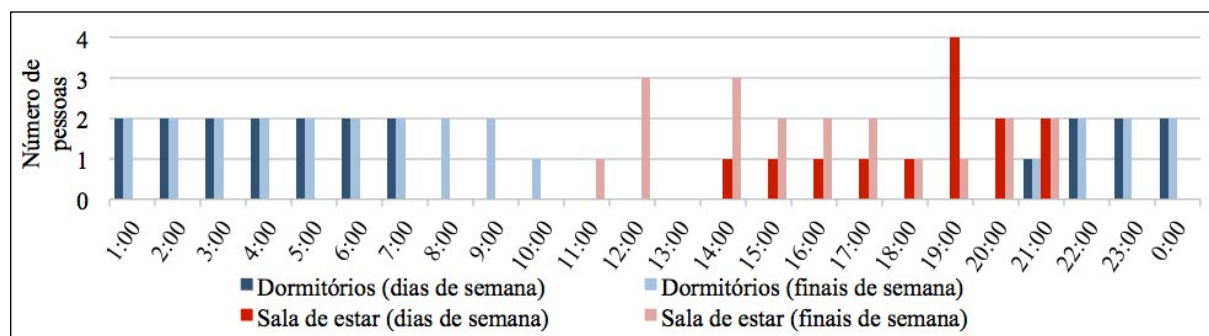
Para mensurar o desempenho térmico dos sistemas construtivos nos diferentes cenários climáticos (TRY, 2020, 2050 e 2080), utilizou-se o *EnergyPlus* com auxílio do *plug-in Euclid* inserido no *SketchUp*. O *EnergyPlus* é considerado a ferramenta de simulação termoenergética mais utilizada pela indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) mundial e é útil para modelar padrões de uso e ocupação, ventilação, iluminação, bem como o consumo de água em edifícios, por exemplo (KIRIMTAT *et al.*, 2016).

Com relação às definições e configurações de uso e ocupação, às cargas internas e ao sistema de ventilação natural, seguiu-se os padrões estabelecidos no método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012). As definições e configurações de ocupação da habitação e uso de iluminação são expostas nas Figuras 3 e 4. Adicionalmente, os parâmetros e as cargas internas consideradas são listados na Tabela 2. O sistema de ventilação natural está disponível o ano todo com *setpoint* operativo de 20 °C, habilitando a abertura das janelas quando a temperatura do ar do ambiente é igual ou superior à temperatura de *setpoint*.

A interação da temperatura do solo e da temperatura interna da habitação configura um fator importante para o desempenho térmico de edificações térreas no Brasil. Assim, as temperaturas mensais do solo para cada cenário climático e cada sistema construtivo foram obtidas por meio do pré-processador *Slab*, vinculado ao *EnergyPlus*. Para isso, seguiram-se as instruções do manual do *Slab* (COSTA; CHVATAL, 2017). Dentre os parâmetros de entrada que foram inseridos no *Slab*, destaca-se a consideração do entorno do edifício com grama baixa, solo do tipo argiloso e ativação da evapotranspiração no processo de cálculo.

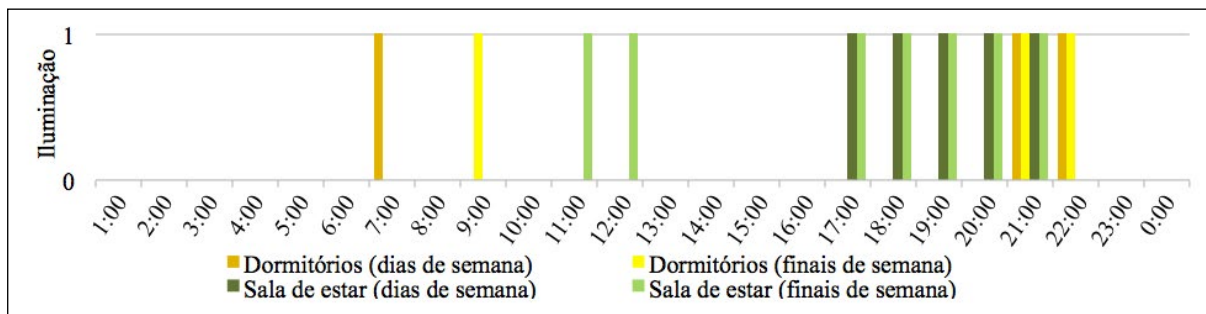
Os dados de saída considerados na avaliação anual de conforto na habitação foram as temperaturas operativas (com uso exclusivo da ventilação natural) horárias dos ambientes de permanência prolongada (sala/cozinha e dormitórios).

Figura 3 – Configurações de ocupação



Fonte: os autores, elaborado a partir de Brasil (2012)

Figura 4 – Configurações de iluminação



Fonte: os autores, elaborado a partir de Brasil (2012)

Tabela 2 – Parâmetros de ocupação e fontes de calor

Parâmetros		Ambientes de permanência prolongada	
		Sala de estar	Dormitórios
Ocupação		4 pessoas	2 pessoas/dorm.
Fontes de calor	Pessoas	108 W/pessoa	81 W/pessoa
	Iluminação	6 W/m ²	5 W/m ²
	Equipamentos	1,5 W/m ²	-

Fonte: os autores, elaborado a partir de Brasil (2012)

2.5 Desempenho térmico no ambiente construído

A resposta térmica da edificação foi analisada a partir do método do conforto adaptativo da ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017), considerando limites de temperatura de conforto térmico para 80% de aceitabilidade pelos usuários. Os limites de temperatura são determinados a partir da temperatura média mensal prevalecente do ar externo, conforme se apresenta na Figura 5 da página seguinte (LI significa limite inferior e LS significa limite superior).

Os ambientes de permanência prolongada tiveram seu desempenho avaliado quando naturalmente ventilado. Assim, a partir da temperatura operativa do período em que há ocupação (Figura 3), obteve-se o número de horas nas quais há conforto térmico interno na sala/cozinha, no dormitório 1 e no dormitório 2. Analogamente, obteve-se a quantidade de horas de desconforto por calor e de desconforto por frio.

Primeiramente, enfatizou-se as análises para o ambiente dormitório 1. Este ambiente foi escolhido por estar na disposição de maior incidência solar, uma vez que possui paredes externas voltadas para as orientações norte e oeste. Posteriormente, analisou-

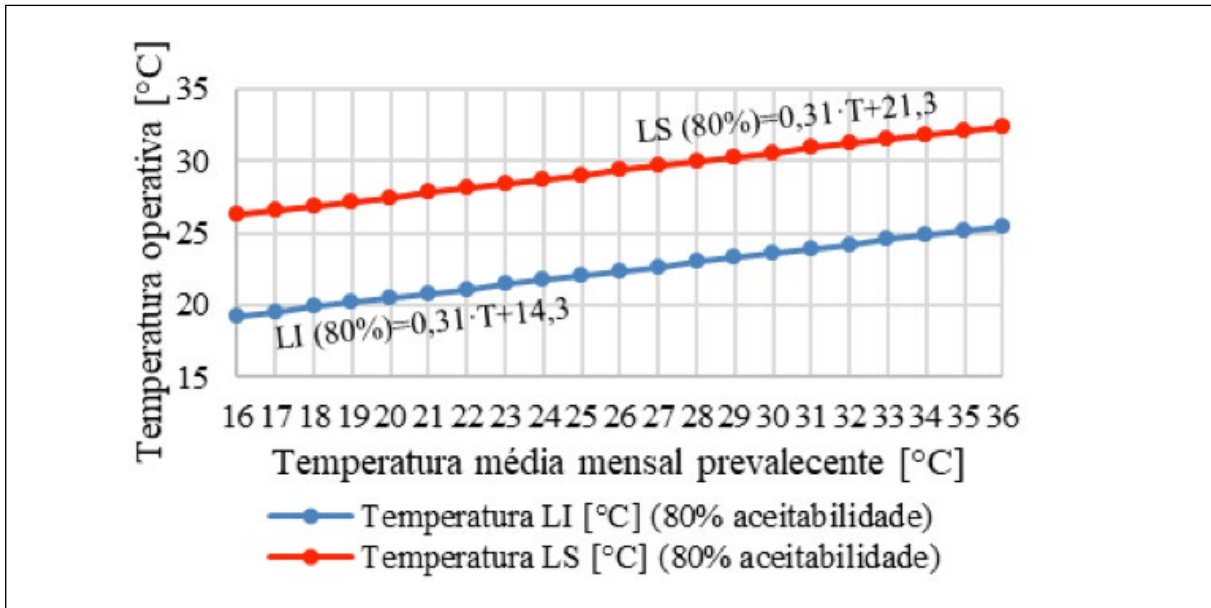
se o desempenho ponderado da edificação (todos os ambientes de permanência prolongada). Para isto, por meio da Equação 1, obteve-se a quantidade ponderada de horas conforme a sensação térmica na residência, ou seja, a quantidade ponderada de horas na qual a residência é termicamente confortável ou desconfortável (por frio e por calor), para 80% de aceitabilidade.

$$H_{st} = \frac{H_{st,sc} \cdot A_{sc} + H_{st,d1} \cdot A_{d1} + H_{st,d2} \cdot A_{d2}}{A_{sc} + A_{d1} + A_{d2}} \quad (1)$$

Onde:

- H_{st} é o número de horas ocupadas, conforme a sensação térmica na edificação;
- $H_{st,sc}$ é o número de horas ocupadas, conforme a sensação térmica na sala/cozinha;
- $H_{st,d1}$ é o número de horas ocupadas, conforme a sensação térmica no dormitório 1;
- $H_{st,d2}$ é o número de horas ocupadas, conforme a sensação térmica no dormitório 2;
- A_{sc} é a área da sala/cozinha;
- A_{d1} é a área do dormitório 1;
- A_{d2} é a área do dormitório 2.

Figura 5 – Temperatura operativa em função da temperatura média mensal prevalecente conforme equações do modelo adaptativo *Standard 55*



Fonte: os autores, elaborado a partir de ASHRAE (2017)

Além disso, para o dormitório 1, obteve-se a quantidade de graus-hora para aquecimento (GHA) e de graus-hora para resfriamento (GHR), para 80% de aceitabilidade. As Equações 2 e 3 demonstram as considerações para os cálculos.

$$GHA = \sum_{i=1}^{4.330} (T_{LL,mês} - T_{op,d1}), \text{ se } T_{op,d1} < T_{LL,mês} \quad (2)$$

$$GHR = \sum_{i=1}^{4.330} (T_{op,d1} - T_{LS,mês}), \text{ se } T_{op,d1} > T_{LS,mês} \quad (3)$$

Onde:

- GHA é o somatório de graus-hora para aquecimento;
- GHR é o somatório de graus-hora para resfriamento;
- i é cada uma das 4.330 horas de ocupação do dormitório durante o ano;
- $T_{op,d1}$ é a temperatura operativa do dormitório 1;
- $T_{LL,mês}$ é a temperatura limite inferior (mensal) de conforto térmico adaptativo;
- $T_{LS,mês}$ é a temperatura limite superior (mensal) de conforto térmico adaptativo.

Todas as análises aqui relatadas foram feitas para os três sistemas construtivos considerados (item 3.1) e para os quatro cenários climáticos relatados (item 3.3).

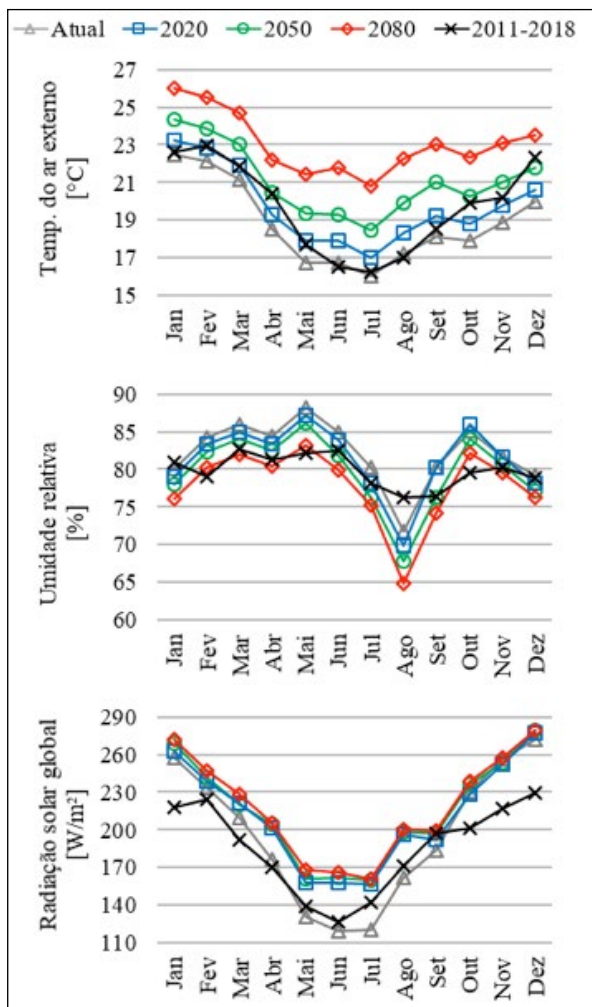
3 Resultados da pesquisa

Primeiramente, mostram-se as informações climáticas do arquivo TRY, as progressões para os períodos 2020, 2050 e 2080 e os dados medidos pelo IAG-USP. Depois, apresentam-se as temperaturas do ar externo, para cada cenário climático, acompanhadas das temperaturas do solo obtidas pelo pré-processador *Slab* e utilizadas nas simulações, de acordo com o sistema construtivo de paredes. Por fim, conforme o método de conforto adaptativo da ASHRAE, apresentam-se os resultados de desempenho específicos para o dormitório 1, bem como os resultados de desempenho ponderado na edificação objeto de estudo.

3.1 Informações climáticas

Na Figura 6 (página seguinte), ilustram-se as médias mensais da temperatura do ar externo, umidade relativa e radiação solar global em São Paulo. As curvas retratam os dados obtidos pelo arquivo TRY, pelas progressões do software *CCWorldWeatherGen* e pelas médias das medições da estação meteorológica IAG-USP durante os anos de 2011 a 2018 (IAG-USP, 2019).

Figura 6 – Valores em médias mensais para a temperatura do ar externo, umidade relativa e radiação solar global em São Paulo



Fonte: os autores, elaborado com dados de IAG-USP (2019)

Considerando-se as informações sobre a temperatura do ar externo, fica bastante evidente a elevação progressiva da temperatura nos cenários futuros. Em relação aos dados do arquivo TRY de São Paulo, o aumento da temperatura média anual do ar é estimado em 0,91 °C (4,98%) no período 2020, 2,24 °C (11,87%) no período 2050, e 4,23 °C (22,47%) no período 2080. Ademais, a temperatura mínima passará de 16,05 °C para 20,81 °C até 2100, enquanto a máxima passará de 22,47 °C para 25,99 °C. Analisando-se a temperatura média de 2011 a 2018, observa-se que a progressão para o alongamento 2020, período atual, já apresenta notável fidelidade com os dados medidos diariamente na estação meteorológica do IAG-USP. A menor diferença (0,07 °C) foi observada no período

de verão, mais precisamente em março, enquanto a maior diferença (1,39 °C) foi observada durante o inverno, em junho. Em comparação com os dados TRY, é possível afirmar que a temperatura do ar obtida na progressão apresenta mais fidelidade com os dados atuais.

Com relação à umidade relativa, nota-se um declínio constante conforme o passar dos anos. Até 2100 o valor máximo será de 83,25% em maio e o mínimo será próximo de 64,85% no mês de agosto. De acordo com os resultados, estima-se que a média anual passará de 82,17% (TRY) para 77,84% (2080) até 2100. Destaca-se, porém, que os dados atuais reais (2011-2018) apresentam média anual de 79,84% e, em vários meses do ano, já estão muito mais próximos da previsão para 2080.

A radiação solar global em São Paulo foi outro fator estudado. As médias anuais estimadas são de 195,94 W/m² (TRY), 212,04 W/m² (2020), 215,34 W/m² (2050) e 218,67 W/m² (2080), enquanto o valor medido de 2011 a 2018 é de 185,74 W/m². Segundo a estimativa, a radiação máxima passará de 271,93 W/m² (TRY) para 279,56 W/m² (2080) até 2100, enquanto a mínima passará de 120,17 W/m² (TRY) para 161,02 W/m² (2080). Comparando-se os dados medidos de 2011 a 2018 com os dados dos arquivos climáticos, nota-se uma considerável disparidade com o período 2020 (atual) e até mesmo com o TRY. Percebe-se que a radiação solar medida na estação está abaixo dos valores indicados nos arquivos climáticos, o que pode ser justificado pelo equipamento – actinógrafo – utilizado para medição no IAG-USP. Enquanto alguns piranômetros se enquadram como instrumentos de primeira (2% de incerteza) ou segunda (5% de incerteza) classe, os actinógrafos são tidos como instrumentos de terceira classe (15 a 20% de incerteza) com baixa precisão, de acordo com a Organização Mundial de Meteorologia (CRESEB, 2014; WMO, 2018). Brock e Nicolaidis (1984), Dallacort *et al.* (2004), Malm e Walther (1980) alegam que a precisão do actinógrafo pode gerar desvios de até 19% nas informações medidas. Isto posto, embora o Boletim de 2008 (IAG-USP, 2008) descreva que os dados medidos pelo actinógrafo da estação passam por um tratamento para se obter uma “estimativa” do valor que seria medido por um piranômetro, imprecisões nas medições horárias podem ocorrer.

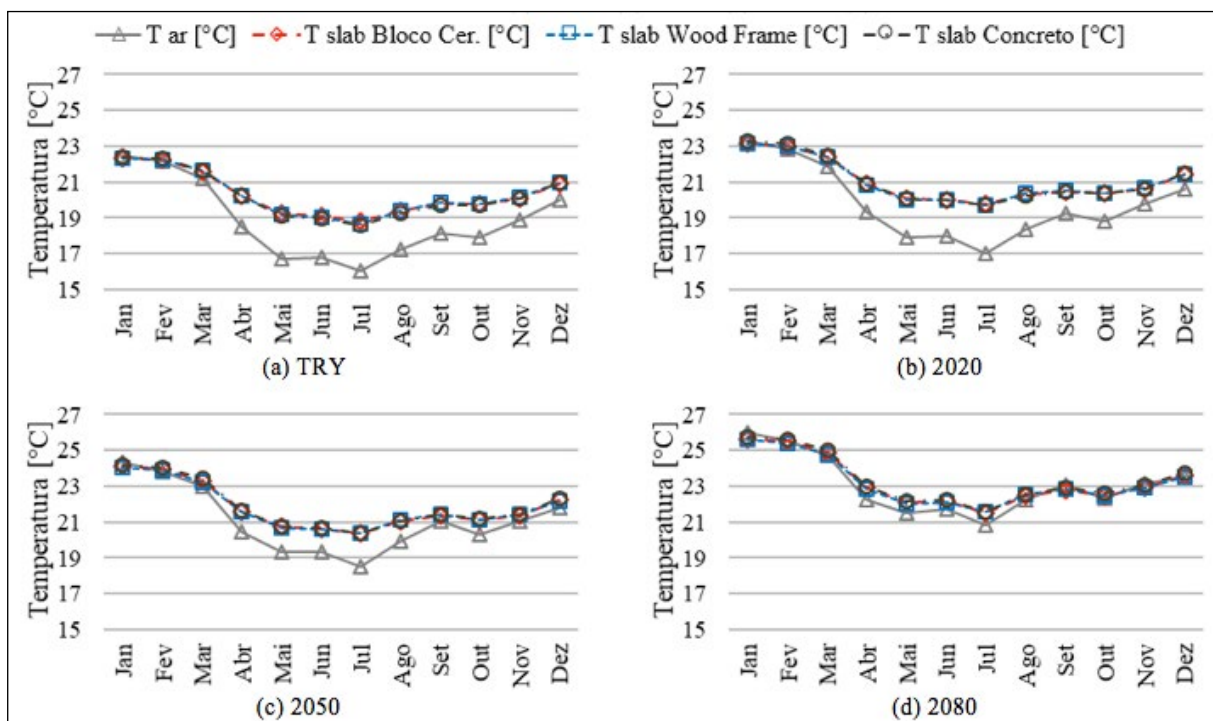
3.2 Temperatura do solo

Neste item relata-se a influência da variação da temperatura externa no comportamento da temperatura da interface solo e piso da edificação para cada um dos três sistemas construtivos de paredes. Na Figura 7 ilustram-se os gráficos com as médias mensais das temperaturas do ar externo e da interface solo e piso, conforme o sistema construtivo, para cada um dos cenários abordados nesta pesquisa.

Por meio dos dados obtidos pelo *Slab*, os gráficos da Figura 7 possibilitam um importante entendimento da temperatura da interface solo e piso da edificação. Mediante os diferentes cenários climáticos, nota-se que a temperatura do ar, dentre outras variáveis, tem influência direta no comportamento da temperatura do

solo da edificação, conforme apontado por Bortone, Nunes e Giglio (2019), Chvatal e Marques (2016), Nunes *et al.* (2019) e Santos e Mendes (2005). No cenário (a) TRY, onde se alcança temperatura mínima de 16,04 °C, o calor armazenado nos meses mais quentes faz com que a interface solo e piso se mantenha relativamente aquecida no inverno, o que, conseqüentemente, pode auxiliar para amenizar a perda de calor ambiental neste período. No entanto, diante de temperaturas mais altas, como no cenário (d) 2080, onde a mínima é 20,81 °C, o calor armazenado já não é tão relevante para a diferença na temperatura do solo. Assim, diante de condições mais quentes, a temperatura da interface solo e piso tende a se manter próxima à temperatura do ar externo durante o ano todo.

Figura 7 – Médias mensais das temperaturas do ar externo e do solo para os três sistemas construtivos em diferentes cenários: (a) TRY, (b) 2020, (c) 2050 e (d) 2080



3.3 Desempenho térmico do ambiente construído

A partir das temperaturas mensais do ar de cada período climático, obtiveram-se os limites de conforto e, a partir das simulações compreendendo todas as

horas do ano, analisou-se a quantidade de horas em que há ocupação e se a temperatura operativa está de acordo ou ultrapassa os limites. No item 3.3.1 apresenta-se as análises de conforto e indicadores GHA e GHR do dormitório 1, e no item 3.3.2 mostra-se as análises de conforto ponderado da edificação.

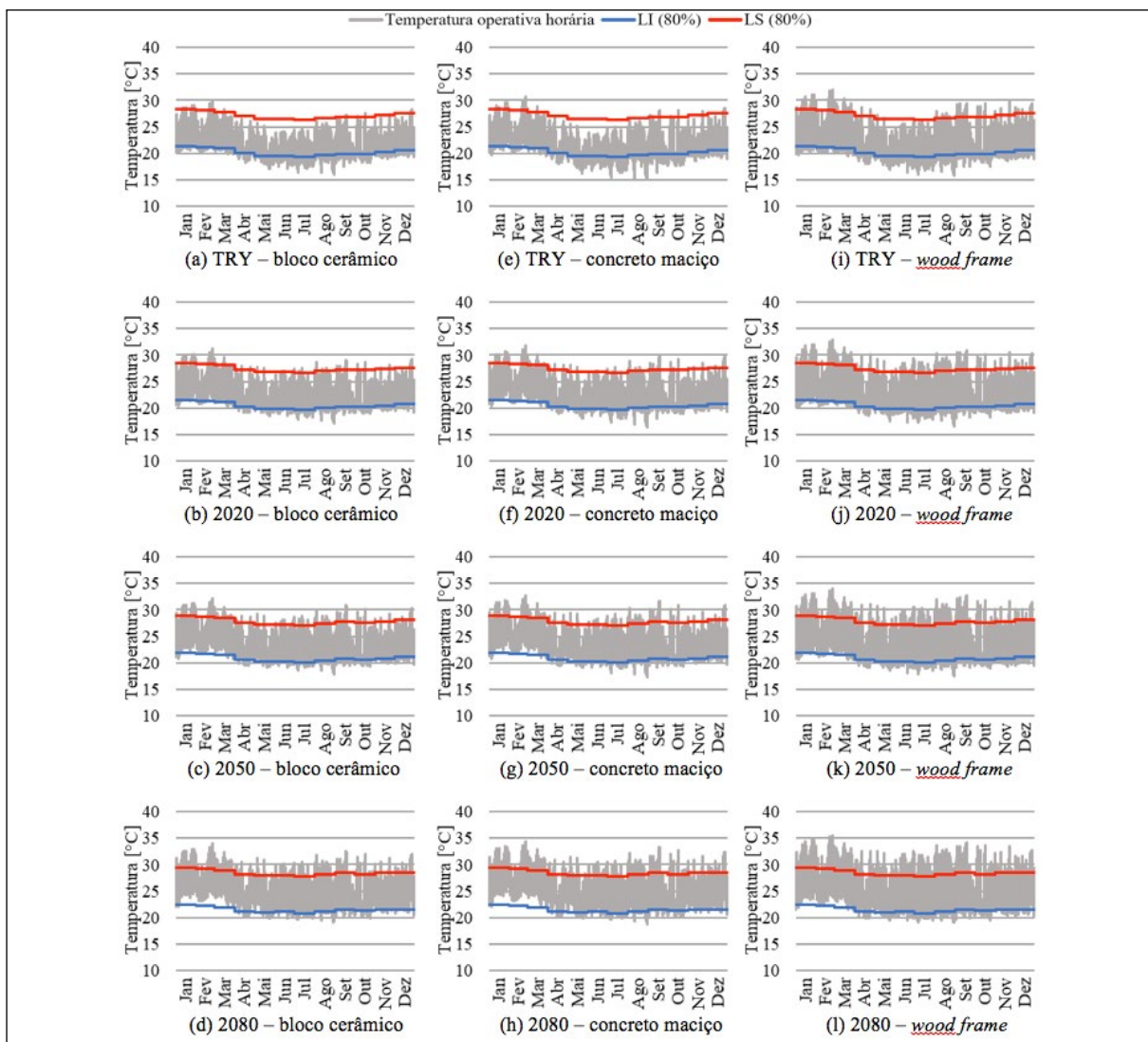
3.3.1 Desempenho do dormitório 1

Na Figura 8 ilustra-se o comportamento da temperatura operativa horária anual conforme as simulações do dormitório 1 para todos os casos deste estudo.

De modo geral, é possível observar que junto à progressão climática para períodos futuros ocorre aumento na temperatura operativa do ambiente para todos os sistemas construtivos. Considerando-se as simulações com o arquivo TRY, nota-se que a maior quantidade de horas em desconforto ocorreu por frio. Por outro lado, de acordo com as previsões para o período 2080, até o ano de 2100 a quantidade de horas em desconforto por frio tende a reduzir, enquanto a quantidade de horas em desconforto por calor no

ambiente construído tende a aumentar. Isto pode ser justificado pelas temperaturas externas mais elevadas e pela maior radiação solar, por exemplo, conforme observado nos gráficos da Figura 6. Além disso, por meio da Figura 8, pode-se observar que o sistema construtivo é, e será, cada vez mais importante para o conforto térmico do usuário, uma vez que os resultados mostraram comportamentos diferentes para cada tecnologia em cada período climático. De maneira geral, a edificação em blocos cerâmicos demonstra um comportamento melhor, com temperaturas relativamente mais constantes. Em contrapartida, a envoltória em concreto maciço e, principalmente, em *wood frame* acarreta picos de temperatura mais extremos, com maiores amplitudes térmica.

Figura 8 – Desempenho térmico anual do dormitório 1 em cada cenário climático para as paredes em: (a, b, c, d) bloco cerâmico; (e, f, g, h) concreto maciço; e (i, j, k, l) *wood frame*



Considerando o período de ocupação (Figura 3) da edificação em sistema convencional de alvenaria em blocos cerâmicos, o desconforto por frio com 80% de aceitabilidade diminui de 1.709 horas (39,47%) no TRY para 612 horas (14,13%) em 2080. Por outro lado, o desconforto por calor com 80% de aceitabilidade aumenta de 2 horas (0,05%) no TRY para 113 horas (2,61%) em 2080. Pelas análises a partir das simulações pelo TRY, a temperatura operativa mínima é 15,95 °C e a máxima é 30,01 °C. No cenário 2080, com previsão até o ano 2100, essas temperaturas são de 19,21 °C e 33,83 °C, respectivamente.

Na edificação em concreto maciço, o desconforto por frio com 80% de aceitabilidade diminui de 1.671 horas (38,59%) no TRY para 495 horas (11,43%) em 2080. Por outro lado, o desconforto por calor com 80% de aceitabilidade aumenta de 5 horas (0,12%) no TRY para 138 horas (3,19%) em 2080. Observa-se que nas simulações pelo TRY, os números de desconforto são relativamente equivalentes à resposta do bloco cerâmico, porém em cenários futuros o desempenho difere. Os picos de temperatura operativa são de 15,05 °C e 30,49 °C pelo TRY e de 18,83 °C e 34,45 °C no período 2080. O fechamento em concreto maciço resulta em alta transmitância térmica nas paredes, o que justifica as temperaturas mais extremas, com conseqüente desconforto, em comparação ao observado para o bloco cerâmico.

Para o sistema leve em *wood frame*, a sensação de desconforto por frio com 80% de aceitabilidade corresponde a 2.525 horas (58,31%) no TRY e 1.058 horas (24,43%) em 2080. Por outro lado, o desconforto por calor com 80% de aceitabilidade é de 4 horas (0,09%) no TRY e 73 horas (1,69%) em 2080. As temperaturas operativas extremas são de 15,57 °C e 31,81 °C pelo TRY e de 19,06 °C e 35,58 °C no período 2080. Observa-se, portanto, em comparação às envoltórias em blocos cerâmicos e concreto maciço em condição de frio, o desempenho inferior da composição em *wood frame* estudada. Essa tipologia construtiva, sem isolante térmico, embora possua transmitância térmica inferior às outras duas, apresenta baixa capacidade térmica. Isso faz com que a envoltória não armazene calor suficiente para equilibrar a alta amplitude térmica característica do clima de São Paulo. Assim, a grande variação de temperatura externa ao longo do dia é refletida no ambiente interno com significativa intensidade.

Até agora as análises trataram do número de horas em desconforto e não a sua intensidade em graus-hora. A quantidade de desconforto retratada em intensidade, e que pode ser associada à necessidade de condicionamento mecânico, é apresentada na Tabela 3, que demonstra os indicadores GHA e GHR para o período de ocupação do dormitório 1 em cada sistema construtivo e período climático.

Tabela 3 – GHA e GHR (em °Ch) do dormitório 1, para conforto adaptativo com 80% de aceitabilidade

Sistema construtivo	TRY		2020		2050		2080	
	GHA 80%	GHR 80%	GHA 80%	GHR 80%	GHA 80%	GHR 80%	GHA 80%	GHR 80%
Bloco cerâmico	929,62	0,71	560,02	7,86	490,72	30,26	293,25	110,04
Concreto maciço	1.199,67	1,43	599,23	12,60	472,07	42,17	252,37	145,69
Wood frame	1.802,73	1,34	1.172,08	7,09	1.022,36	24,64	637,49	79,27

Os números mostram que até 2100, para 80% de aceitabilidade, o indicador GHA diminuirá 636,37 °Ch para o bloco cerâmico, 947,30 °Ch para o concreto maciço e 1.165,24 °Ch para o *wood frame*. Em contrapartida, o indicador GHR aumentará 109,33 °Ch para o bloco cerâmico, 144,26 °Ch para o concreto maciço e 77,93 °Ch para o *wood frame*.

Percebe-se que, para os três sistemas construtivos, a intensidade de GHA diminuirá nas condições climáticas futuras, enquanto o indicador GHR se tornará cada vez mais influente no desempenho do ambiente construído. Em outras palavras, pode-se

dizer que a necessidade energética para resfriamento aumentará e para aquecimento diminuirá, conforme apontado por Invidiata e Ghisi (2016) e Triana, Lamberts e Sassi (2016). Nesse contexto, merece destaque o desempenho inferior (maior GHR) da vedação em concreto maciço. Este sistema construtivo, além da alta transmitância térmica, possui alta capacidade térmica e, assim, acumula maior quantidade de calor a ser liberado durante a noite, acarretando maior indicador GHR para o período ocupado do ambiente analisado. Para a condição de aquecimento, destaca-se o desempenho inferior (maior GHA) da

composição *wood frame* estudada. O sistema leve pesquisado possui baixa capacidade térmica e, assim sendo, corrobora os trabalhos de Bortone, Nunes e Giglio (2019) e Di Perna *et al.* (2011), demonstrando a necessidade de estratégias construtivas que proporcionem parâmetros mais adequados e que resultem em melhores condições térmicas no decorrer da vida útil do edifício.

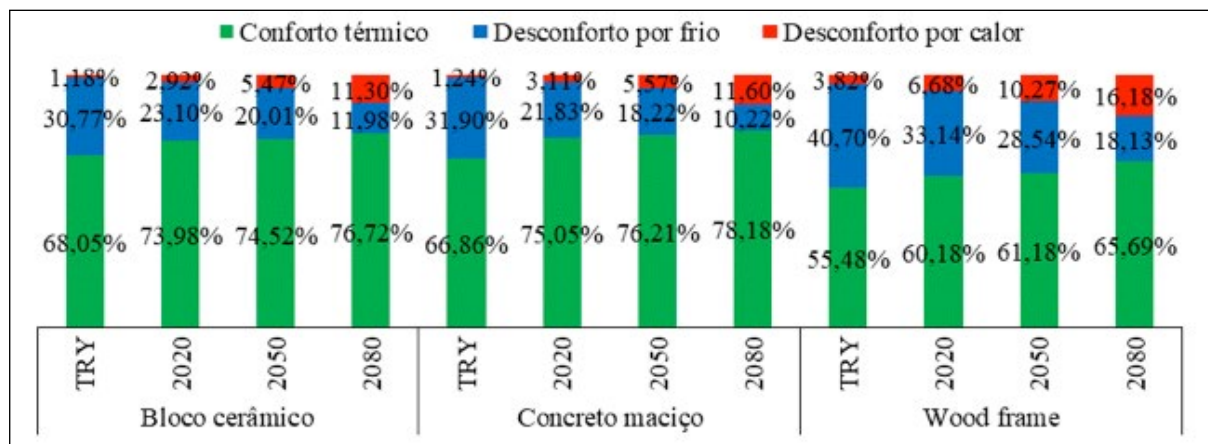
3.3.2 Desempenho ponderado da edificação

Na Figura 9 ilustram-se as porcentagens das horas anuais de conforto e desconforto ponderado na edificação para 80% de aceitabilidade, conforme as horas de ocupação, o sistema construtivo e o período climático. De modo geral, segundo apresentado no item 3.3.1, percebe-se que, devido ao aumento da temperatura em cenários futuros, ocorre redução das

horas de desconforto por frio e aumento das horas de desconforto por calor.

O desempenho ponderado da moradia, considerando a influência de todos os ambientes de permanência prolongada, mostra que, dentre as três configurações para vedação vertical propostas, a alvenaria convencional de blocos cerâmicos oferece maior número de horas de conforto térmico aos usuários quando a edificação é simulada para o período TRY. Em contrapartida, nos períodos 2020, 2050 e 2080 as paredes em concreto maciço proporcionam porcentual de horas de conforto um pouco maior. O resultado pode ser justificado pela elevada capacidade térmica da parede em concreto estudada, o que favoreceu o maior desempenho do sistema no período de inverno, em um clima com grande amplitude térmica.

Figura 9 – Percentuais de horas anuais de conforto e desconforto na edificação considerando horas ocupadas e temperatura operativa média ponderada por ambientes, para 80% de aceitabilidade



Analisando-se o desconforto por frio e por calor, nota-se que a moradia em *wood frame* acarreta maior quantidade de horas de desconforto em todos os períodos simulados. Conforme relatado anteriormente no item 3.3.1, o *wood frame* considerado nesta pesquisa apresenta propriedades termofísicas que não favorecem o comportamento térmico da edificação no clima de São Paulo. Como se pôde observar na Figura 8, a baixa capacidade térmica do sistema faz com que ocorra grande amplitude na temperatura operativa ao longo do ano todo, o que compromete a satisfação térmica do usuário. Assim sendo, melhorias

nos parâmetros termofísicos do sistema construtivo leve e estratégias com vistas à melhoria térmica do ambiente construído são requeridas para aprimorar o desempenho da tecnologia inovadora no Brasil.

4 Conclusões

Este trabalho demonstrou os impactos de alterações climáticas no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares construídas em diferentes sistemas construtivos na cidade de São Paulo, zona bioclimática 3 da NBR 15220-3 (ABNT, 2005a).

A partir das progressões climáticas, puderam-se entender as alterações nas condições meteorológicas tais como a temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar global. As estimativas mostraram, por exemplo, que até 2100 o aumento da temperatura do ar externo em São Paulo, em média anual, será superior a 4 °C em relação à temperatura média do século passado. Nesse sentido, outra constatação importante remete à confiança nas estimativas de mudanças climáticas geradas pela ferramenta *CCWorldWeatherGen*. Sobretudo, na comparação entre as temperaturas do ar estimadas para o período 2020 (corresponde ao período atual) e as temperaturas do ar medidas de 2011 a 2018, observou-se elevado grau de confiança. Pode-se concluir que o *CCWorldWeatherGen* caracteriza uma técnica razoavelmente eficiente no sentido de se obter arquivos climáticos que consideram previsões de mudanças climáticas.

Com relação ao desempenho térmico dos três sistemas construtivos nos quatro cenários climáticos considerados, os resultados mostraram que em períodos futuros o aquecimento global fará com que o número de horas anuais em desconforto por frio diminua, enquanto o número de horas anuais em desconforto por calor aumente. Dentre os sistemas construtivos, o *wood frame* considerado mostrou desempenho inferior. A tecnologia dispõe de capacidade térmica inferior às vedações em blocos cerâmicos ou concreto maciço, o que compromete o desempenho da edificação em climas mais amenos como o de São Paulo. Contudo, o uso de estratégias construtivas adequadas podem melhorar o comportamento térmico de habitações em sistemas leves, como o *wood frame*, ao longo de toda sua vida útil, fazendo com que a aplicação da tecnologia seja mais bem difundida e benéficos — como a redução da emissão de CO₂, do tempo de obra e do desperdício de materiais — sejam alcançados.

Finalmente, os resultados evidenciaram a importância de se considerar períodos climáticos futuros durante o desenvolvimento de projetos de eficiência energética em edificações. Deste modo é possível prever comportamentos, estratégias e soluções que contemplem toda a vida útil do edifício.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), pela disponibilização de informações climáticas obtidas na estação meteorológica.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. A.; DUARTE, D. H. S.; GONÇALVES, F. L. T. Resiliência das edificações às mudanças climáticas na região metropolitana de São Paulo. Parte 1: Revisão crítica e contextualização. *In: ENCONTRO NACIONAL, 13.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9.*, 2015, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: Pontifícia Universidade Católica, 2015. p. 1-10.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações: parte 2: método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BELCHER, S. E; HACKER, J. N.; POWELL, D. S. Constructing design weather data for future climates. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 26, p. 49-61, 2005.

BORTONE, H.; ZARA, R.; GIGLIO, T.; YOKOTA, A. Thermo-energetic performance of wood frame panels in Brazilian low-income housing. *In: ZEMCH INTERNATIONAL CONFERENCE, 2018*, Melbourne, **Proceedings** [...]. Melbourne: The University of Melbourne, 2018. p. 161-178.

BORTONE, H.; NUNES, G. H.; GIGLIO, T. G. F. Desempenho termoenergético de edificações multifamiliares em *wood frame*. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11.*, 2019, João Pessoa, **Anais** [...]. João Pessoa: Instituto de Educação Superior da Paraíba, 2019. p. 1815-1824.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Habitação. **Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – TecVerde (tipo light wood framing)**, DATec N° 020-C. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2017.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012.** Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2012.

BROCK, F. V.; NICOLAIDIS, C. E. **Instructor's Handbook on Meteorological Instrumentation.** Atmospheric Technology Division, National Center for Atmospheric Research. Boulder, Colorado, 1984.

CASAGRANDE, B. G. **Cenários climáticos futuros:** diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO — CRESESEB. **Solarimetria e Instrumentos de Medição.** Rio de Janeiro: CRESESEB, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=311. Acesso em: 24 ago. 2019.

CHVATAL, K. M. S.; MARQUES, T. H. T. Avaliação de diferentes alternativas de modelagem de habitações de interesse social no programa de simulação de desempenho térmico EnergyPlus. **Revista Tecnológica**, v. 25, n. 1, p. 67-79, 2016.

COSTA, V. A. C. da; CHVATAL, K. M. S. **Manual do Pré-Processador Slab.** Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU/USP-SC). São Carlos, 2017.

DALLACORT, R.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; FREITAS, S. L.; SILVA, F. S. Análises do comportamento de um actinógrafo bimetálico (R. Fuess-Berlin-Steglitz) em diferentes tipos de cobertura do céu. **Acta Scientiarum**, v. 26, n. 4, p. 413-419, 2004.

DASCALAKI, E. G.; DROUTSA, K. G.; BALARAS, C. A.; KONTYOIANNIDIS, S. Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p. 3400-3409, 2011.

DI PERNA, C.; STAZI, F.; CASALENA, A. U.; D'ORAZIO, M. Influence of the internal inertia of the building envelope on summertime comfort in buildings with high internal heat loads. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 200-206, 2011.

FARAH, S.; WHALEY, D.; SAMAN, W.; BOLAND, J. Integrating climate change into meteorological weather data for building energy simulation. **Energy and Buildings**, v. 183, p. 749-760, 2019.

FERREIRA, C.; SOUZA, H. D.; ASSIS, E. D. Estudo do clima brasileiro: reflexões e recomendações sobre a adequação climática de habitações. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2014. p. 429-438.

GUARDA, E. L. A.; DOMINGOS, R. M. A.; DURANTE, L. C.; LEÃO, M.; SANCHES, J. C. M.; JORGE, S. H. M.; CALLEJAS, I. J. A. Impacts of climate change on a Zero Energy Building in the Brazilian Savannah. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE FOR SUSTAINABLE DESIGN OF THE BUILT ENVIRONMENT, 2., 2018, London. **Proceedings [...]**. London: SDBE, 2018. p. 482-493.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA — IBGE. **População Brasileira - 1º de julho de 2018.** Brasília: IBGE, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/informacoes-por-cidade-e-estado>. Acesso em: 13 maio 2019.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO — IAG-USP. **Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG-USP.** Seção Técnica do Serviço Meteorológico, v. 12. São Paulo: IAG-USP, 2008.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO — IAG-USP. **Dados meteorológicos medidos de 01/01/2011 a 31/12/2018:** temperatura do ar externo; umidade relativa; radiação solar global. São Paulo: IAG-USP, 2019. Disponível em: http://www.estacao.iag.usp.br/sol_dados.php. Acesso em: 12 ago. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE — IPCC. **Climate Change 2014:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2014. Disponível em: <http://ar5-syr.ipcc.ch/>. Acesso em: 06 jul. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE — IPCC. **Data Distribution Centre**.

Geneva: IPCC, 2011. Disponível em: http://sedac.ipccdata.org/ddc/ar5_scenario_process/ipcc_scenarios.html. Acesso em: 06 jul. 2019.

INVIDIATA, A.; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 20-32, 2016.

JENTSCH, M. F.; BAHAJ, A. S.; JAMES, P. A. B. **Manual CCWorldWeatherGen**. Climate change world weather file generator. Version. 1.9. Southampton: University of Southampton, 2017.

JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B.; BOURIKAS, L.; BAHAJ, A. S. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. **Renewable Energy**, v. 55, p. 514-524, 2013.

KIRIMTAT, A.; KOYUNBABA, B. K.; CHATZIKONSTANTINOU, I.; SARIYILDIZ, S. Review of simulation modeling for shading devices in buildings, **Renewable Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 23-49, 2016.

MALM, W. C.; WALTHER, E. G. **A Review of Instrument-Measuring Visibility-Related Variable**. Environmental Protection Agency. Las Vegas, 1980.

MCKINSEY. **Pathways to a Low-Carbon Economy**. 2009. Disponível em: http://www.mckinsey.com/client_service/sustainability/latest_thinking/pathways_to_a_low_carbon_economy. Acesso em: 07 jul. 2019.

NAKICENOVIC, N.; SWART, R. **Special report on emissions scenarios**. 2000. A special report of working group III of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, 2000.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION — NASA. **2018 fourth warmest year in continued warming trend, according to NASA, NOAA**. United States of America: NASA, 2019. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/news/2841/2018-fourth-warmest-year-in-continued-warming-trend-according-to-nasa-noaa/>. Acesso em: 04 jul. 2019.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION — NASA. **Long-Term Warming Trend Continued in 2017**: NASA, NOAA. United States of America: NASA, 2018. Disponível em: <https://www.nasa.gov/press-release/long-term-warming-trend-continued-in-2017-nasa-noaa>. Acesso em: 14 jul. 2019.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION — NOAA. **NOAA: 2017 war 3rd warmest year on record for the globe**. United States of America: NOAA, 2018. Disponível em: <https://www.noaa.gov/news/noaa-2017-was-3rd-warmest-year-on-record-for-globe>. Acesso em: 14 jul. 2019.

NUNES, G. H.; SANCHES, G. V.; ZARA, R. B.; GIGLIO, T. G. F. Análise de métodos de cálculo para determinação da temperatura do solo em simulações computacionais. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2019, João Pessoa, **Anais** [...]. João Pessoa: Instituto de Educação Superior da Paraíba, 2019. p. 2169-2178.

OLONSCHECK, M.; HOLSTEN, A.; KROPP, J. P. Heating and cooling energy demand and related emissions of the German residential building stock under climate change, **Energy Policy**, v. 39, p. 4795-4806, 2011.

ROBERT, A.; KUMMERT, M. Designing net-zero energy buildings for the future climate, not for the past. **Building and Environment**, v. 55, p. 150-158, 2012.

SANTOS, G. H.; MENDES, N. Moisture effects of unsaturated porous soils on indoor air enthalpy. *In*: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 9., 2015, Canadá. **Proceedings** [...]. IBPSA, 2005. p. 1099-1106.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Desempenho de habitações de interesse social frente às mudanças climáticas. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: ANTAC, 2016. p. 1806-1820.

WANG, L.; LIU, X.; BROW, H. Prediction of the impacts of climate change on energy consumption for a medium-size office building with two climate models. **Energy and Buildings**, v. 157, p. 218-226, 2017.

WEBER, F. S.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; GÜTHS, S.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no EnergyPlus**. Florianópolis, 2017.

WILDE, P.; COLEY, D. The implications of a changing climate for buildings. **Building and Environment**, v.55, p. 1-7, 2012.

WILLIAMS, D.; ELGHALI, L.; WHEELER, R.; FRANCE, C. Climate change influence on building

life cycle greenhouse gas emissions: Case study of a UK mixed-use development. **Energy and Buildings**, v. 48, p. 112-126, 2012.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION — WMO. **Preliminary 2018 Edition of CIMO Guide (WMO-No.8)**. Commission for Instruments and Methods of Observation. Geneva: WMO, 2018. Disponível em: https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/Prelim_2018_ed/Preliminary-2018-edition.html. Acesso em: 25 ago. 2019.

ZARA, R. B.; SANTOS, V. C.; GIGLIO, T. G. F. Análise do nível de eficiência energética de uma habitação em *wood frame* pelos métodos prescritivo e simulação do RTQ-R. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ANTAC, 2018. p. 457-466.