



O EFEITO DA VERTICALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO E DO SISTEMA CONSTRUTIVO NA INÉRCIA TÉRMICA DE HABITAÇÕES UNIFAMILIARES

**Adriana C. de Brito (1); Maria Akutsu (1); Fulvio Vittorino (1); Marcelo M. Aquilino (1);
Arlindo Tribess (2)**

(1) Laboratório de Conforto Ambiental do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo,
adrianab@ipt.br; akutsuma@ipt.br, fulviov@ipt.br; aquilino@ipt.br

(2) Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,
atribess@usp.br

RESUMO

A inércia térmica é objeto de estudo de diversos autores, que indicam as suas potencialidades na melhoria do desempenho térmico das edificações em determinadas condições climáticas. Contudo o conceito não é aplicado nos projetos de edifícios habitacionais atuais onde são utilizados sistemas construtivos leves, refletindo preocupações com a racionalidade construtiva e custos de execução. Estes sistemas são usados com frequência em sobrados e edifícios residenciais, em que a verticalização proporciona um maior número de unidades por área de terreno para suprir a grande demanda por habitações brasileiras. Entretanto, ambientes afastados do solo, sem as contribuições de sua inércia térmica, podem produzir condições térmicas mais desfavoráveis ao conforto térmico humano, principalmente em locais como São Paulo, em que a inércia térmica tem um papel fundamental no desempenho térmico da edificação. Neste artigo apresenta-se a influência combinada do sistema construtivo e da verticalização da edificação na inércia térmica de ambientes de habitações de interesse social. Foram utilizados como referência os projetos de uma habitação térrea e um sobrado, com sistema construtivo "leve" e sistema "pesado". As respostas térmicas das edificações foram obtidas por simulações computacionais com o programa *EnergyPlus*, em um dia típico de verão da Cidade de São Paulo. Os resultados apontam que a verticalização da edificação produz efeitos significativos na inércia térmica dos ambientes com sistema "leve", sendo praticamente desprezível nas edificações com sistema "pesado".

Palavras-chave: inércia térmica, desempenho térmico.

ABSTRACT

Thermal inertia is subject of several researches that indicates their potential in improving the thermal performance of buildings in specific climate conditions. Despite this potential, this concept is not used in Brazilian residential buildings design. It is more common the use of lightweight construction systems, prioritizing rationality and lower execution costs. Furthermore these systems are often used in popular tall buildings providing an increased of the number of houses per area. However, the lightweight systems are more affected by outdoor conditions, especially when they are away from the ground, without the contributions of its thermal inertia. This can produce thermal conditions more unfavorable to human comfort, especially in places like São Paulo, where the thermal inertia is essential in building thermal response. This article presents the combined influence of the constructive system and architectural design in the thermal inertia of popular residential buildings. We use as reference of architectural design a single storey dwelling and a townhouse both with "lightweight" and "heavy" systems. The buildings thermal responses were obtained by computer simulations with *EnergyPlus* program. The results indicates the design is more determinant of the building thermal inertia in lightweight buildings compared to heavyweight one.

Keywords: thermal inertia, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente muitas civilizações antigas já construíam edificações utilizando a inércia térmica como mecanismo passivo de condicionamento de edifícios para a obtenção de condições térmicas mais adequadas ao ser humano, principalmente em locais com alta amplitude da temperatura do ar e radiação solar intensa. Neste contexto, os edifícios com alta inércia térmica, constituídos por materiais tradicionais, como pedra e terra, possuem elementos espessos, com alto calor específico, o que lhes confere alta capacidade térmica.

Atualmente, diante das crescentes preocupações ambientais, a inércia térmica vem sendo objeto de estudo de diversos pesquisadores, que demonstram seu potencial para propiciar a melhoria do desempenho térmico de edifícios, como apresentado nos trabalhos de Ferrari (2007); Gregory, et al. (2008); Aste, et al. (2009); Verbeke (2010); Brito, et al. (2011); Di Perna, et al. (2011) e Orosa & Oliveira (2012).

Outros estudos apontam também alguns fatores que interferem na inércia térmica da edificação. Nesse sentido, Akutsu & Vittorino (1990) e Di Perna, et al. (2011) apresentam os efeitos da posição de isolantes térmicos na inércia térmica de edifícios; Granja & Labaki (2003) demonstram a influência da cor da superfície externa de coberturas e, Cheng et al. (2005), de paredes; Gregory (2008) e Brito et. al. (2011) indicam os efeitos das paredes internas; Akutsu & Vittorino (1999) e Claro (2010) abordam as implicações da orientação solar; Ferrari (2007) apresenta os efeitos da orientação solar e da tipologia de edificações; Chiras (2002) e Souza et al. (2011) demonstram a influência da inércia térmica do solo na inércia térmica de edifícios.

Mesmo com a disponibilidade de estudos destacando os potenciais da inércia térmica na melhoria das condições térmicas de ambientes, em função do clima do local, este conceito não tem sido aplicado nos edifícios habitacionais brasileiros produzidos recentemente. Ao contrário, no cenário atual em que há uma grande demanda por habitações, os empreendedores estão optando por sistemas construtivos racionalizados, com elementos leves pré-fabricados ou pré-moldados, que propiciam maior rapidez de execução e menores custos da obra, em comparação com os sistemas construtivos mais tradicionais. Além disso, há uma forte tendência de verticalização dos conjuntos habitacionais, para melhor aproveitamento dos terrenos. Entretanto, em edifícios com mais de um pavimento a maior parte dos ambientes fica afastada do solo, sem ter a contribuição de sua inércia térmica podendo produzir, em sistemas construtivos muito leves, condições térmicas mais desfavoráveis ao conforto humano, principalmente em locais como São Paulo, em que a inércia térmica tem um papel fundamental no desempenho térmico da edificação.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar os efeitos da variação da tipologia arquitetônica e do sistema construtivo na inércia térmica de ambientes de edifícios habitacionais localizados na Cidade de São Paulo.

3. MÉTODO

Foram consideradas duas tipologias de edificações de interesse social, uma habitação térrea e um sobrado, com dois sistemas construtivos, um tradicional, caracterizado por componentes "pesados", com materiais como concreto e cerâmica e outro com elementos "leves", com chapas cimentícias e gesso acartonado.

As respostas térmicas das edificações foram obtidas por meio de simulações computacionais com o uso do programa *EnergyPlus*, que determina o comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima, considerando os dados climáticos do dia típico de verão da Cidade de São Paulo, apresentados na Tabela 1 (ABNT, 2013).

Tabela 1 – Dados de temperatura e radiação solar global incidente em superfície horizontal, para o dia típico de verão da Cidade de São Paulo (ABNT, 2013)

Temperatura máxima diária (°C)	Amplitude térmica diária (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Radiação solar (Wh/m ²)
31,9	9,2	21,3	5180

Todos os ambientes das edificações foram simulados para a obtenção dos valores horários das temperaturas do ar interior. Foram analisadas as amplitudes diárias do ar interior dos dormitórios de cada tipologia, como indicador da inércia térmica destes ambientes. Quanto menor a amplitude diária da temperatura do ar interior em relação à amplitude do ar exterior, maior é a inércia térmica do ambiente.

Os dormitórios têm em comum as dimensões, a orientação solar das janelas a Oeste e o contato com a cobertura da edificação, que é exposta à radiação solar direta. Entretanto, um deles, por estar alocado em uma casa térrea, tem contato com o solo, enquanto o outro é posicionado no primeiro pavimento de um sobrado.

3.1. Descrição das edificações

Os projetos do sobrado e da casa térrea são apresentados na Figura 1, destacando-se os dormitórios analisados na cor cinza. Os dois sistemas construtivos são descritos a seguir:

- Sistema "pesado":
 - ✓ Paredes externas: tijolo cerâmico maciço, assentado na maior dimensão, com dimensões 10,0 cm x 6,0 cm x 22,0 cm, com as faces revestidas com argamassa com espessura de 2,5 cm e acabamento na cor branca. A espessura total da parede é de 27,0 cm;
 - ✓ Paredes internas compostas por tijolo cerâmico maciço, assentado na menor dimensão, com dimensões 10,0 cm x 6,0 cm x 22,0 cm, com as faces revestidas com argamassa com espessura de 2,5 cm. A espessura total da parede é de 15,0 cm;
 - ✓ Cobertura constituída por forro horizontal de concreto tradicional, com espessura de 15,0 cm, e telhado com telhas cerâmicas com espessura de 2,0 cm, com face inferior com subcobertura com baixa emissividade;
 - ✓ No sobrado: piso do pavimento superior, constituído por laje de concreto tradicional, com espessura de 15,0 cm e revestimento com placas cerâmicas;
 - ✓ Piso do pavimento térreo composto por contra-piso de argamassa com espessura de 5,0 cm e revestimento com peças cerâmicas.
 - ✓ Janelas com dimensões 1,0 m x 1,0 m, com vidro simples, transparente, com espessura de 3,0 mm, sem venezianas e portas de madeira.
- Sistema "leve":
 - ✓ Paredes externas: face voltada para o exterior composta por placa cimentícia, com espessura de 3,0 cm e acabamento na cor branca, espaço de ar confinado com espessura de 9,0 cm e placa de gesso acartonado com espessura de 1,2 cm;
 - ✓ Paredes internas compostas por placas de gesso acartonado, com espessura de 1,2 cm, separadas por espaço de ar confinado com espessura de 9,0 cm;
 - ✓ Cobertura constituída por forro horizontal de gesso acartonado, com espessura de 1,2 cm, com e telhado com telhas cerâmicas com espessura de 2,0 cm, com face inferior com subcobertura com baixa emissividade;
 - ✓ No sobrado: Piso do pavimento superior, constituído por contra-piso de argamassa com 5 cm de espessura, revestido com placas cerâmicas, sobre placas de madeira prensada com espessura de 2,0 cm, apoiadas em vigas metálicas;
 - ✓ Piso do pavimento térreo composto por contra-piso de argamassa com espessura de 5,0 cm e revestimento com placas cerâmicas.
 - ✓ Janelas iguais às descritas no Sistema "pesado".

As propriedades térmicas dos componentes da envoltória destes sistemas estão apresentadas na Tabela 2 (transmitância térmica de paredes e capacidade térmica de paredes e transmitância térmica de coberturas).

Tabela 2: Propriedades térmicas dos componentes utilizados na envoltória das habitações (ABNT, 2005)

Componente		Transmitância Térmica [W/(m ² .K)]	Capacidade Térmica [kJ/(m ² .K)]
“Pesado”	Tijolo cerâmico maciço, com espessura de 22 cm, revestido por argamassa de 2,5 cm em ambos os lados.	1,9	361
	Tijolo cerâmico maciço, com espessura de 10 cm, revestido por argamassa de 2,5 cm em ambos os lados.	2,8	217
	Forro horizontal de concreto tradicional, com espessura de 15 cm, e telhado com telhas cerâmicas com espessura de 2,0 cm, com face inferior com subcobertura com baixa emissividade.	1,4	369
	No sobrado, piso do pavimento superior, em laje de concreto tradicional, com espessura de 15,0 cm e revestimento com placas cerâmicas	3,7	357
“Leve”	Placa cimentícia, com espessura de 3,0 cm, espaço de ar confinado com espessura de 9,0 cm e placa de gesso acartonado com espessura de 1,2 cm	2,5	59
	Duas placas de gesso acartonado, com espessura de 1,2 cm, separadas por espaço de ar confinado com espessura de 9,0 cm.	2,4	17
	Forro horizontal de gesso acartonado, com espessura de 1,2 cm, telhado em telhas cerâmicas com espessura de 2,0 cm, com face inferior com subcobertura com baixa emissividade	1,1	32
	No sobrado, piso do pavimento superior, com contra-piso de argamassa com 5 cm de espessura, revestido com placas cerâmicas, sobre placas de madeira prensada com espessura de 2,0 cm;	4,1	130

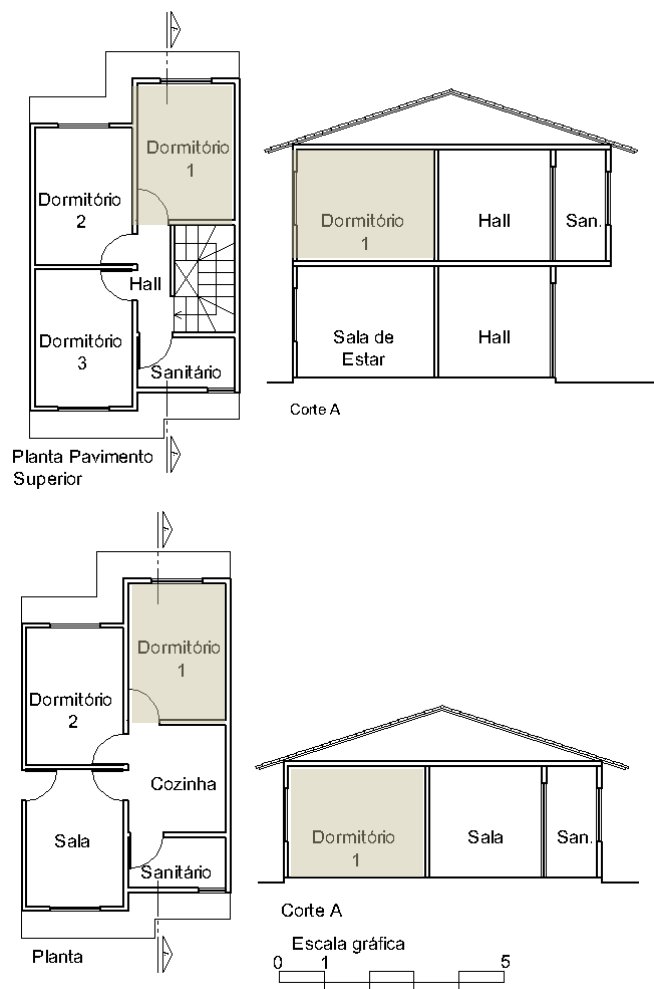


Figura 1: Projetos arquitetônicos analisados (Fonte: Modificados de CDHU, 1997)

3.2. Condições analisadas

Os dormitórios foram simulados nas condições de ventilação de ambientes e sombreamento de janelas consideradas na norma ABNT NBR 15575 (ANBT, 2013) que estabelece método de avaliação de desempenho térmico de habitações, por simulação computacional, conforme apresentado a seguir:

- ✓ Ambiente com ventilação a uma taxa de 1,0 Ren/h (uma renovação do volume de ar do ambiente por hora, durante 24h) e janelas sem sombreamento, denominada como condição padrão (legenda “CP” nos gráficos);
- ✓ Janelas sombreadas, ou seja, com proteção solar que reduz em 50% a incidência da radiação solar global no ambiente (legenda “SOMB”, nos gráficos);
- ✓ Ambiente ventilado a uma taxa de 5,0 Ren/h (cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora, durante 24h - legenda “VENT”, nos gráficos);
- ✓ Com as duas opções anteriores (legenda “SOMB + VENT” nos gráficos);

Acrescenta-se que na referida norma, os ambientes são simulados sem fontes internas de calor, contudo, neste trabalho optou-se por verificar os efeitos das fontes internas de calor na inércia térmica dos ambientes, que foram simulados nas seguintes situações:

- ✓ Sem fontes internas de calor, com legenda "SEM FONTES" nos gráficos;
- ✓ Com fontes internas de calor, conforme apresentado na Tabela 3, e legenda "COM FONTES".

Tabela 3: Fontes de calor nos dormitórios

Fontes internas de calor	Quantidade	Calor sensível total liberado no ambiente (W)	Fração radiante (%)	Horário
Pessoas	2	80*	30	21h-07h
		120**	30	08h-20h
Iluminação	1	40	50	

(*pessoa dormindo; ** pessoa acordada em atividade leve)

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados são apresentados tendo como referência os perfis horários das temperaturas do ar exterior e interior, indicados nas Figuras 2 a 9. Na Tabela 4 acrescentam-se as amplitudes diárias das temperaturas do ar.

Observa-se que, nas edificações com o sistema "pesado" há um expressivo amortecimento das amplitudes diárias do ar interior (amplitudes que variam de 1,4 °C a 3,4 °C) em relação à amplitude do ar exterior (que corresponde a 9,2 °C), o que não acontece nas edificações com os sistemas “leves”(com amplitudes de 8,7 a 10,7 °C), como indicado nas Figuras 2 a 5.

Nos dormitórios alocados no sobrado, somente com o sistema “leve” há amplitudes mais significativas das temperaturas do ar (amplitudes de 9,1 a 10,7°C) em comparação com as amplitude obtidas no dormitório térreo (8,7 a 9,9 °C), como apresentado nas Figuras 2 a 5. Isso indica que o contato com o solo contribuiu para o aumento da inércia térmica do ambiente com este sistema. Entretanto, isso não ocorre na habitação com sistema “pesado” em que as diferenças nas amplitudes diárias dos ambientes nas duas tipologias são praticamente desprezíveis (da ordem de 0,1 °C). Este fato é explicado pelas características do sistema, que propicia inércia térmica adequada à edificação exposta ao clima da Cidade de São Paulo, mesmo não estando em contato com o solo.

Nas edificações com o sistema "pesado", a variação no sombreamento das janelas praticamente não alterou as amplitudes diárias do ar interior, nas duas tipologias arquitetônicas (com amplitudes de 1,4 a 1,7 °C), proporcionando somente temperaturas horárias inferiores, em especial quando o ambiente está em contato com o solo (Figura 6). Entretanto, com a ventilação dos ambientes, ocorreu um aumento da

amplitude diária do ar interior, indicando uma diminuição da sua inércia térmica (com amplitudes de 3,2 a 3,4°C), como ilustrado na (Figura 7).

Nas edificações com sistema "leve" o acréscimo do sombreamento das janelas e da ventilação dos ambientes proporcionou menores amplitudes diárias das temperaturas do ar interior (com diferenças de 0,7 a 1,1 °C em comparação com a condição padrão) e menores temperaturas horárias nos ambientes, em especial naqueles em contato com o solo (Figuras 8 e 9).

Quanto às fontes internas de calor, observa-se que não proporcionaram alterações significativas nas amplitudes diárias das temperaturas do ar em todas as situações consideradas (com diferenças de até 0,6°C em comparação com as situações sem fontes internas de calor), mas contribuíram para o aumento das temperaturas horárias nos ambientes.

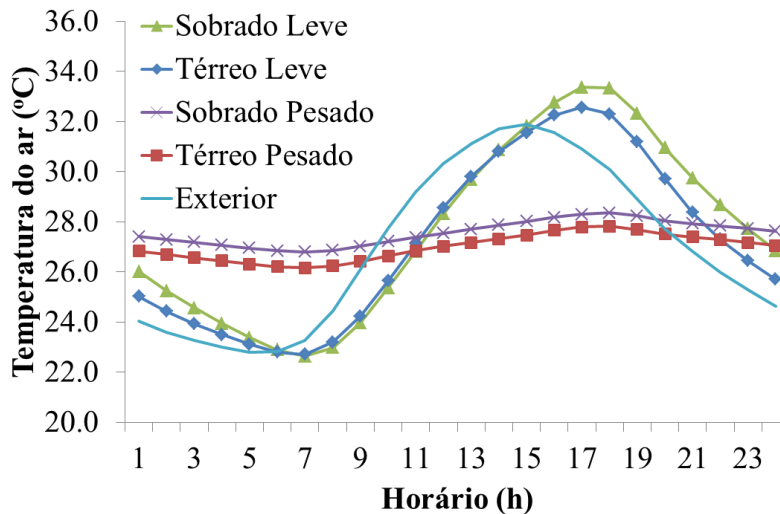


Figura 2 – Perfis horários das temperaturas do ar - CP SEM FONTES

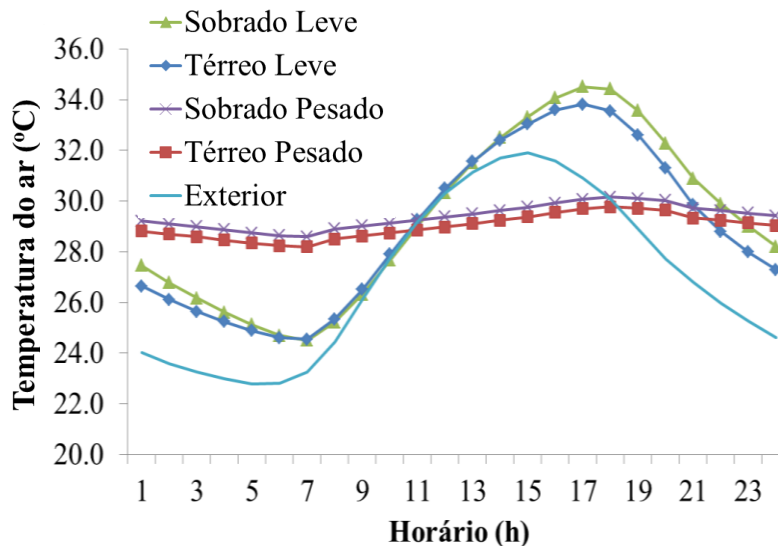


Figura 3 – Perfis horários das temperaturas do ar - CP COM FONTES.

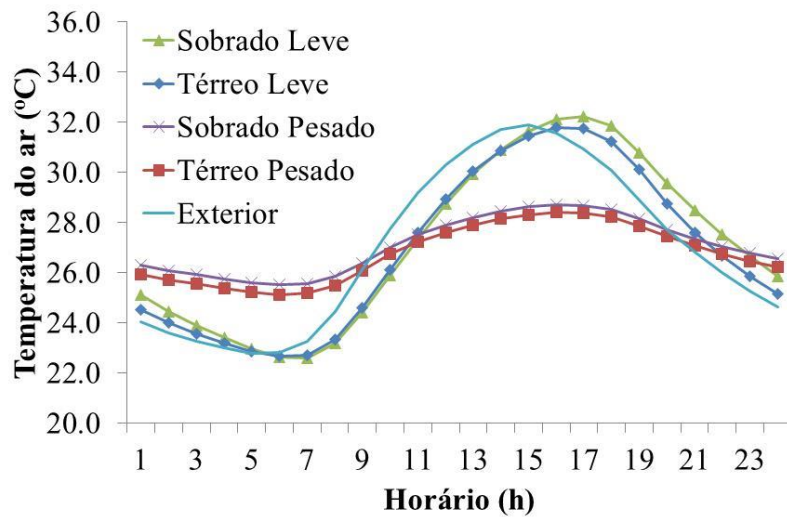


Figura 4 – Perfis horários das temperaturas do ar - SOMB+VENT SEM FONTES

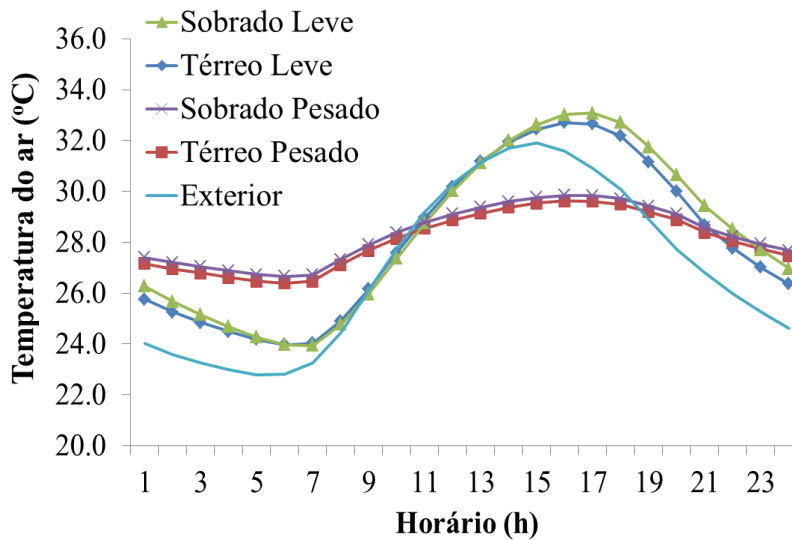


Figura 5 – Perfis horários das temperaturas do ar - SOMB+VENT COM FONTES.

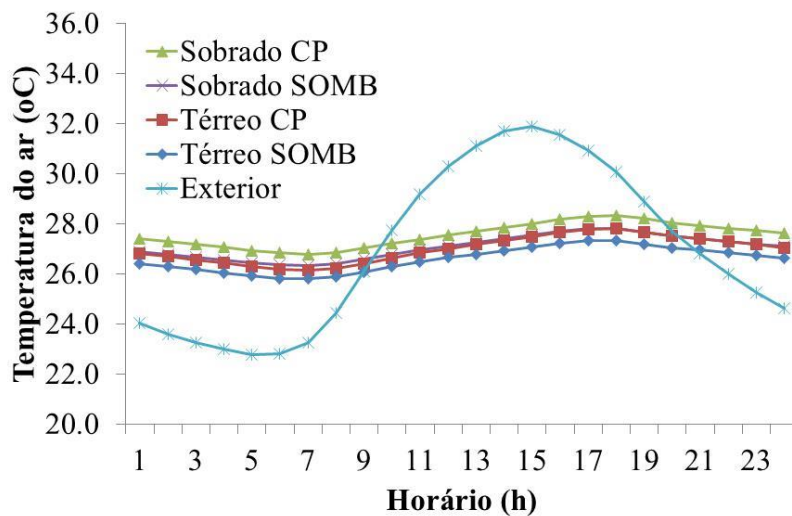


Figura 6 – Perfis horários das temperaturas do ar – CP e SOMB PESADO SEM FONTES.

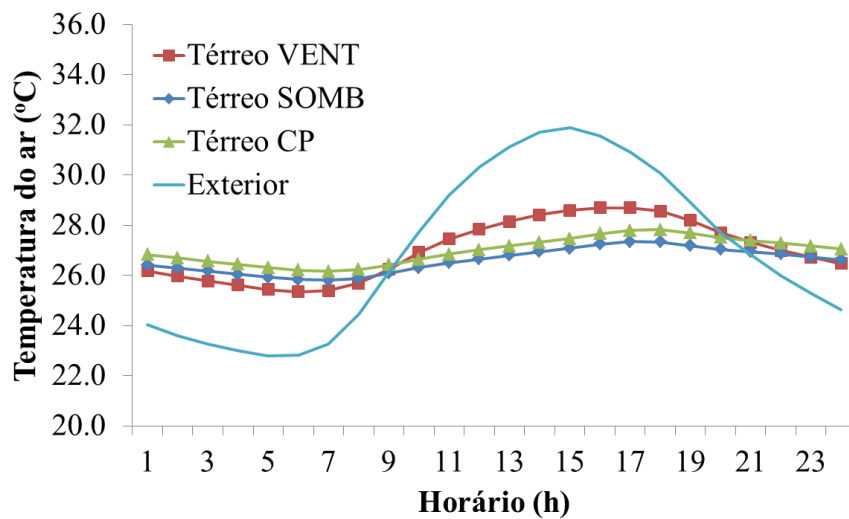


Figura 7 – Perfis horários das temperaturas do ar - Térreo PESADO SEM FONTES

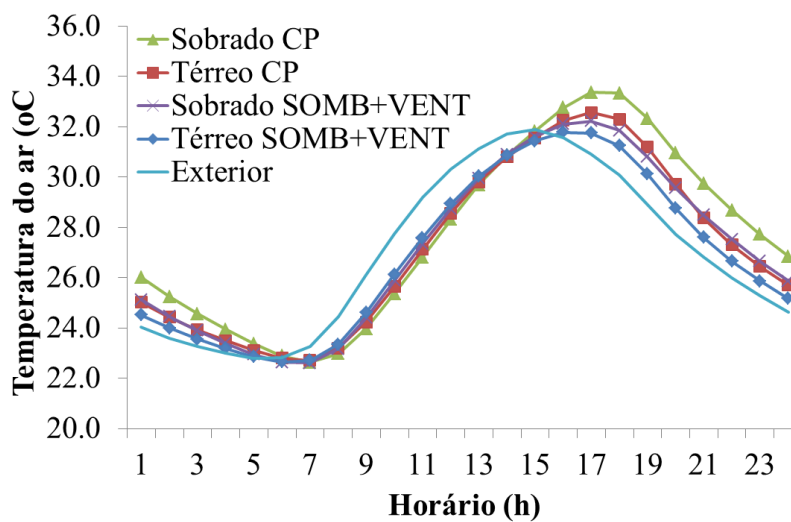


Figura 8 – Perfis horários das temperaturas do ar - LEVE SEM FONTES

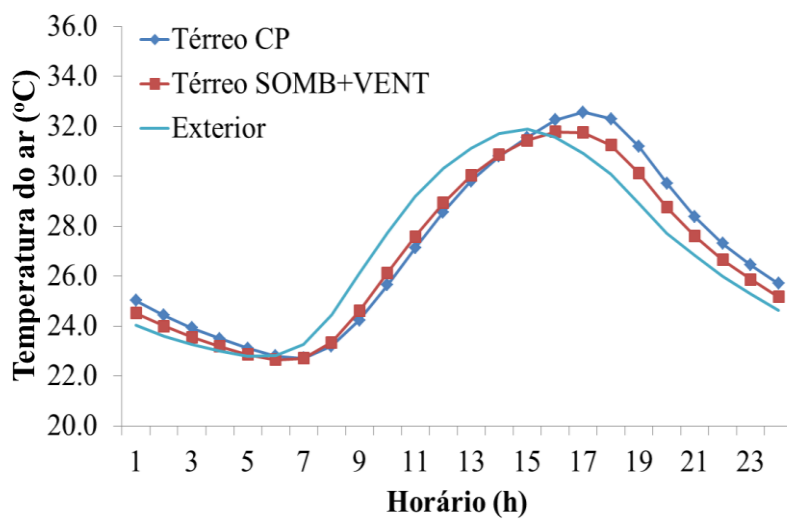


Figura 9 – Perfis horários das temperaturas do ar – Térreo LEVE SEM FONTES.

Tabela 4 – Amplitudes diárias das temperaturas do ar interior e exterior no dia típico de verão da Cidade de São Paulo.

Amplitude diária do ar exterior (°C)	Condição	Amplitude diária do ar interior (°C)							
		Sem fontes internas de calor				Com fontes internas de calor			
		Térreo		Sobrado		Térreo		Sobrado	
		Leve	Pesado	Leve	Pesado	Leve	Pesado	Leve	Pesado
9,2	CP	9,9	1,7	10,7	1,6	9,3	1,6	10,0	1,6
	SOMB	9,4	1,5	10,2	1,5	8,9	1,5	9,5	1,4
	VENT	9,4	3,4	10,1	3,3	8,9	3,3	9,5	3,3
	SOMB+VENT	9,1	3,3	9,6	3,2	8,7	3,2	9,1	3,2

5. CONCLUSÕES

O efeito da verticalização da edificação na inércia térmica do ambiente é menos significativo do que o do sistema construtivo. Isso é observado por meio do maior amortecimento das amplitudes diárias do ar nos ambientes com sistema construtivo “pesado”, tanto no ambiente térreo, quanto naquele localizado no primeiro pavimento do sobrado. Entretanto, considerando-se as tipologias arquitetônicas, observa-se que o contato com o solo propiciou menor amplitude térmica diária da temperatura do ar especialmente no sistema “leve”. Acrescenta-se que esta redução na amplitude diária refere-se à redução da temperatura máxima no ambiente, o que pode ser um diferencial para que o sistema atenda os critérios mínimos previstos na Norma ABNT NBR 15575.

No caso dos edifícios com sistema “pesado”, o mesmo é pouco afetado pela tipologia arquitetônica o que comprova sua adequação ao clima da cidade de São Paulo. Com relação ao fato da ventilação, imposta ao longo de todo o dia contribuir para a diminuição da inércia térmica do ambiente, deve-se observar que, nem sempre, ventilar significa “melhorar o ambiente”. Neste caso, a ventilação deveria ser reduzida ao mínimo necessário para a renovação do ar interior no período do dia em que a temperatura do ar exterior é menor que a temperatura do ar interior.

Este estudo mostra que, em locais como a cidade de São Paulo, que têm demanda por inércia térmica, se for necessária a utilização de sistema construtivo “leve” em uma habitação de interesse social, nos moldes das consideradas neste trabalho, escolher uma tipologia térrea propiciará melhores condições térmicas no interior da habitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575: Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- Akutsu, M., & Vittorino, F. (1999). The Use of Simulation Software to Evaluate the Thermal Performance of Buildings in Brazil. In: I. B. Association (Ed.), II, pp. 1101-1108. Kioto.
- Aste, N., Angelotti, A., & M. Buzzetti. (2009). The influence of external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings. *Energy and Buildings Journal*, 44, pp. 1181–1187.
- Brito, A. C., & Akutsu, M. V. (2011a). Efeito da utilização de vedação internas leves na inércia térmica de edifício com sistema construtivo em concreto. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, (pp. 1-8). Búzios.
- CDHU - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano. Caderno de Tipologias. Disponível em: <http://portalshcdhu.cdhu.sp.gov.br>. Acesso em 12/08/2010.
- Cheng, V., & Givoni, B. (2005). Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy Journal*, 78, pp. 528-534.
- Chiras, D. D. (2002). *The solar house: passive heating and cooling* (1a Edição ed.). Chelsea Green Publishing Company.
- Claro, M. S. (2010). Análise do efeito do envidraçamento sobre a eficiência energética de fachadas em edifícios de escritórios de grande porte na cidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, São Paulo.
- Di Perna, C., Stazi, F., Casalena, A., & D’Orazio, M. (2011). Influence of the internal thermal inertia of the building envelope on summertime comfort in buildings with high internal loads. *Energy and Buildings Journal*, 43, pp. 200-206.

- Ferrari, S. (2007). Building envelope and heat capacity: re-discovering the thermal mass for winter energy saving. 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the first 21th Century, (pp. 346-351). Crete island, Greece.
- Granja, A. D., & Labaki, L. C. (2003). Influence of external surface colour on the periodic heat flow through a flat solid roof with variable thermal resistance. *Journal of Energy Research*, 27, pp. 771-779.
- Gregory, K., Moghtaderi, B., Sugo, H., & Page, A. (2008). Effect of thermal mass on the thermal performance of various Australian residential constructions systems. *Energy and Buildings*, 40, pp. 459-465.
- Orosa, J. A., & Oliveira, A. C. (2012). A field study on building inertia and its effects on indoor thermal environment. *Journal of Renewable Energy*, 37, pp. 89-96.
- Souza, H. A., Amparo, L. R., & Gomes, A. P. (Outubro de 2011). Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. *Ambiente Construído*, XI, pp. 113-118.
- Verbeke, S. (2010). Thermal Inertia for small scale residential building. In: IBPSA (Ed.), *Building Performance Simulation in a Changing Environment*. Viena.