OS RECENTES MICROAPARTAMENTOS PAULISTANOS: ESTUDOS DE CASO DO DESEMPENHO TÉRMICO E LUMINOSO

Carolina C. Leme (1); Leonardo M. Monteiro (2) ; Joana C. S. Gonçalves (3)
(1) Doutoranda, arquiteta, carolina.leme@usp.br, Departamento de Tecnologia da Arquitetura
(2) Doutor, Professor do Departamento de Tecnologia da Arquitetura, leo4mm@usp.br,
(3) Doutora, Professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura, jocarch29@gmail.com
Departamento de Tecnologia de Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética,
Rua do Lago 876, São Paulo – SP, 05508-080

RESUMO
A participação dos imóveis compactos na cidade de São Paulo vem crescendo significativamente desde 2013, impulsionada pelas transformações econômicas, sociais, urbanas e demográficas das últimas décadas. Em 2021, imóveis com metragem inferior à 45m² representaram 76% do total de lançamentos residenciais na capital paulista, sendo 58% entre 45m² e 30m². A elevada representatividade dos microapartamentos na atual conjuntura imobiliária paulistana acentua a importância de estudos voltados a esses novos modelos de habitação. Este artigo é parte integrante da pesquisa de doutorado "Definições de Estratégias de Conforto Termo-Luminoso para Aplicação na Concepção do Projeto de Microapartamentos: criação de matriz de avaliação das estratégias de conforto" em desenvolvimento no programa de pós-graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP). O objetivo do artigo é verificar o desempenho térmico e luminoso da envoltória dos microapartamentos de planta livre produzidos entre 2011 e 2017 na cidade de São Paulo. O método é experimental a partir de levantamentos empíricos de variáveis térmicas e luminosas de cinco estudos de casos. Os resultados das medições foram analisados comparativamente a partir de avaliações projetuais e ambientais, permitindo averiguar problemáticas em relação à envoltória dos estudos de casos que impactam no conforto térmico e luminoso do usuário.

Palavras-chave: microapartamentos, habitações compactas, conforto térmico, iluminação natural.

ABSTRACT
The compact apartments in the city of São Paulo have been growing significantly since 2013, driven by the economic, social, urban and demographic transformations of the recent decades. In 2021, the micro-apartments with less than 45m² accounted for 76% of the total residential launches in the city of São Paulo, with 58% between 45m² and 30m². The high representation of micro-apartments in the current real estate situation in São Paulo emphasizes the importance of studies focused on these new housing models. The objective of the article is to verify the thermal and luminous performance of open-plan micro-apartments produced between 2011 and 2017 in the city of São Paulo. The method is experimental based on empirical surveys of thermal and light variables from five case studies. The measurement results were comparatively analyzed from design and environmental assessments, allowing to investigate issues related to the thermal and luminous comfort of the user of the case studies. The results indicated the low environmental quality of the evaluated micro-apartments, with at least 45% of the time in cold discomfort during the winter and only 60% of IDU in the year (useful daylight illuminances: 300lux –3000lux).

Keywords: minimum dwelling, residential, thermal performance, daylight; adaptive comfort.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o aumento do valor da terra e as mudanças estruturais do núcleo familiar estão influenciando os espaços residenciais e fomentado a produção de habitações mínimas nos grandes centros urbanos. A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (Pnad Contínua) de 2022, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), atestou que em dez anos houve um aumento de 43,7% das residências unipessoais, passando de 7,5 milhões em 2020, para 10,8 milhões em 2021. Em resposta a esta crescente demanda de moradia conceitos inovadores para um morar menor tem aparecido em múltiplas cidades (COHEN, 2021) como alternativas mais viáveis em regiões centrais.

A cidade de São Paulo também presenciou um crescimento significativo dos imóveis compactos desde 2013. Em 2021, imóveis com metragem inferior à 45m² representaram 76% do total de lançamentos residenciais, sendo 58% entre 45m² e 30m² (SECOVI, 2021). Segundo anuário SECOVI, esta tipologia está concentrada nos eixos de infraestrutura onde há incentivos legais para o adensamento populacional, especialmente nas zonas Sul e Oeste. O principal instrumento de incentivo foi o decreto de 2016 relacionado à Lei de Zoneamento que permite que os microapartamentos sejam classificados como "não residenciais", estimulando a criação de edifícios de uso misto por meio do incremento do poder construtivo ao redor dos eixos de infraestrutura estabelecidos, como estações de metrô e grandes avenidas.

Os microapartamentos contemporâneos minimizam o espaço por meio de plantas otimizadas para torná-los os mais eficientes possíveis para seu tamanho, proporcionando uma vida acessível em áreas urbanas (GABBE, 2015). Segundo Leme e Monteiro, as soluções ofertadas atualmente são majoritariamente de planta livre, em que um único espaço reduzido deverá responder aos diferentes níveis de conforto dependendo da atividade a ser desempenhada. Ademais, as habitações compactas contribuem significativamente ao adensamento urbano, ao aumento da diversidade de residências e da eficiência energética, aliada à redução de emissão de carbono por minimizar a dependência de veículos e estimular o caminhar (COHEN, 2021).

Esse aumento da densidade urbana, principalmente no centro da cidade, tem influenciado as características dos ambientes internos que cada vez mais tendem a depender de sistemas artificiais para operar satisfatoriamente (LAMBERTS, 2015). Assim, segundo o autor, é imperativo que arquitetos e engenheiros ao pensar em maneiras conjuntas de melhorar o conforto ambiental do usuário e o desempenho dos edifícios considerem que as pessoas passam entre 80% a 90% de seus dias em ambientes fechados. Logo, a elevada representatividade dos microapartamentos na atual conjuntura imobiliária paulistana acentua a importância de estudos voltados a esses novos modelos de habitação.

2. OBJETIVO

O objetivo do artigo é verificar o desempenho térmico e luminoso dos microapartamentos de planta livre produzidos entre 2011 e 2017 na cidade de São Paulo.

3. MÉTODO

Investigou-se o tema por meio de estudos de casos a partir de método indutivos experimentais, com o objetivo de averiguar o desempenho termo-luminoso da envoltória dos recentes microapartamentos da cidade de São Paulo. A metodologia aplicada foi conduzida em 4 etapas: etapa 1, delineamento da amostra dos estudos de casos; etapa 2, levantamento de campo; etapa 3, tratamento de dados; etapa 4, análise e discussão dos resultados.

3.1. Etapa 1: Delineamento da amostra dos estudos de casos

Elencou-se cinco soluções arquitetônicas representativas de microapartamentos como estudos de casos com base no levantamento de Leme e Monteiro (2018) acerca da recente produção de microapartamentos da cidade de São Paulo entre 2011 e 2015. Segundo levantamento dos autores, a atual oferta de apartamentos compactos é caracterizada por habitações destinada à classe média e alta, com área entre 20 e 45m², planta livre e varanda, concentrada ao longo dos eixos de infraestrutura da capital paulistana. As cinco unidades estudadas possuem aproximadamente 45m² de área total, planta livre, pé-direito de cerca 2.65m, varanda e estão distribuídas em três edifícios, sendo dois na zona sul e um na zona oeste da cidade de São Paulo. O edifício 1 contém a unidade (a), localizada na fachada sudeste, o edifício 2, a unidade (b), no décimo sexto andar da fachada sul e, por último, o edifício 3, no qual todas as três unidades, (c), (d) e (e), se encontram na fachada sudoeste.

Cada unidade é um exemplar das tipologias de microapartamento mais comumente ofertadas na cidade, sendo: (a) estúdio com fachada ventilada e brises na varanda; (b) estúdio com envidraçamento de varanda; (c) estúdio com varanda estendida descoberta; (d) duplex - unidade com dois pavimentos; (e) loft – unidade com pé-direito duplo (5.64m). As soluções construtivas dos estudos de casos são bastante semelhantes, seguindo o

padrão construtivo de mercado: laje de concreto armado, caixilharia de alumínio e vedação em bloco cerâmico. Somente a envoltória da unidade (a) que apresenta solução de melhor desempenho térmico, com fachada ventilada por meio de sombreamento de placas cerâmicas e camada de ar, além de brises na varanda. Quanto às aberturas, com exceção do duplex e do loft, os demais estudos de casos possuem apenas uma abertura caracterizada por portas de correr em caixilho de alumínio e vidro float incolor, que são o acesso às varandas e não possuem elementos de sombreamento ou ventilação, como venezianas.

Por fim, buscou-se manter as mesmas unidades para todas as etapas de medições (verão e inverno), no entanto, a unidade (a) foi medida em diferentes pavimentos entre verão e inverno, mas permanecendo a mesma fachada para ambos. No inverno os levantamentos das variáveis ocorreram na unidade da extremidade no 5º pavimento. No verão, conduziu-se a pesquisa na unidade do meio do 2º pavimento. A figura 01 ilustra o quadro resume da caracterização das unidades levantadas, as áreas tabuladas na figura são referentes apenas a parte interna, não contabilizando as varandas.

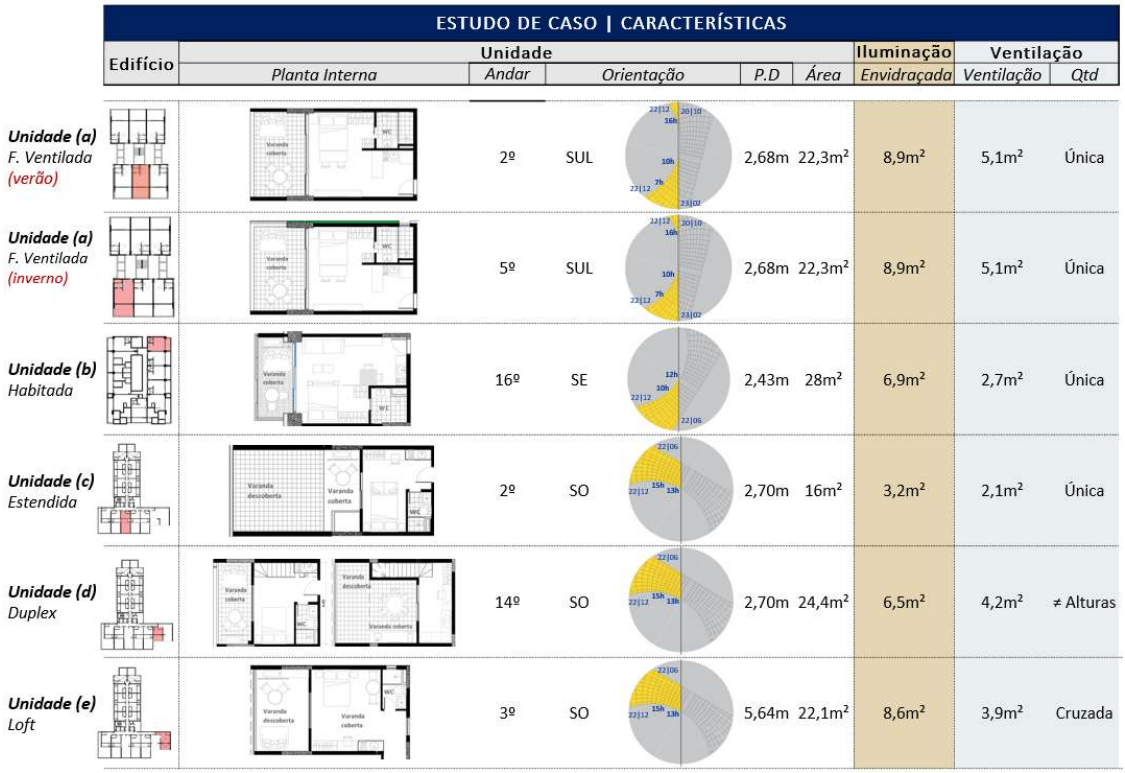


Figura 1 – Caso resumo das Características dos estudos de casos (autoral).

3.2. Etapa 2: Levantamento de campo

Adotou-se a metodologia descritiva experimental para a elaboração dos levantamentos de campo. As medições foram realizadas de acordo com as orientações descritas na norma ISO 7730 (2001), para variáveis térmicas (temperatura de ar; temperatura de globo negro; velocidade de ar e umidade relativa) e as orientações da norma de Iluminação Natural ABNT 15215-2003 parte 4 - Método de medição para as variáveis luminosas (iluminância).

3.2.1. Descrição dos procedimentos

Os levantamentos de campos foram conduzidos em três etapas: 1. Teste, com o intuito de validação e aprimoramento dos procedimentos para a medição; 2. Inverno; 3. Verão. Em cada unidade de estudo de caso foi disposto tripé composto por um globo negro, um sensor de fio quente e um datalogger (HOBOware) para coleta de dados primários de variáveis térmicas (temperatura do ar, velocidade do ar, umidade relativa e temperatura de globo) e luminosas (iluminância). Os sensores foram locados 1.10m de altura no centro das unidades, orientados para as aberturas e com registros de dados a cada 15min.

Os levantamentos das variáveis foram realizados em etapas com duração de 20 dias cada, em períodos típicos de inverno e verão de acordo com as condições climáticas previstas pelo INMET, intercalando momentos com a esquadria aberta e fechada. A variação do estado da esquadria permitiu compreensão do comportamento das edificações em relação a entrada de ar, coletando dados em situações com e sem ventilação natural. Na tabela 01, apresenta-se a caracterização dos períodos de medições. Quanto a etapa de teste, esta ocorreu durante 10 dias, apenas na unidade (c), no mês de julho.

Tabela 01 | Caracterização do período de medições

Unidade	*Duração medição*	*Período medição*	*Temperatura período**		
			Média**	Máxima	Mínima
Etapa de teste (2017)	10 dias	02 – 12 / julho	23,8°C	32,5°C	19,3°C
Etapa de inverno (2017)	22 dias	08 – 31 / agosto	17°C	30°C	11°C
Etapa de verão (2018)	22 dias	05 – 26 / março	23,8°C	32,5°C	19,3°C

* Temperatura de ar externa, dados referentes à estação do INMET, Mirante de Santana em São Paulo.
** Média da temperatura de ar externa calculada referente ao período de medição.

3.3. Etapa 3: Tratamento de dados

Por tratar-se de espaços residenciais, optou-se pelo modelo adaptativo como índice de conforto térmico, visto que este considera ambientes naturalmente ventilados e o usuário como agente ativo na formatação do conforto. Para o tratamento dos dados primários adotou-se parâmetros e critérios de avaliação para validação dos resultados, sendo estes:

(1) Dados climáticos externos: adotou-se como fonte de dados climáticos do ambiente externo a estação automática do mirante de Santana em São Paulo –SP.

(2) Discrepâncias nos dados coletados: Com o cuidado de imprimir confiabilidade à pesquisa, foram estabelecidos alguns procedimentos quanto às discrepâncias encontradas. Os dados foram coletados a cada 15 minutos, quando a discrepância de valores entre os intervalos era superior a 2°C, substituía-se aqueles pela média dos valores adjacentes. Nas raras situações em que houve discrepâncias acima de quatro intervalos de tempo consecutivos, tais valores eram desconsiderados para os cálculos das variáveis secundárias e dos índices de conforto.

(3) Intervalo de dados utilizados para avaliações: Como os dados primários medidos foram registrados a cada 15 minutos, e os dados da estação automática a cada hora, foi estipulada a média simples dos intervalos que compunham cada hora dos registros medidos. Tal média foi utilizada para cálculo das variáveis secundárias e dos índices adotados.

(4) Variáveis calculadas: Além das variáreis proveniente das medições e da estação automática, também foi necessário o uso de variáveis calculadas para composição das análises, sendo estas:

- Temperatura média radiante é calculada a partir da temperatura de ar, temperatura de globo e velocidade do ar e segundo Nicol, Humphreys e Roaf (2012), expressa pela equação 1

$$Trm = [(Tg+273)^4 + (1{,}2 * 10^8 * d - 0{,}4) Var^{0{,}6} (Tg-Tar)]^{0{,}25} - 273 \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
Trm = Temperatura radiante, em °C; Tg = Temperatura de globo, em °C;
Tar = Temperatura de ar, em °C; Var = Velocidade do ar, em m/s;
d = Diâmetro do globo, em m;

- Temperatura operativa (To), índice que combina a temperatura de ar e a temperatura radiante média em um valor único, expressando o efeito casado delas (Nicol, Humphreys e Roaf; 2012). A avaliação do conforto na abordagem adaptativa será expressa em função da temperatura operativa estabelecida pela ASHRAE 55 (2013), considerando taxa metabólica de 1 met. Como em alguns momentos houve variação da velocidade do ar superior à 0.1 m/s, optou-se por utilizar o cálculo do CIBSE (2006) para temperatura operativa que considera tal variação na expressão da To, equação 2.

$$To = [Ta \times \sqrt{(10\ Var)} + Trm] / [1 + \sqrt{(10\ Var)}] \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
Trm = Temperatura radiante, em °C ; Tar = Temperatura de ar, em °C;
Var = Velocidade do ar, em m/s; To = Temperatura operativa °C;

- Iluminância externa (E), os dados obtidos junto ao INMET, em relação à quantidade de luz disponível, referem-se à radiação solar sendo necessário transformá-los em iluminância. Conforme Alucci (2001), pesquisas do IPT (relatório 13.257 – 1980) indicam a seguinte correlação entre a radiação solar e o nível de iluminância, equação 3:

$$E\ (lux) = (94 \times R)\ W/m^2 \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:
R = radiação solar incidente, em W/m²; E = Iluminância, em lux

Adotou-se o modelo adaptativo como índice de conforto térmico e o UDI – índice de iluminâncias úteis da luz natural para conforto luminoso.

- Modelo adaptativo considera ambientes naturalmente ventilados, nos quais as condições térmicas dos espaços são reguladas principalmente pelos ocupantes (ASHRAE 55, 2013). Apresentará faixas de aceitabilidade (80% e 90%) em relação ao conforto térmico do usuário correlacionando as temperaturas operativas mensuradas e a média mensal da temperatura do ar externo.

- Iluminâncias úteis da Luz Natural (UDI) considera valores úteis de iluminância e qual a porcentagem de ocorrência destes durante o ano. As faixas de iluminâncias úteis utilizadas para avaliação do conforto luminoso foi entre 300 e 3000lux, que é considerada como desejáveis ou pelo menos toleráveis pelos ocupantes (MARDALJEVIC et *al*, 2012). Ainda, o UDI é subdividido em duas categorias: suplementar e autônoma. Na suplementar, entende-se que quando a avaliação da iluminância natural está entre 100 e 300lux, dependendo da tarefa a ser executada há necessidade de complementação com a iluminação artificial. Inferior a 100lux é considerada não útil, superior à 3000 lux excessiva e entre 300 e 3000lux autônoma.

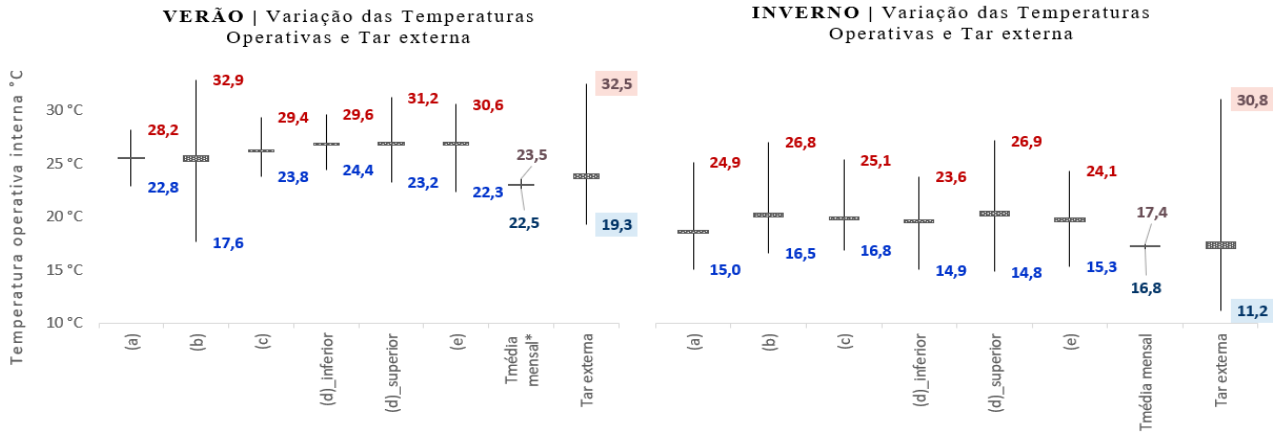
Ressalta-se que as pesquisas acerca da determinação da faixa de UDI são referentes à espaços não residenciais, e que se observa incertezas entre os limites preferidos ou tolerados para edifícios comerciais e residenciais (MARDALJEVIC et *al*; 2012). Os autores reforçam que as escalas apresentadas devem ser tomadas como ilustrativas e sujeitas a revisão posterior, ao invés de conservá-las à perpetuidade.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em ambientes residenciais e multifuncionais, como os estudados, a busca pela qualidade ambiental por meio de estratégias passivas é essencial para a eficiência energética e a redução de emissão de carbono, principalmente em climas amenos como o da cidade de São Paulo. Pautar-se exclusivamente em soluções ativas de climatização a partir de equipamentos ativos individualizados, como é o previsto em todas as unidades estudadas, pode acarretar prejuízos ao bem-estar e a saúde dos ocupantes. Estes sistemas podem afetar a qualidade do ar interno, ao confinarem o ambiente, dificultando a renovação de ar e a retirada de CO2 resultante da respiração humana. Como os levantamentos de campos ocorreram em unidades vazias (com exceção do período de verão da unidade (b)), o sistema mecanizado de iluminação e condicionamento não se encontravam em operação e, portanto, os resultados são compatíveis ao de ambientes naturalmente ventilados.

Em edifícios residenciais a taxa de ocupação é predominantemente noturna e, portanto, as estratégias a serem adotadas devem priorizar tal período de permanência. Nos microapartamentos a versatilidade do espaço compacto implica maior complexidade na formatação do conforto e na manutenção da qualidade ambiental. Dessa forma, à avaliação do conforto em sua totalidade deve considerar tais dinâmicas e a interação entre as diversas esferas do conforto ambiental, em especial o térmico e o luminoso.

Quanto ao conforto térmico em climas como o de São Paulo, em que se verifica uma elevada amplitude térmica diária, verão quente e úmido e inverno frio, é importante considerar o sombreamento, a ventilação e a massa térmica como principais estratégias passivas. A massa térmica desempenha papel fundamental na formatação do conforto em espaços residenciais, uma vez que contribui para a retenção do calor diurno durante as noites frias, condição frequente no clima de São Paulo (GONÇALVEZ, 2015). Nos microapartamentos o efeito da massa térmica é amplificado devido ao volume de ar ser pequeno em relação à área total da envoltória. É possível verificar tal efeito na figura 1, em que a amplitude térmica da temperatura operativa interna é consideravelmente menor do que a amplitude da temperatura de ar externa.



*temperaturas médias mensais (média dos 30 dias anteriores temperatura de ar externa)

Figura 2 – Distribuição normal das temperaturas operativas e das temperaturas médias mensais (autoral)

No entanto, a qualidade construtiva e das soluções arquitetônicas das unidades avaliadas para o efeito da massa térmica é relativamente baixa, o que resulta em uma amplitude térmica de aproximadamente 4ºC, em ambientes sem ganhos de carga térmica. Além disso, as máximas internas no verão estão bem próximas, em alguns casos maiores que a máxima da temperatura externa. Outro fator que influencia nos resultados obtidos é a porcentagem de área de vidro. As elevadas áreas de vidro das unidades estudadas reduzem o efeito da massa e contribuem para a rápida troca de calor entre o meio externo e interno.

Em casos de espaços semelhantes, mas com soluções mais adequadas às questões bioclimáticas, os resultados obtidos demonstraram um desempenho expressivamente melhor. Em estudo sobre quitinetes do edifício Copan, Gonçalves *et al* (2018) obtiveram uma variação da temperatura interna entre 0,5 e 1°C, tanto no verão quanto no inverno.

Segundo os autores (GONÇALVES *et al*, 2018), a massa térmica, ao contribuir para uma temperatura superficial interna menor que a temperatura do ar no verão, exerce papel fundamental em espaços reduzidos, principalmente em climas subtropicais como da cidade de São Paulo. Assim, o efeito do calor radiante das superfícies nesses ambientes pode resultar tanto em desconforto por assimetria, quanto em superaquecimento. Por tratar-se de espaços compactos, a proximidade do usuário com a envoltória é frequente, intensificando a ação dessas superfícies na sensação de conforto.

Quanto à variação das soluções arquitetônicas, percebe-se a influência entre os diferentes pavimentos da unidade (d), duplex, que resultou em uma baixa amplitude térmica do pavimento inferior e uma alta variação da temperatura operativa interna no pavimento superior. O pavimento superior possui menor área e volume de ar, está no último pavimento, recebendo radiação horizontal pela cobertura, o que amplifica a capacidade de aquecimento deste ambiente. Assim, a abertura entre esses dois pavimentos na unidade (d) permite e intensifica as trocas térmicas por diferença de pressão, criando um bolsão de ar quente no pavimento superior. Dessa forma, o pavimento superior é mais aquecido do que o inferior apresentando temperaturas internas mais elevadas em ambos os períodos de medição.

Ao avaliar as temperaturas operativas em relação à zona de conforto resultante do modelo adaptativo, constata-se a elevada ineficiência dessas unidades em se manter dentro da faixa de 80% de aceitabilidade (figura 3). Mesmo orientadas para faces com menor insolação solar, observa-se a tendência no verão de superaquecimento, fora da zona de conforto por excesso de calor. Já no inverno a elevada ineficiência da construção em conservar o ganho solar, resultou em longos períodos abaixo da zona de conforto. No inverno, a área envidraçada da fachada relativamente extensa viabiliza a penetração da radiação solar, mas não permite a conservação da desta no interior dos ambientes, principalmente durante os períodos noturnos. Tal dinâmica é constatada pelas elevadas amplitudes térmicas diárias, inclusive com momentos de desconforto por calor durante o período de inverno.

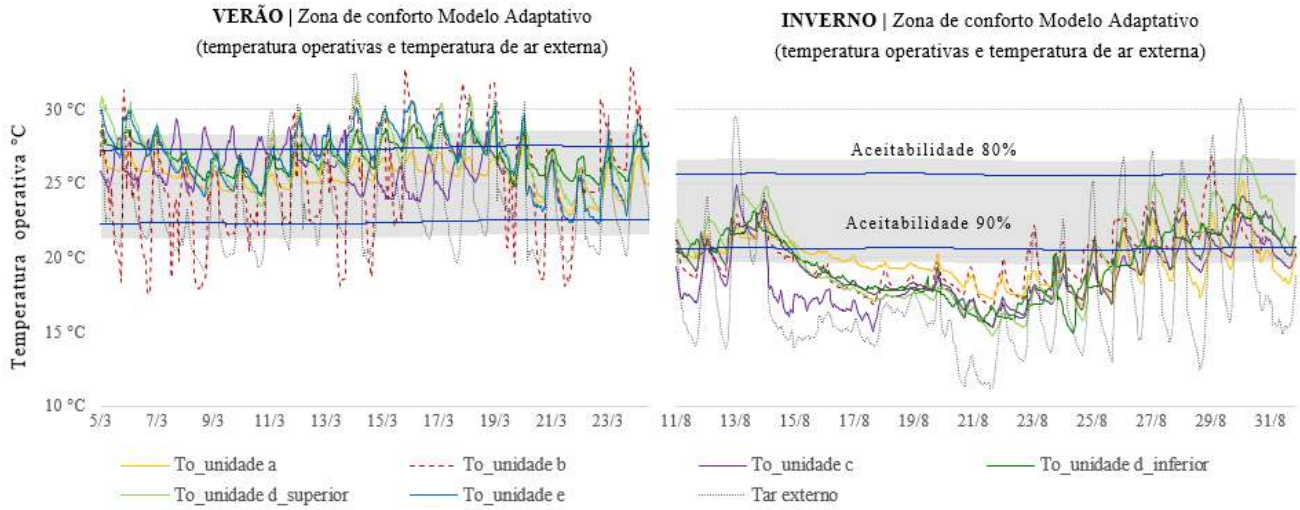


Figura 3– Avaliação do conforto por meio do Índice do Modelo Adaptativo (autoral)

Na tabela 02 é possível verificar a porcentagem de horas em que cada unidade se manteve na zona de conforto durante os levantamentos de campo. No período do inverno, as unidades não atingem mais 50%, demonstrando a ineficiência da envoltória em manter-se na zona de conforto. Ainda, é importante salientar, que apesar do período de verão apresentar melhores resultados, as unidades encontravam-se vazias e, por tanto, sem ganhos de calor interno, com exceção da unidade (b).

Tabela 02 – Porcentagem de horas em desconforto por frio, por calor e em conforto pelo modelo adaptativo (ASHRAE -55, 2013)

Unidades	VERÃO – Faixa de 80% aceitabilidade			INVERNO – Faixa de 80% aceitabilidade		
	calor	conforto	frio	calor	conforto	frio
Unidade (a)	-	100,0%	-	-	29,3%	70,7%
Unidade (b)*	29,6%	58,5%	11,9%	0,8%	53,3%	46,5%
Unidade (c)	2,7%	97,3%	-	-	49,1%	50,9%
Unidade (d)	29%	71,0%	-	2,4%	49,5%	47,1%
Unidade (e)	26,3%	73,7%	-	-	49,5%	50,5%

*unidade (b) houve acionamento do ar condicionado durante o período de medição de verão.

Para uma análise mais assertiva da dinâmica das unidades avaliadas, optou-se por examinar dois dias representativos, sendo um característico de inverno e outro de verão, com todas as aberturas fechadas. Dessa forma, garante-se a avaliação do desempenho da envoltória em dias com características climáticas típicas dos períodos de inverno e verão, visto que durante os levantamentos existiram flutuações climáticas. Na comparação entre os dias típicos (figura 4) o desempenho observado é bastante aquém do estipulado pelas faixas de aceitabilidades, com exceção da unidade (a) no verão. Todas as unidades no inverno ficaram abaixo do limite da zona de conforto de 80% de aceitabilidade. No verão verifica-se um aquecimento durante o dia, com pico no período da tarde e que se conserva durante a noite. Além disso, averiguou-se uma maior dificuldade de dissipação noturna do calor acumulado durante o dia no verão.

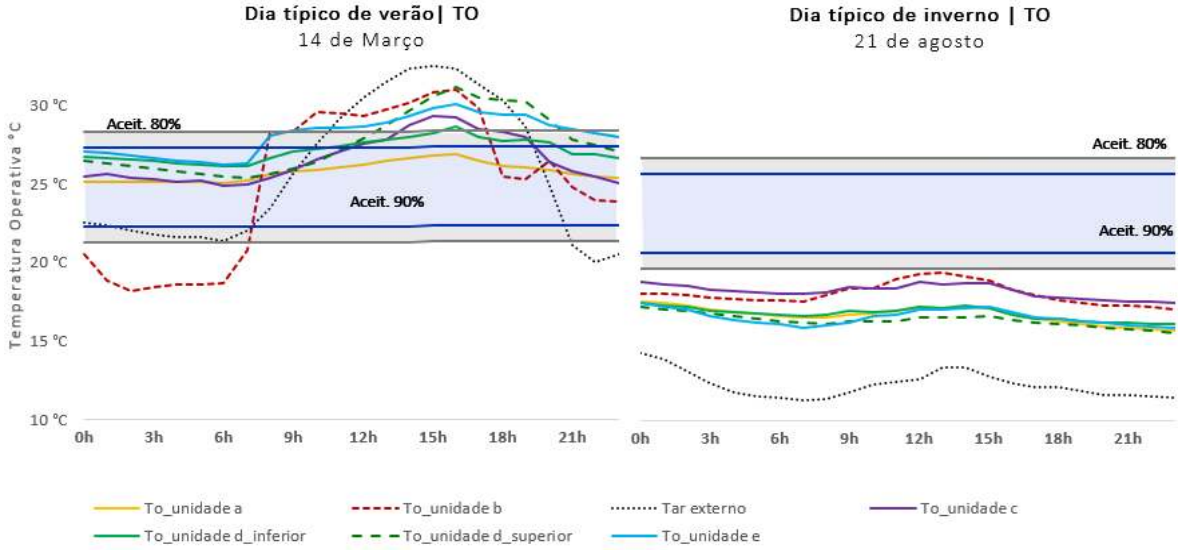


Figura 4 – Avaliação do conforto por meio do Índice do Modelo Adaptativo – dias típicos de verão e inverno (autoral)

Atingir a zona de conforto no período noturno em residências é de suma importância principalmente para não afetar a qualidade do sono. Como os levantamentos, na maioria, ocorreram em espaços vazios algumas ponderações devem ser consideradas quanto aos resultados encontrados. As alternativas de adaptação dos usuários para atingir o conforto em situações como as demonstradas nas figuras 5 e 6 são mais eficientes no inverno do que no verão. Para aquecimento, deve-se considerar a capacidade de troca radiante entre os estofados e o ser humano, o acréscimo da resistência das vestimentas, e a produção de calor interno. Segundo Lin e Deng (2008), o efeito do isolamento térmico do sistema da cama na temperatura operativa é de aproximadamente 5,3ºC por clo, o que afeta significativamente a temperatura neutra durante o sono. Ainda, durante o sono a capacidade de adaptação do usuário é limitada (DE DEAR *et al*, 2009) e, portanto, o espaço deve atuar mais preponderantemente na formatação do conforto.

Analisando a figura 5, o delta de temperatura entre o ambiente externo e interno é menor e mais constante no inverno. Pelo modelo adaptativo da ASHRAE 55 nenhuma das unidades estudadas ficariam dentro da faixa de 80% de aceitabilidade no dia típico de inverno, no entanto, a média da temperatura operativa interna foi de 16,9°C, não tão aquém a da faixa de 80% de aceitabilidade. Alcançar o conforto em tal situação requer estratégias de adaptação mais factíveis por parte dos usuários, como o incremento de vestimentas e camadas de coberturas na cama.

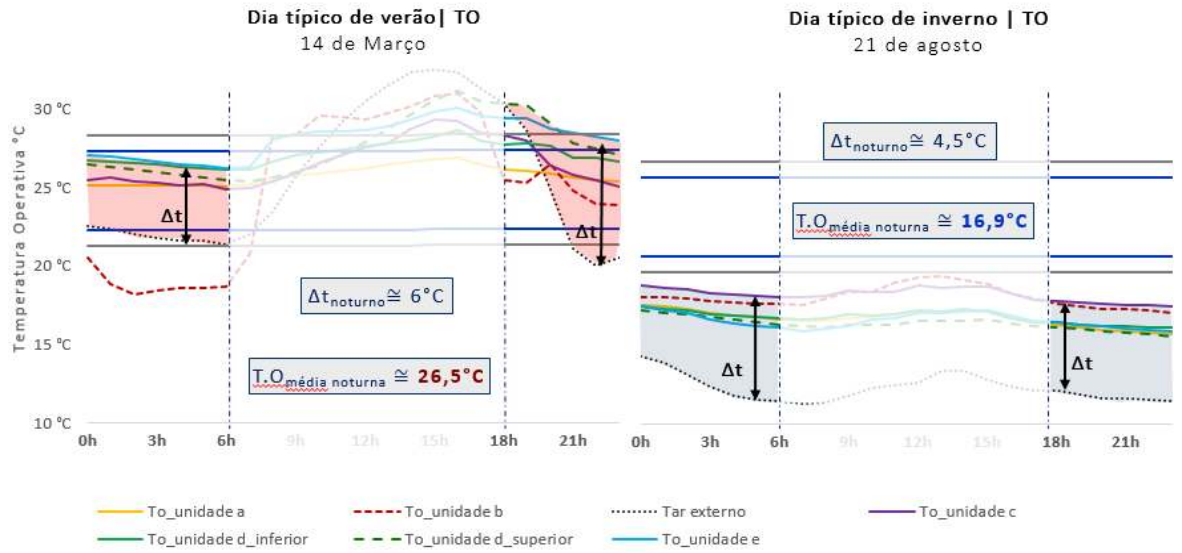


Figura 5 – Comparação entre dias típicos de verão e inverno (autoral)

Ao considerar a carga interna, a pouca capacidade do usuário em se adaptar ao calor durante o sono, em dias de verão tais unidades tendem a sair da zona de conforto o que pode induzir ao uso de ar-condicionado, como constatado na unidade habitada (b). Tal situação é reforçada pela elevada média de temperatura operativa interna observada, 26,5°C. Assim, em situações padrões de ocupação, os resultados demonstraram maior tendência ao desconforto por calor, ressaltando a baixa capacidade da envoltória em promover o conforto dos usuários, sem o recurso de estratégias ativas.

Em relação ao conforto luminoso, a penetração da luz natural nos estudos de casos ocorre quase que exclusivamente pelas portas das varandas. Elementos estes que tendem a proporcionar uma distribuição heterogênea da luz natural no interior do ambiente, uma vez que estão locados apenas em uma orientação, na parede e sem diferenças de altura. Percebe-se na figura 6, quadro comparativo das iluminâncias entre inverno e verão, uma disponibilidade muito reduzida durante o inverno em relação ao verão. No entanto, no verão a possibilidade de ocorrência de ofuscamento por excesso de iluminância é relativamente elevada.

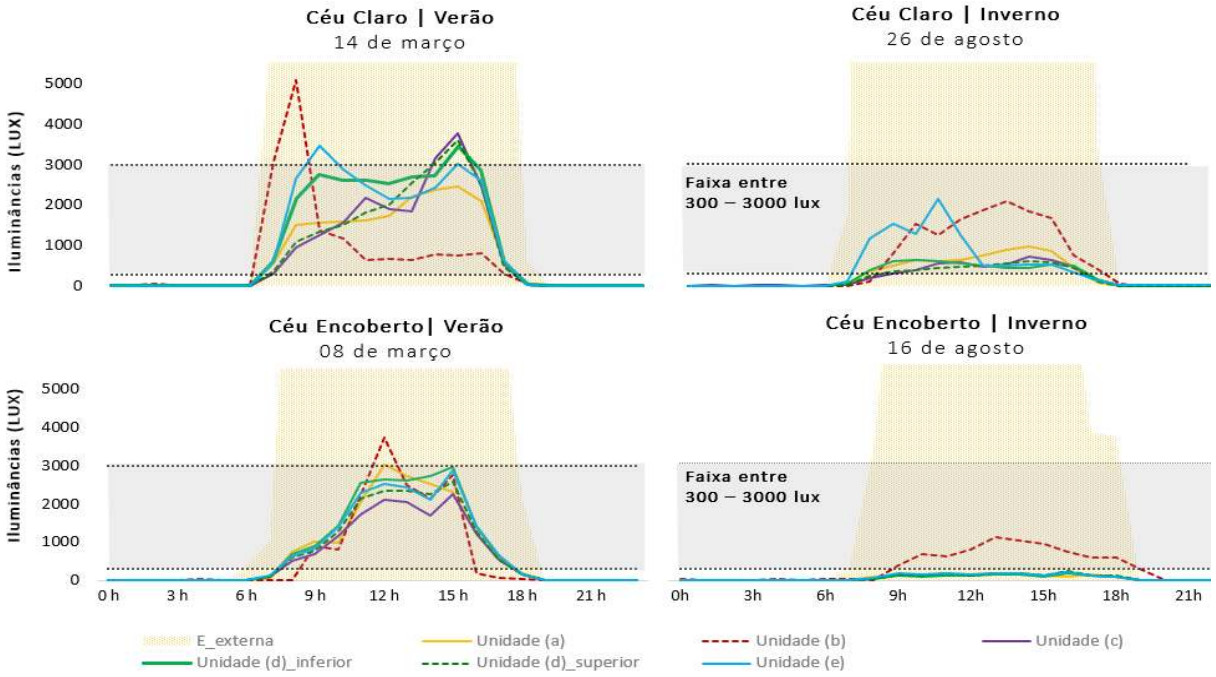


Figura 6 – Análise da Comparação entre os dias típicos de inverno e verão com céus encobertos e claros (autoral)

A avaliação das iluminâncias da luz do dia úteis (UDI) do período de medição indicou um atendimento satisfatório da iluminação no verão. No entanto, no inverno os resultados demonstraram curto período com autonomia da luz natural, principalmente se considerar o potencial de iluminância do ambiente externo. Tais valores reforçam a deficiência das soluções adotas em aproveitar os potenciais bioclimáticos da região em que as unidades estão inseridas, promovendo ambientes escuros apesar das grandes áreas de vidro. No dia típico

de inverno, em que há predominância do céu nublado, conforme demonstrado na figura 7, os resultados indicaram a necessidade de uso da iluminação artificial durante todo o dia, seja esta complementar a iluminação natural ou total. Tal situação pode acarretar um aumento expressivo do consumo energético e prejuízos a acuidade visual e a saúde do usuário.

Características Construtivas						Período Total		Dias Típicos	
Unidade	*Orientação*	*Andar*	*P.D*	*Área de piso*	*Área Envidraçada*	**Verão**	**Inverno**	**Verão**	**Inverno**
Unidade (a) *F. Ventilada*		2º	2,68m	22,3m²	8,9m²	**83,4%**	**58,5%**	**95,8%**	**0%**
Unidade (b) *Habitada*		16º	2,54m	28m²	6,9m²	**73,6%***	**87,5% ***	**83,3%***	**100,0%***
Unidade (c) *Estendida*		2º	2,70m	16m²	3,2m²	**81,1%**	**50,8%**	**87,5%**	**0%**
Unidade (d) *Duplex*		14º	2,70m	24,4m²	6,5m²	**64,9%**	**58,5%**	**91,7%**	**0%**
Unidade (e) *Loft*		3º	5,64m	22,1m²	8,6m²	**83,4%**	**59,0%**	**87,5%**	**0%**

Figura 7 – Quadro síntese das Iluminâncias Úteis (UDI) – (autoral)

Apesar da ocupação ser predominantemente noturna, é importante considerar também a influência da iluminação natural no período da manhã e nos finais de semana, além da sua relação com o conforto térmico e seus ganhos na qualidade visual e na percepção do espaço. Ademais, a pandemia aumentou expressivamente o trabalho remoto, o que exige melhor desempenho dos espaços residenciais para garantir a adequada qualidade ambiental e não acarretar prejuízos a saúde dos usuários, principalmente no período diurno. Tais alterações comportamentais, sociais e ambientais devem ser ponderadas na avaliação do conforto ambiental e na concepção dos espaços.

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa verificou o desempenho termo-luminoso da recente produção de microapartamentos por meio da avaliação de cinco estudos de caso durante períodos de verão e de inverno. Os resultados demonstram a baixa qualidade ambiental dos estudos de casos avaliados, visto que a maioria apresentou desempenho térmico inadequado ao período analisado. Tais resultados permitem induzir que aspectos climáticos, especificidades da implantação e a qualidade ambiental do espaço foram negligenciados no processo de concepção e de desenvolvimento do projeto.

Ainda, as avaliações dos estudos de casos reforçam a mentalidade do mercado imobiliário de pasteurizar soluções arquitetônicas, pois não há diferenciação significativa das soluções adotadas, sejam construtivas ou arquitetônicas. Portanto, a atual tipologia de habitação mínima de planta livre ofertada pelo mercado, denominada de microapartamento, tende a fomentar respostas ineficientes energética e ambientalmente. Além de apresentarem potencial de prejuízo à saúde e ao bem-estar dos usuários, uma vez que não oferecem soluções mais versáteis e adequadas às complexidades dos espaços analisados.

Logo, a elevada representatividade dos microapartamentos na atual conjuntura imobiliária paulistana acentua a importância de estudos voltados a esses novos modelos de habitação. Apesar da relevância do tema, são escassos os estudos, em âmbito nacional e internacional, que abordem questões de conforto termo-luminoso em espaços mínimos de moradia com planta livre, sobretudo em relação à produção contemporânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **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, 2005b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15215**: Iluminação Natural. Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55 -2013 - Thermal environmental conditions for human occupancy**. EUA, 2013.

IESNA - ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY NORTH AMERICA STANDARDS FROM ANSI. **2012 LM-83-12 IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE).** New York, IESNA Lighting Measurement, 2012.

ISO – INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. 2005 - **7730. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**, Geneva International Standards Institution, 2005.

ALUCCI, M.P. Manual para dimensionamento de aberturas e otimização da iluminação natural na arquitetura. **FAUUSP**, São Paulo, 2006.

COHEN, M. J. New conceptions of sufficient home size in high-income countries: Are we approaching a sustainable consumption transition?. **Housing, Theory and Society**, v. 38, n. 2, p. 173-203, 2021.

DE DEAR, R.J.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference /Discussion. **ASHRAE transactions**, v. 104, p. 145, 1998.

DE DEAR, R.J. The theory of thermal comfort in naturally ventilated indoor environments- "the pleasure principle". **International Journal of Ventilation,** v. 8, n. 3, p. 243-250, 2009.

GABBE, Charles J. Looking through the lens of size: Land use regulations and micro-apartments in San Francisco. **Cityscape**, v. 17, n. 2, p. 223-238, 2015.

GONÇALVES, J.C.S.; BODE, K. Edifício ambiental. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2015.

GONÇALVES, J.C.S. et al. Revealing the thermal environmental quality of the high-density residential tall building from the Brazilian bioclimatic modernism: The case-study of Copan building. Energy and Buildings, v. 175, p. 17-29, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua-PNAD Contínua.** Diretoria de pesquisas coordenação de trabalho e rendimento, 2021.

LAMBERTS, R.; RUPP, R.F.; VÁSQUEZ, N.G. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and buildings**, v. 105, 2015.

LEME, C.C.; MONTEIRO, L.M. Desempenho térmico no inverno dos atuais microapartamentos de planta livre em São Paulo. **Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**, v. 17, n. 1, p. 629-633, 2018.

LIN, Z.; DENG, S. A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—developing a thermal comfort model for sleeping environments. **Building and Environment**, 2008.

MARDALJEVIC, J. et Al. "Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability." **Proceedings of the building simulation and optimization conference (BSO12**), Loughborough, UK. Vol. 1011, 2012.

MARDALJEVIC, J; ANDERSEN, M; ROY, N; CHRISTOFFERSEN, J. Daylighting metrics for residential buildings. **In Proceedings of the 27th Session of the CIE** (No. EPFL-CONF-166212), 2011.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. Adaptive thermal comfort: principles and practice. **Routledge**, 2012.

PNAD, IBGE. Pesquisa nacional por amostra de domicílios. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2022.

PETRUCCI, Celso. Balanço Do Mercado Imobiliário 2021. **SECOVI** – São Paulo, 2021.

REINHART, C; SELKOWITZ, S. Daylighting—Light, form, and people. **Energy and Buildings**, pp.715-717, 2006.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (FAPESP - CAPES) pelos recursos financeiros aplicados no financiamento da pesquisa.