



## **O EFEITO DA INÉRCIA TÉRMICA DE PAREDES NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES**

**Maria Akutsu (1); Adriana Camargo de Brito (1); Marcelo de Mello Aquilino (1); Adolfo dos Reis Filho (2); Wesley Santos da Silva (2)**

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

(2) Mestrado Profissional em Habitação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, adolfo.reis@paulistasul.org.br; wesley.silva@paulistasul.org.br

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta o resultado de estudos experimentais realizados com o objetivo de verificar a hipótese de que o uso de inércia térmica em edificações escolares na região metropolitana da cidade de São Paulo – SP, constitui uma importante estratégia de adequação climática da edificação durante todo o ano, e em que medida o aumento da massa das paredes contribui para o aumento da inércia térmica da edificação. Foram realizadas medições da temperatura do ar exterior e do ar interior, bem como de temperaturas superficiais internas e externas de paredes em três salas de aulas com mesmas dimensões, diferindo apenas na constituição das paredes: duas feitas com alvenaria de blocos vazados de concreto com 19 cm de espessura, e outra em alvenaria com os mesmos elementos, preenchidos com areia, de modo a aumentar a capacidade térmica da parede, que é um dos fatores determinantes da inércia térmica das edificações.

Palavras-chave: Inércia térmica, conforto térmico, desempenho térmico.

### **ABSTRACT**

This paper presents the results of studies conducted to verify the hypothesis that the use of thermal inertia in school buildings in the metropolitan region of São Paulo - SP, is an important strategy for climate suitability of the building throughout the year. Measurements were performed in the temperature of outside air and indoor air and surface temperatures of internal and external walls in three classrooms with the same size, differing only in the constitution of the walls, made with a masonry concrete hollow blocks with 19 cm thick, and other masonry with the same elements, filled with sand, in order to increase the thermal capacity of the wall.

Keywords: thermal inertia, thermal comfort, thermal performance.

### **1. INTRODUÇÃO**

A arquitetura tem como um de seus propósitos proporcionar condições térmicas adequadas ao conforto humano, sejam quais forem as condições ambientais exteriores. O conforto térmico depende das seguintes variáveis: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar; temperatura radiante média do ambiente; taxa metabólica e índice de resistência térmica da vestimenta dos ocupantes. Assim, uma vez definidas as características dos ocupantes e da edificação, pode-se adotar como parâmetro principal de análise, a temperatura do ar interior como um indicador do desempenho térmico de uma edificação. Da mesma forma, a temperatura do ar exterior é adotada como o parâmetro principal que caracteriza as condições de exposição da

edificação ao clima, pois é o resultado das características da umidade do ar, das movimentações das massas de ar e da radiação solar incidente no local (AKUTSU, 1998).

No contexto atual, diante das preocupações ambientais, a busca pelo conforto térmico do usuário deve necessariamente abordar os preceitos de sustentabilidade, o que implica evitar ou minimizar o uso de sistemas de ar condicionado. Para tanto, os projetos arquitetônicos devem considerar a interação entre a forma e as propriedades térmicas dos materiais, tendo em vista desenvolver uma edificação adequada ao clima do local. Neste sentido, o conceito de inércia térmica tem sido apresentado por vários autores como importante estratégia passiva de climatização de ambientes e no desenvolvimento de edifícios com melhor desempenho térmico (AKUTSU, M., BRITO, A. C., CHIEPPE, C. P., 2012; AKUTSU, M., TRIBESS, A., 2011; BRITO, A. C.,; DI PERNA, et al., 2011; VERBEKE, 2010; ASTE, N., ANGELOTTI, A., BUZZETTI, 2009; GREGORY, et al., 2008; AKUTSU, 1998), porém com poucos resultados experimentais, o que motivou a realização deste trabalho. É consenso também, nas publicações que tratam do conceito de inércia térmica, associar especialmente a alta capacidade térmica, dada pela alta quantidade de massa dos componentes, à alta inércia térmica da edificação, sem levar em conta, adequadamente, o valor associado da sua resistência térmica e/ou da transmitância térmica. Neste trabalho, esta questão também foi contemplada, apresentando-se os resultados obtidos com o aumento da massa de parede em alvenaria de blocos vazados de concreto pelo preenchimento dos vazios com areia, comparados com os de mesma parede sem areia.

Neste artigo são apresentados resultados experimentais de medições de temperatura realizadas em uma edificação escolar na região metropolitana da Cidade de São Paulo, que evidenciam a importância da característica de inércia térmica da edificação como estratégia de adequação climática a ser adotada em projetos de edificações “sustentáveis”. Além disso, mostra também, o efeito do aumento da massa para o caso específico de paredes em alvenaria de blocos vazados de concreto com função estrutural, com espessura de 19 cm, revestidas com argamassa em ambas as faces.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é verificar a hipótese de que o uso de inércia térmica em edificações escolares na região metropolitana da cidade de São Paulo – SP constitui uma importante estratégia de adequação climática da edificação durante todo o ano, e em que medida o aumento da massa das paredes contribui para o aumento da inércia térmica da edificação.

## **3. MÉTODO**

Foram realizadas medições de temperaturas do ar e temperaturas superficiais de paredes de salas de aula de uma edificação escolar de ensino fundamental e médio, situada no município de Embu, região metropolitana da cidade de São Paulo. Nos itens 3.1 a 3.4 são apresentados, respectivamente, detalhamentos das condições de exposição, das características da edificação, dos procedimentos para medição e análise dos resultados, além das características térmicas das paredes.

### **3.1. Condições de exposição**

O clima da região metropolitana de São Paulo apresenta condições onde no inverno é necessário “reter” calor no interior da edificação para evitar o desconforto pelo frio e no verão, minimizar a sobrecarga térmica para evitar o desconforto do aquecimento indesejado. Considerando-se a zona de conforto térmico humano com relação aos limites de temperatura do ar, geralmente entre 18° C e 26° C para ambientes condicionados, ou entre 12° C e 29° C em condições naturais (AKUTSU, 1998), observa-se que a mesma está contida dentro dos limites definidos pelos valores máximos da temperatura do ar no verão e pelos valores mínimos da temperatura do ar no inverno, nesta região. Isto indica que, para as condições climáticas da região metropolitana de São Paulo, quanto maior a inércia térmica da edificação, maior será a possibilidade de se garantir condições favoráveis de conforto térmico no seu interior.

### **3.2. Características das salas de aula e períodos de medição**

As paredes da edificação são compostas por blocos vazados de concreto com 19 cm de espessura, revestidos nas duas faces com 4 cm de argamassa comum, com pintura externa na cor branca. A cobertura é composta por laje com 24 cm de concreto tradicional sob telhado com telhas de fibrocimento com 6 mm de espessura. Para efeitos deste estudo, todas as paredes de uma das salas tiveram os blocos preenchidos com areia.

As medições foram feitas em dois períodos distintos, o primeiro buscando contemplar condições de verão, e o segundo, condições de inverno. A primeira série de medições foi realizada no mês de novembro de 2011, entre os dias 04 e 11. Os dados foram analisados tomando-se, para efeitos deste estudo, os dias 09 e 10, pois apenas estes dois dias sequenciais apresentaram comportamento semelhante, com amplitudes mais elevadas e valores máximos diários de aproximadamente 28 °C. Este valor corresponde a um dia de verão com frequência de ocorrência de 50% para o período de verão na cidade de São Paulo, por ser o valor médio das temperaturas máximas diárias do período de verão, conforme dados publicados pelo IPT (IPT, 1987).

A segunda série de medições foi feita entre os dias 26 e 30 do mês de Julho de 2012. Desta série, também se obteve apenas uma sequência de dois dias, 29 e 30, com comportamento semelhante, com valores mínimos diários de aproximadamente 16° C. Neste caso, este valor é superior ao de um dia de inverno com frequência de ocorrência de 50%, que é da ordem de 14° C, conforme dados apresentados na mesma publicação anteriormente citada. Contudo, as amplitudes diárias das temperaturas do ar destes dias correspondem exatamente ao valor médio das amplitudes diárias do período de inverno, que é da ordem de 12°C.

Dada a limitação do sistema de medição de temperaturas na fase inicial do trabalho, no primeiro período, as medições foram realizadas apenas em duas salas, e no segundo período, em mais uma sala, o que permitiu ampliar as possibilidades de comparações com relação à orientação das paredes.

Na Figura 1 tem-se a planta do pavimento térreo da edificação, com indicação das salas onde foram realizadas as medições: Salas 1 e 2, na primeira série de medições e Salas 1, 2 e 3, na segunda série. Pode-se observar que as Salas 1 e 3 apresentam janelas com mesma orientação – face Oeste, enquanto que a Sala 2 tem as janelas com orientação oposta – face Leste.

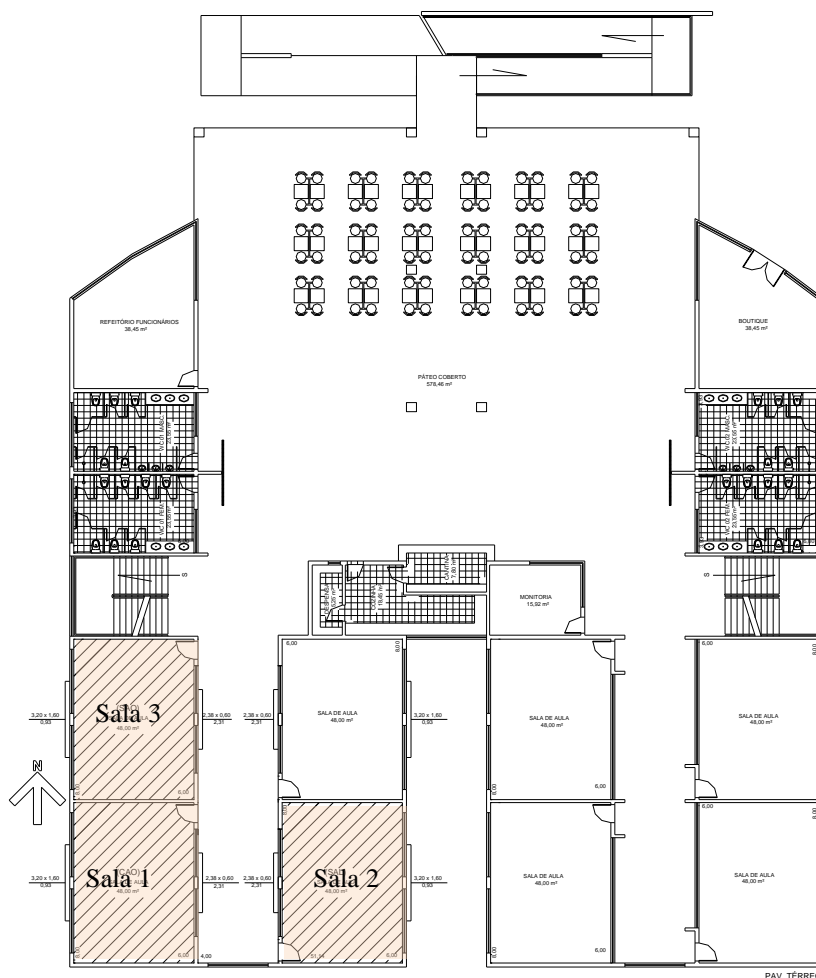


Figura 1 - Planta da escola, em destaque as salas objeto do estudo, sem escala.

Na Figura 2 é apresentada a execução das paredes da sala 1, em bloco de concreto, que teve suas câmaras preenchidas por areia com o propósito de aumentar a inércia térmica para comparação com paredes sem este preenchimento.



Figura 2 - Foto da execução da primeira fiada da alvenaria e o enchimento das câmaras dos blocos de concreto com areia

### 3.3. Procedimentos de medição e análise

Foram realizadas medições das temperaturas do ar exterior e das temperaturas do ar interior no centro de três salas de aula, com mesmas dimensões, diferindo apenas quanto à orientação das janelas e à constituição das paredes e das temperaturas superficiais, externa e interna, das paredes expostas ao ambiente exterior, em cada uma das salas consideradas, conforme indicado na Figura 3.

As medições foram realizadas com registro contínuo a cada 15 minutos, utilizando-se um sistema de aquisição de dados acoplado a termopares do tipo “T”.

#### 3.3.1 Análise da inércia térmica das salas de aula

A inércia térmica da edificação foi caracterizada pela relação entre o perfil diário de variação da temperatura do ar interior e do ar exterior: quanto maior a redução da amplitude de variação diária da temperatura do ar interior em relação à amplitude diária da temperatura do ar exterior, maior é a inércia térmica da edificação. Da mesma forma, a inércia térmica de uma parede foi caracterizada comparando-se o perfil de variação diária da temperatura superficial externa da parede com o perfil de variação diária da temperatura superficial interna, para uma dada condição de exposição ao clima e à ocupação.

Os resultados das medições propiciaram a comparação do efeito do aumento da massa das paredes na inércia térmica global das salas, como também na inércia térmica das paredes expostas. Neste caso, adicionalmente, pôde-se verificar a influência da orientação da fachada onde se encontram as janelas de cada sala.

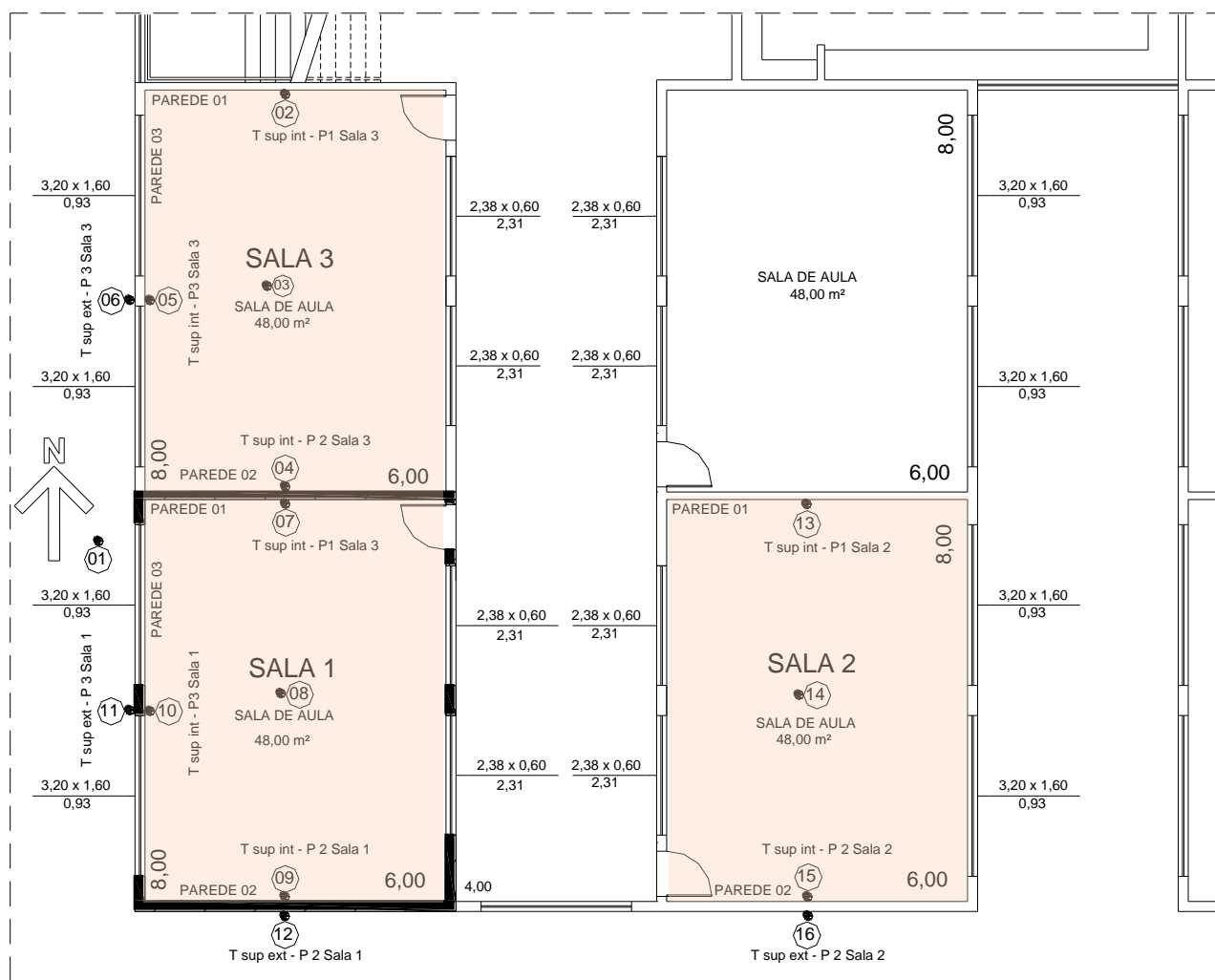


Figura 3 - Planta das salas objeto do estudo, em destaque, com indicação dos pontos de medição, sem escala.

### 3.4. Propriedades térmicas das paredes

Foram efetuados os cálculos dos valores da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes, conforme procedimentos apresentados na norma NBR 15220 (ABNT, 2005). Os resultados estão apresentados na Tabela 1. Os dados referentes às propriedades térmicas dos materiais, extraídos da mesma norma, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Transmitância térmica e capacidade térmica das paredes (ABNT, 2005)

Parede	Transmitância térmica ( $W/m^2.K$ )	Capacidade térmica ( $kJ/m^2.K$ )
Parede sem areia	2,4	248
Parede com areia	2,7	473

Tabela 2 – Características térmicas dos materiais utilizados (ABNT, 2005)

Material	Densidade de massa aparente ( $\rho$ ) ( $kg/m^3$ )	condutividade térmica ( $\lambda$ ) ( $W/(m.K)$ )	calor específico (c) ( $kJ/(kg.K)$ )
Concreto	2300	1,75	1
Argamassa	1950	1,15	1
Areia 20% umid.	1500	1,33	1

Cabe observar que as salas de aula contempladas nas medições representam uma edificação real, onde se buscou as melhores condições para comparação entre paredes em alvenaria de blocos vazados de concreto, com e sem o preenchimento com areia, ou seja, não se tem salas idênticas quanto a todas as condições de exposição das paredes e de orientação das janelas, como seria possível em protótipos especialmente construídos para esse fim. Assim, a Sala 1, a única com todas as paredes preenchidas com areia, difere da Sala 2 quanto à orientação das janelas e a Sala 3 difere da Sala 1 quanto à condição de exposição da parede face Sul: na Sala 1, a parede face Sul é exposta e na Sala 3, a parede face Sul é interna e adjacente à Sala 1, portanto, diferente das demais paredes, pois foi preenchida com areia por fazer parte da Sala 1. Observa-se ainda que as janelas da face Leste da Sala 2 são sombreadas pela edificação, no segundo período das medições, próximo do solstício de inverno, como indicado na Figura 1. No segundo período de medição, próximo do solstício de verão, somente parte da janela é sombreada pela edificação. Embora comparações diretas tenham sido impossibilitadas, estas condições foram devidamente consideradas nas análises.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados em forma de gráficos, ilustram os efeitos de inércia térmica global da sala, por meio das temperaturas do ar exterior e do ar interior das salas, ou de cada uma das paredes consideradas, por meio das temperaturas superficiais interna e externa das paredes.

##### 4.1. Inércia térmica das salas

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os perfis diários da temperatura do ar exterior e do ar interior das salas, nos dois dias consecutivos escolhidos para análise, referentes ao primeiro e ao segundo período de medições, respectivamente. No primeiro período foram contempladas apenas as Salas 1 e 2, e no segundo período, as Salas 1, 2 e 3.

Na Figura 4, que mostra os resultados em que as medições ocorreram no período de verão, com a janela face Leste sem sombreamento (Sala 2), verifica-se que a temperatura do ar interior da sala com areia nas paredes apresenta atenuações ligeiramente maiores, porém pouco significativas. Neste caso as orientações das janelas foram determinantes no perfil horário de variação diária das temperaturas do ar interior.

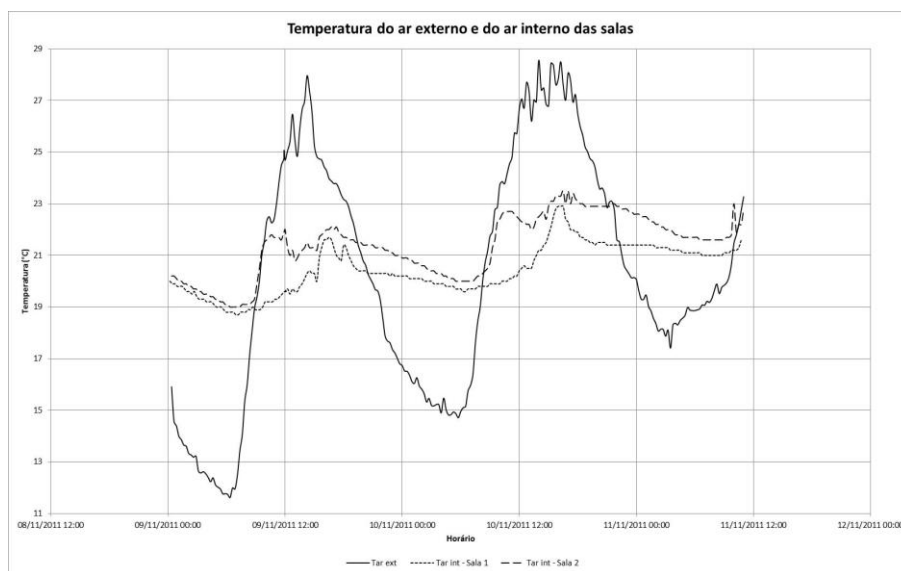


Figura 4: Temperatura do ar exterior e do ar interior da Sala 1, com areia, e da Sala 2, sem areia. (primeiro período)

Quanto aos resultados das medições no período de inverno, apresentados na Figura 5, em que as janelas da Sala 2 estavam sombreadas, observa-se uma diferença significativa nas temperaturas máximas diárias, desta sala em relação às demais, da ordem de 2°C. Neste caso, a ausência de radiação solar direta na janela da Sala 2, não permite uma comparação direta da inércia térmica das salas. As salas 1 e 3, ambas com janelas face Oeste, apresentaram perfis diários de temperatura praticamente iguais, demonstrando que o efeito da colocação de areia nas paredes da Sala 1, na inércia térmica do ambiente é pouco significativo.

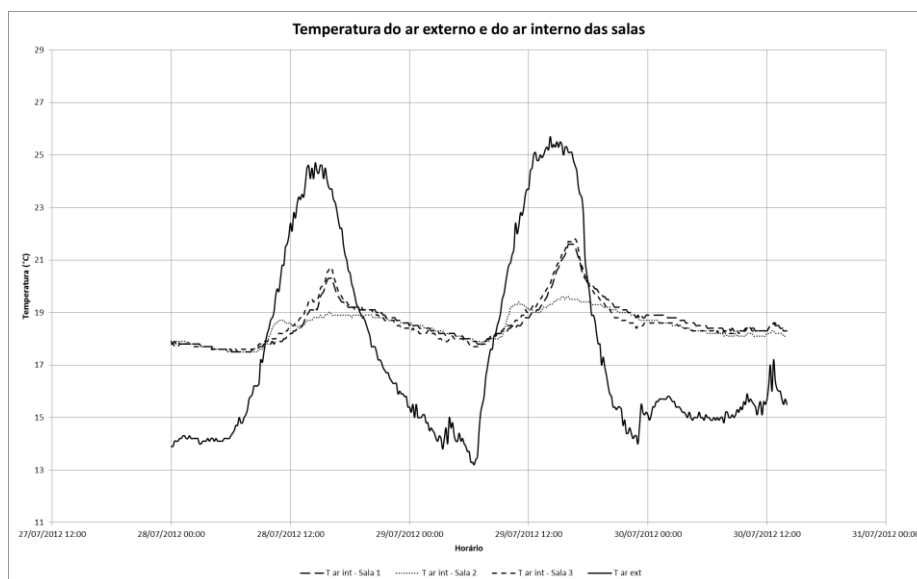


Figura 5: Temperatura do ar exterior e do ar interior da Sala 1, com areia, e das Salas 2 e 3, sem areia. (segundo período)

#### 4.2. Inércia térmica das paredes

Nas Figuras 6 e 7, são apresentados os gráficos com os perfis diários das temperaturas superficiais internas e externas das paredes face Sul das Salas 1 e 2, referentes ao primeiro e ao segundo período de medições, respectivamente. Na Figura 8, são apresentados os gráficos com os perfis diários das temperaturas superficiais internas e externas das paredes face Oeste, das Salas 1 e 3.

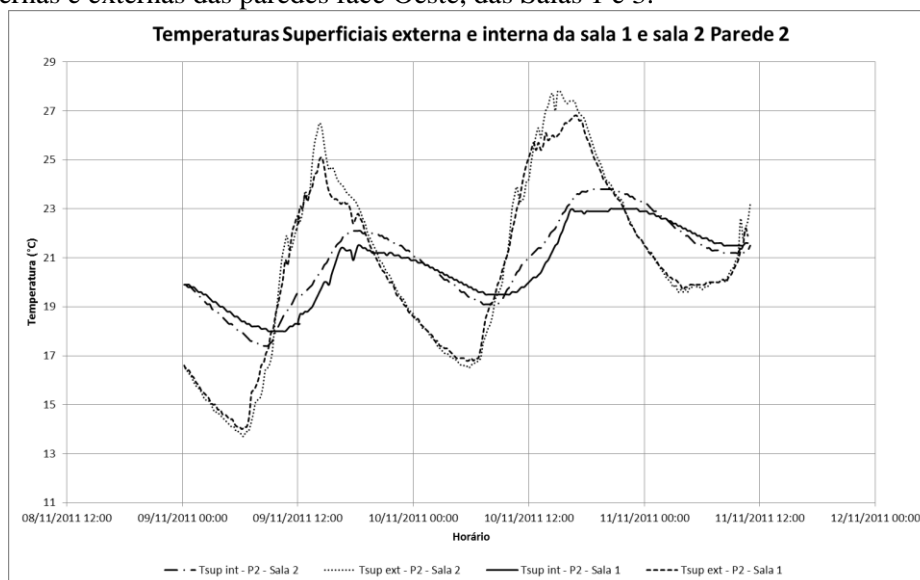


Figura 6: Temperaturas superficiais interna e externa das paredes face Sul, da Sala 1, com areia, e da Sala 2, sem areia, no primeiro período de medições.

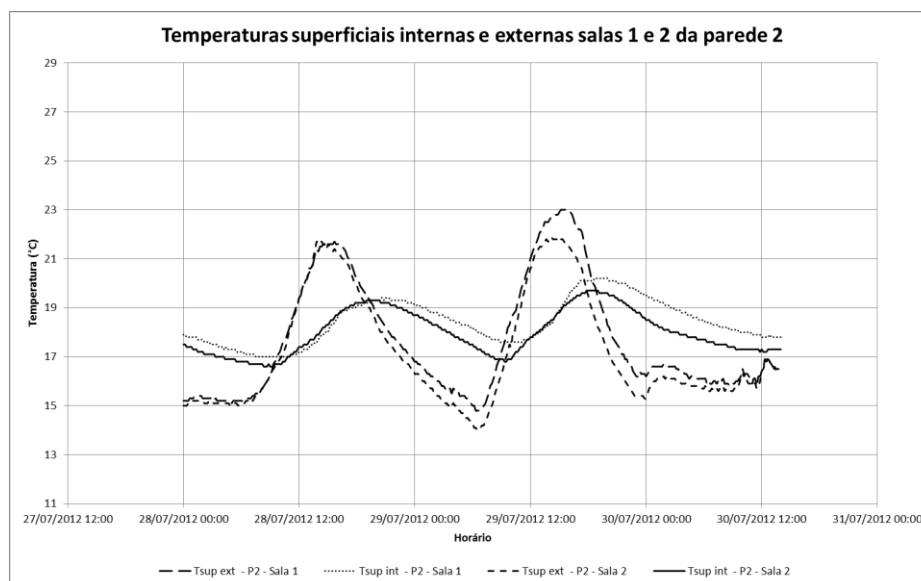


Figura 7: Temperaturas superficiais interna e externa das paredes face Sul, da Sala 1, com areia, e da Sala 2, sem areia, no segundo período de medições.

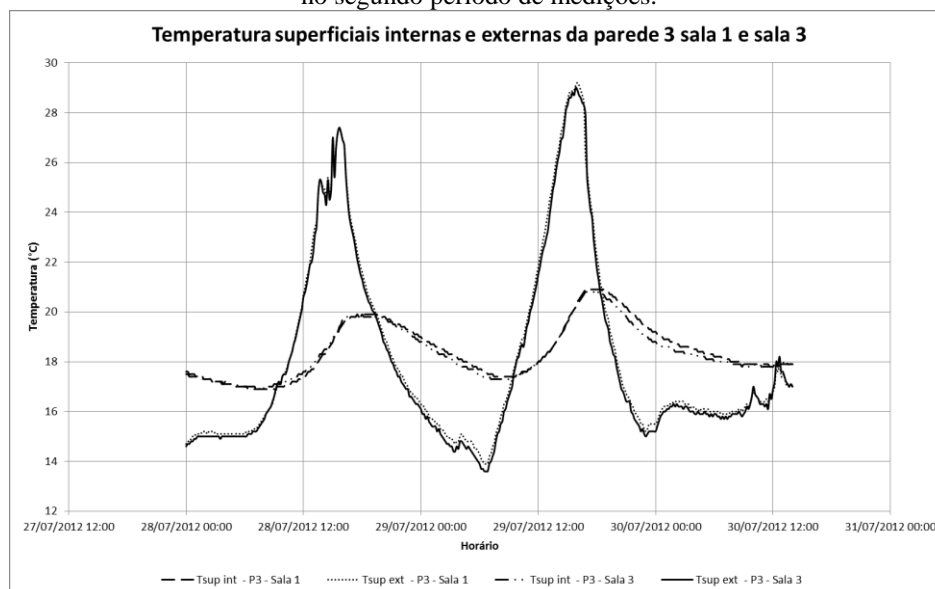


Figura 8: Temperaturas superficiais interna e externa das paredes face Oeste, da Sala 1, com areia, e da Sala 3, sem areia, no segundo período de medições.

Os perfis diários das temperaturas superficiais internas e externas das paredes com e sem areia, mostrados nos gráficos das Figuras 6 e 8 indicam que a colocação de areia nas paredes não produz atenuações significativas na variação diária das temperaturas superficiais internas das paredes em relação às temperaturas superficiais externas.

Na Figura 7, observa-se que, da mesma forma que verificado com relação à temperatura do ar, as temperaturas superficiais das paredes em questão são influenciadas pela orientação e condições de exposição da janela face leste da Sala 2 (janela não sombreada), também não permitindo uma comparação direta entre as paredes com e sem areia.

## 5. CONCLUSÃO

A edificação escolar com paredes em alvenaria de bloco de concreto vazado com 19 cm espessura, revestidas com 4 cm de argamassa em ambas as faces, com cobertura em laje de 25 cm de concreto e telhado



em telhas de fibrocimento apresenta inércia térmica adequada às condições climáticas do local, podendo ser considerada como de “alta” inércia térmica.

A variação na inércia térmica da sala, pelo preenchimento dos vazios dos blocos das paredes com areia, mostrou ser pouco significativa para esta edificação. Isso se deve provavelmente a dois fatores: o acréscimo de massa na parede que já apresenta alta inércia térmica, neste estudo de caso, foi pouco significativo; embora o aumento da massa da parede seja significativo com a colocação da areia, aumentando sua capacidade térmica, a substituição do espaço de ar pela areia acarretou uma diminuição na sua resistência térmica ou o aumento de sua transmitância térmica. Entretanto, esta questão deve ser melhor investigada em edificações sem as limitações encontradas neste estudo de caso, onde não se dispunha de ambientes com as mesmas condições de exposição que propiciariam uma comparação direta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220: **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- Akutsu, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. 150 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- Akutsu, M., Brito, A. C., Chieppe, C. P. (2012). **O efeito da capacidade térmica e da resistência térmica de paredes no desempenho térmico de habitação na cidade de São Paulo**. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora - MG.
- Aste, N.; Angelotti, A.; Buzzetti, M. **The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings**. Milano. 2009. 7 f. Dept. Building Environment Science & Technology, Politecnico di Milano,
- Brito, A. C., Akutsu, M.; Tribess, A. (2011). **Emprego do programa computacional EnergyPlus na análise de alternativas de projeto de habitação visando o conforto térmico do usuário**. Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. Ouro Preto.
- 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.
- 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.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais e escolares: Manual de Procedimentos para avaliação**. São Paulo. 1987.
- Verbeke, S. (2010). **Thermal Inertia for small scale residential building**. In: IBPSA (Ed.), Building Performance Simulation in a Changing Environment . Viena.