

## **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE AQUECIMENTO/RESFRIAMENTO DE UM PROTÓTIPO COM PAREDE TROMBE**

**Eimi V. Suzuki** <sup>(1)</sup>; **Eduardo L. Krüger** <sup>(2)</sup>; **Adalberto Matoski** <sup>(3)</sup>.

(1) Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR E-mail: veri.suzuki@gmail.com

(2) Prof. Dr., Departamento Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR E-mail: ekruger@utfpr.edu.br

(3) Prof. Dr., Departamento Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR E-mail: adalberto@utfpr.edu.br

### **Resumo**

*O sistema denominado Parede ou Muro Trombe se aproveita dos ganhos solares no período de inverno e do efeito estufa de uma área envidraçada colocada sobre a fachada, porém não em contato direto com esta, de modo a permitir o efeito termossifão, acumulando calor em uma parede de armazenamento, de grande massa térmica. A orientação solar e o ângulo vertical da parede devem proporcionar ganhos solares no período de inverno, minimizando a incidência solar no período de verão. O sistema pode ou não ser ventilado, sendo que a ventilação se dá através de quatro aberturas, duas voltadas para o exterior do sistema e duas para o ambiente interno. O funcionamento correto do sistema baseia-se, desta forma, nos princípios de acumulação de calor por ganho direto e de circulação do ar por efeito termossifão, sendo este último em alguns casos intensificado com o uso de ventilação forçada. Com o objetivo de analisar o potencial de aquecimento/resfriamento de um sistema Trombe, foram construídos dois protótipos em escala reduzida, com volume interno de 5.4 m<sup>3</sup>, sendo um deles composto por Parede Trombe naturalmente ventilada e o outro por alvenaria de blocos de concreto, sem o sistema passivo (padrão de referência adotado). As medições de temperatura interna nos protótipos ocorreram em períodos frios de 2011 e no período de verão de 2012, para configurações distintas. Os resultados mostraram que a Parede Trombe teve desempenho ligeiramente superior ao padrão de referência adotado, tanto para o inverno quanto para o verão, apontando ainda quais as melhores configurações de operação do sistema para cada caso.*

**Palavras-chave:** Parede Trombe; Desempenho Térmico; Monitoramento Térmico; Protótipos em escala reduzida.

### **Abstract**

*The Trombe wall system is based on the use of solar gains and the stack effect in winter, which takes place through a gap between the glazed façade and a heat absorbing wall with high thermal mass. The solar orientation of the wall and the vertical angle should allow solar incidence in winter while minimizing it in summer. The system can be naturally ventilated, by means of four strategically located openings, two of them in the glazing, towards outdoors, and two in the absorbing wall, towards the interior. The correct operation of the system is based on the principles of heat storage from direct gains and of natural ventilation by stack effect, which sometimes can be enhanced by forced convection. With the aim of analyzing the heating/cooling potential of a Trombe wall system, two test cells were built with internal volume of 5.4 m<sup>3</sup>, one of them with a naturally ventilated Trombe wall attached to it and another one without it (reference). Indoor temperature measurements were carried out in colder periods of 2011 and during the summer of 2012. Results suggested a slightly higher performance of the Trombe wall system relative to the reference, for winter as well as for summer conditions, recommending adequate operation configurations for each condition.*

**Keywords:** *Trombe Wall; Thermal Performance; Thermal Monitoring; Test Cells.*

## 1. INTRODUÇÃO

O setor residencial é o segundo maior responsável pelo consumo de energia elétrica no Brasil, com tendência crescente: entre os anos de 2002 a 2007, esse setor teve um crescimento no consumo de energia elétrica de 25%. O aumento do consumo de energia pode ser sinônimo de cenário econômico favorável e da melhoria da qualidade de vida, mas não é só isso. Esse aumento também tem reflexos negativos, como a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia, ou o impacto ambiental que esta produção de energia gera. Outro ponto negativo são os altos custos de construção de novas usinas hidrelétricas de energia elétrica (ANEEL, 2008).

Sendo assim, a substituição de aparelhos elétricos de climatização por sistemas solares passivos pode ser uma solução bastante conveniente para diminuir o gasto de eletricidade e melhorar o desempenho térmico de uma edificação (LOURENÇO, 2007). Uma das técnicas indicadas para o condicionamento térmico passivo de ambientes em locais com períodos definidos de inverno e verão baseia-se na utilização de “Paredes Trombe”.

O primeiro a apresentar o conceito de Parede Trombe foi o americano Edward S. Morse, que patenteou o invento em 1881 (MORSE, 1881). A ideia foi popularizada e repatenteada, em 1967, pelo francês Félix Trombe e pelo arquiteto Jacques Michel (BINGGELI, 2003).

Gan (1998) afirma que a Parede Trombe é um sistema de climatização passiva constituído de uma superfície exterior de vidro e uma parede interior pintada de preto com boa capacidade de armazenamento térmico e orientada para o Norte (hemisfério sul), esta parede é chamada de parede de armazenamento, e é o elemento que coleta e retém a energia solar. No inverno, essa energia acumulada é usada para aquecer o interior da edificação; no verão, a câmara de ar externa pode ser ventilada naturalmente de forma a amenizar os ganhos de calor. A superfície de vidro deve estar separada da parede de armazenamento por uma distância de 10 a 150 cm a fim de evitar os efeitos da condução de calor.

Segundo Mendonça (2005), há dois tipos de Parede Trombe:

- Parede Acumuladora ou Parede Trombe não ventilada;
- Parede Trombe ventilada.

A Parede Acumuladora ou Parede Trombe não ventilada, segundo Mitjá, citado por Mendonça (2005), não possui aberturas para a circulação de ar, como mostra a

Figura 1a. A Parede Acumuladora é menos eficiente que a Parede Trombe ventilada (

Figura 1b, (b) (c)

Figura 1c), pois a distribuição da temperatura no interior pode trazer o efeito de estratificação do ar.

No primeiro sistema, o Sol aquece diretamente a parede de armazenamento, após atravessar o vidro, e o calor entra para o interior da edificação somente por condução. A transferência de calor é lenta e geralmente a parede é aquecida durante o dia e dissipa o calor durante a noite. A Parede Trombe não ventilada é indicada para locais frios ou temperados e que possuam uma boa insolação (ROCHETA; FARINHA, 2007). Já a Parede Trombe ventilada funciona

de duas maneiras, a primeira é por meio do aquecimento direto da parede de armazenamento, semelhante à Parede Trombe não ventilada, e a segunda é por meio de um conjunto de aberturas inferiores e superiores, tanto na parede de acumulação quanto na área envidraçada, que causam o efeito de termossifão (MENDONÇA, 2005).

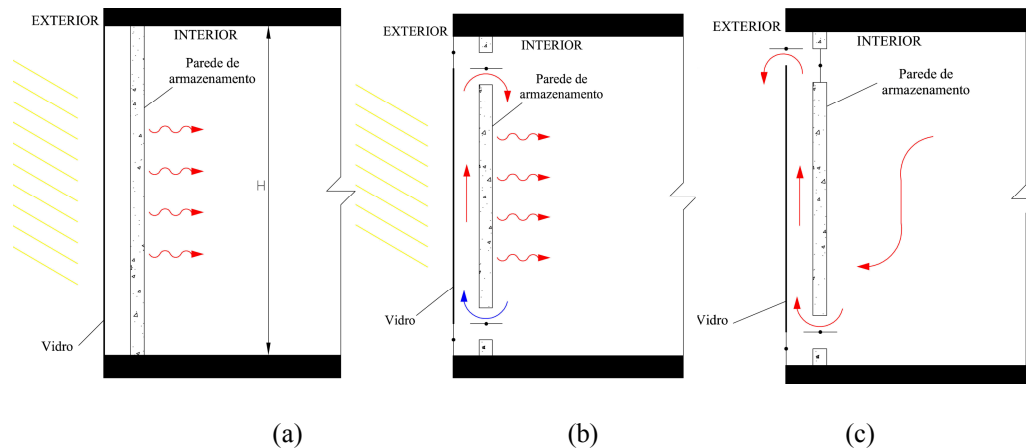


Figura 1– (a) Parede acumuladora ou Parede Trombe não ventilada; (b) Parede Trombe ventilada para situação de inverno; (c) Parede Trombe ventilada para situação de verão

Para aquecer o ambiente interno, Gan (1998) afirma que, durante o dia, as aberturas da parede de armazenamento devem estar abertas e, para evitar perdas, as aberturas da área envidraçada devem estar fechadas. Desta maneira, o ar interno frio sai pela abertura inferior e é aquecido pelo Sol, ascendendo por ser menos denso e retornando para o interior da edificação pela abertura superior, aquecendo o ambiente por convecção (Figura 1b). Quando não há mais incidência de radiação solar, à noite, deve-se fechar as aberturas da parede de armazenamento minimizando as perdas de calor.

O ambiente também é aquecido por condução. Neste caso, o aquecimento se dá da mesma maneira que na Parede Trombe não ventilada, por meio do aquecimento direto da parede de armazenamento (ROCHETA; FARINHA, 2007).

De acordo com Gan (1998), para o resfriamento do ambiente, as aberturas devem ser posicionadas de modo que a força de empuxo gerada pelo ar aquecido pelo Sol na chaminé, que é a área entre a parede de armazenamento e o vidro, extraia o ar do ambiente interno pela abertura inferior. O ar quente ascende, saindo para o exterior pela abertura superior, como mostra a Figura 1c. Ressalte-se que, como a inclinação dos raios solares que atingem a parede é menor para o período de verão (quase zenital, quando próximo ao trópico), a carga solar responsável pelo aquecimento direto da parede é grandemente reduzida nesse período do ano.

Nota-se que, embora se possa discutir a eficácia de sistemas como o apresentado (de ganho térmica via parede) relativamente a sistemas de ganho direto pela laje de cobertura (STASINOPOULOS, 2002), uma simples verificação da irradiância solar diária nos diversos planos de uma edificação com orientação de fachada norte para a latitude de Curitiba, onde se aplicou o sistema Trombe, mostra uma relação entre ganhos por superfície de exposição mais positiva para a fachada norte. Utilizando o software Luz do Sol (RORIZ, 2005), para a latitude local (25,5°S), a parede norte recebe no solstício de inverno uma irradiância solar diária de cerca de 9,5kWh/m<sup>2</sup>, enquanto a cobertura possui um total diário inferior a 8kWh/m<sup>2</sup>. Já para o período de verão, quando se pretende neutralizar o uso do sistema em termos de ganhos solares diretos, a proporção se inverte grandemente: cerca de 1kWh/m<sup>2</sup>/dia (parede norte) versus 15kWh/m<sup>2</sup>/dia (cobertura). Considerando esses totais diários, o funcionamento da parede foi imaginado como potencialmente adequado para a latitude local, sobretudo levando-

se em conta a ocorrência de um período de inverno, por vezes concentrado em poucos dias, em Curitiba. Obviamente, as características do sistema (parede cega voltada para a fachada norte) versus seus benefícios devem ser consideradas na decisão por adotar ou não o sistema.

Com o objetivo de analisar o potencial de aquecimento/resfriamento de um sistema Trombe, foram construídos dois protótipos em escala reduzida, com volume interno de 5.4 m<sup>3</sup>, sendo um deles composto por uma Parede Trombe naturalmente ventilada e o outro por alvenaria de blocos de concreto, sem o sistema passivo (padrão de referência adotado). A pesquisa foi o tema de uma dissertação de mestrado elaborada no Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (PPGEC/UTFPR).

## 2. METODOLOGIA

Esta parte do trabalho apresenta os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. As principais etapas realizadas foram:

- Construção dos protótipos;
- Medições de inverno;
- Medições de verão.

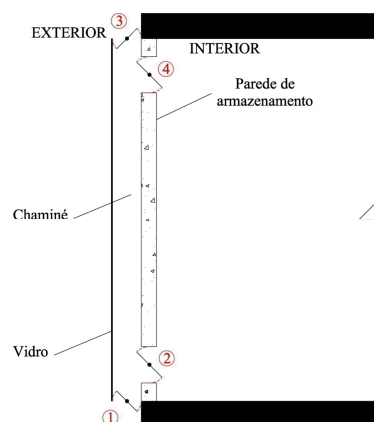


Figura 2 - Aberturas da Parede Trombe

Denominou-se a abertura inferior da esquadria da Parede Trombe "abertura 1"; a abertura inferior da parede de armazenamento "abertura 2"; a abertura superior da esquadria da Parede Trombe "abertura 3"; e a abertura superior da parede de armazenamento "abertura 4", como o indicado na Figura 2.

### 2.1. Construção dos protótipos

Para a comparação do desempenho de um sistema construtivo que utilize a Parede Trombe, foram feitas medições das condições térmicas internas em protótipo em escala reduzida, comparativamente a um protótipo de mesmas dimensões sem o sistema passivo, sendo ambos constituídos de blocos de concreto. Os dois protótipos foram construídos com as seguintes dimensões: 2,25m de altura, 1,80m de largura e 1,80m de comprimento, como mostram a Figura 4 e a Figura 3. Em um desses protótipos foi aplicada a Parede Trombe ventilada. Os dois protótipos estão separados um do outro por 1,53m, de forma a minimizar o sombreamento mútuo entre eles. Ambos os protótipos permaneceram vazios, fechados e sem geração de calor no ambiente interno durante o monitoramento.

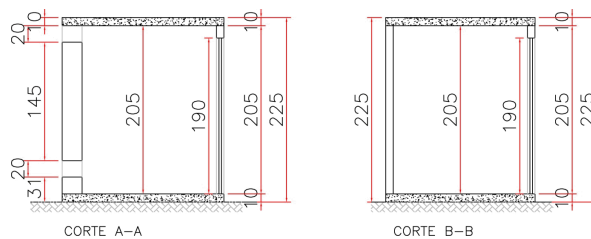


Figura 3 - Corte A-A, do protótipo 2 e Corte B-B, do protótipo 1

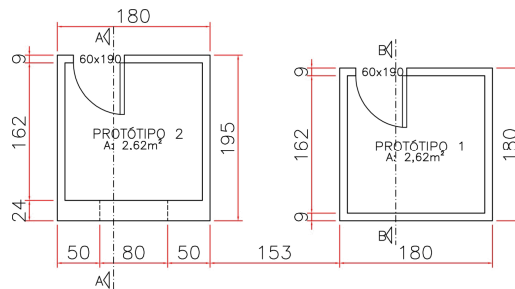


Figura 4 - Planta baixa dos protótipos

A localização dos protótipos foi feita no terreno da Universidade Tecnológica Federal do Paraná no campus Curitiba em Campo Comprido. Os dois protótipos possuem piso de concreto simples com espessura de 10 cm, de modo a minimizar a influência térmica do solo no interior das construções. A parede armazenadora (na qual foi colocado o sistema Parede Trombe) foi construída com dupla espessura, ou seja, duas fileiras de blocos de concreto separadas por argamassa comum, de traço 1:2:8. Os furos dos blocos de concreto foram preenchidos com argamassa, eliminando espaços de ar no interior da parede. Essas duas alterações, em relação às outras paredes, foram feitas para aumentar a massa térmica da parede caracterizando assim esta como uma parede de armazenamento. Na parede de armazenamento foram feitas duas aberturas, que ligam o interior do protótipo com a chaminé da Parede Trombe.

Os dois protótipos foram implantados com orientação para o Norte e possuem laje simples com forro interno de poliestireno de 5cm, de forma a minimizar a influência das trocas de calor pela laje nas medições. Para evitar perdas de calor, o vidro utilizado na Parede Trombe foi um vidro duplo com 17mm, sendo o vidro externo um vidro incolor comum de 4mm e o interno um vidro incolor comum de 5mm, a câmara de ar tem 8mm. A superfície exterior de vidro da Parede Trombe foi fixada por uma esquadria de alumínio pintada de branco. A face superior e inferior da esquadria pode ser aberta ou fechada, conforme a necessidade, por um elemento pivotante.

O protótipo em que foi instalada a Parede Trombe será denominado "protótipo 2" e o protótipo em que esta não foi aplicada será denominado "protótipo 1".

A Figura 5 mostra os dois protótipos depois de prontos.



Figura 5 - Protótipos Construídos

## 2.2. Medições de inverno

As medições de temperatura interna e externa nos dois protótipos foram realizadas simultaneamente. Para essas medições, utilizou-se o equipamento HOBO®. Os dataloggers foram colocados, internamente aos protótipos, no centro de cada um deles, a uma altura de 1,5m e programados com um intervalo de captação de dados de 5 minutos. Externamente, para as medições de inverno, utilizou-se o equipamento HOBO® protegido com alumínio, dentro de um tubo de PVC de 10cm de diâmetro e 50cm de comprimento.

As medições foram realizadas em 3 diferentes configurações:

1. As aberturas 1 e 3 fechadas e as aberturas 2 e 4 abertas. As medições ocorreram durante os dias de 24 a 29 de maio de 2011;
2. A abertura 3 fechada, e as aberturas 1, 2 e 4 abertas. As medições ocorreram durante os dias de 31 de maio de 2011 a 05 de junho de 2011;
3. As aberturas 1 e 3 sempre fechadas e as aberturas 2 e 4 abertas apenas no período entre as 08h00min até as 18h00min. As medições ocorreram durante os dias 19 a 24 de setembro de 2011.

## 2.3. Medições de verão

As medições de verão foram feitas de modo similar às medições de inverno, com a diferença de que o equipamento utilizado para a tomada de dados climáticos foi uma estação meteorológica HOBO, modelo H21-001, equipada com 3 sensores: um anemômetro de copo e pá de vento, um sensor de radiação solar (piranômetro de silício) e um sensor de temperatura e umidade do ar. Este equipamento foi instalado sobre uma laje, a aproximadamente 15m do solo, cerca de 25m do local onde estavam os protótipos.

As medições de verão foram realizadas em 4 diferentes configurações:

1. Todas as aberturas fechadas. As medições ocorreram durante os dias de 29 de dezembro de 2011 a 03 de janeiro de 2012;
2. As aberturas 1 e 4 fechadas, e as aberturas 2 e 3 abertas. As medições ocorreram durante os dias 05 a 10 de janeiro de 2012;
3. A abertura 2 fechada e as aberturas 1, 3 e 4 abertas. As medições ocorreram durante os dias 12 a 17 de janeiro de 2012;
4. As aberturas 2 e 4 fechadas, e as aberturas 1 e 3 abertas. As medições ocorreram durante os dias 19 a 30 de janeiro de 2012.

### 3. Resultados e discussões

Os resultados são apresentados como dados normalizados a partir das médias horárias no protótipo de referência em cada período (Gráficos), além da comparação direta com o protótipo 1 (alvenaria de blocos de concreto) sem a Parede Trombe (Tabelas). A normalização deu-se a partir do método descrito por Pearlmutter e Rosenfeld (2007). As diferenças horárias entre os dois protótipos foram multiplicadas pela razão entre a temperatura observada no protótipo 2 (referência) e a temperatura externa. Nesse processo, apenas dias de céu claro foram adotados. A intensidade de irradiância solar variou pouco entre os três dias: 610-590-770 W/m<sup>2</sup> (irradiância solar global solar registrada na estação automática do SIMEPAR/UFPR).

#### 3.1. Medições de inverno

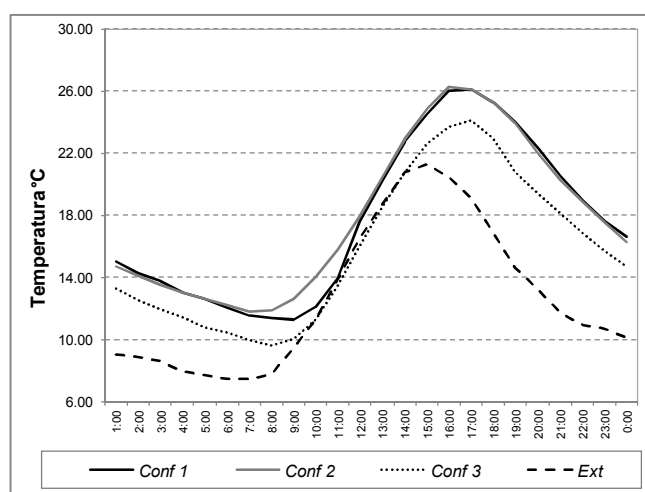


Figura 6 - Comparação entre as temperaturas de inverno das três configurações e as temperaturas externas médias dos três períodos (dados normalizados)

Na Figura 6, nota-se o comportamento bem diferenciado da configuração 3 em relação às demais. A configuração 2 apresenta maior inércia térmica durante o início do dia, aquecendo-se o interior mais lentamente que na configuração 1. Na Tabela 1 apresentam-se os resultados condensados para o dia de céu claro.

	Configuração 1			Configuração 2			Configuração 3		
	EXT	PR2	PR1	EXT	PR2	PR1	EXT	PR2	PR1
<i>Temp, mínima</i>	4,2	8,6	7,0	4,6	8,2	6,2	12,6	14,9	14,1
<i>Temp, máxima</i>	16,8	22,5	20,6	20,2	25,6	23,2	28,3	29,5	30,3
<i>Fator Decrem, (<math>\mu</math>)</i>	-	1,10	1,08	-	1,12	1,09	-	0,93	1,03
<i>Temp, média</i>	8,8	13,9	12,1	11,2	15,7	13,5	18,2	21,1	20,4
<i>Dif (PR2-PR1) média</i>		1,8			2,2			0,6	
<i>Dif (PR2-EXT) mín</i>		4,5			3,7			2,3	

Tabela 1 - Resumo dos dados dos três dias padrão do inverno

Na comparação relativa ao protótipo 1 (PR1), sem o sistema (Tabela 1), nota-se que a diferença da temperatura interna é levemente mais elevada para a configuração 2. O Fator Decremental ( $\mu$ ) (CRUZ et al., 2008), que representa a variação da amplitude interna relativamente à amplitude externa, porém, aponta a configuração 3 como a de menor

amplitude térmica interna. Para fins de obtenção de um ambiente interno com um diferencial em relação ao sistema construtivo tomado como referência (Protótipo 1), a configuração 2, embora signifique a entrada de ar frio no período noturno, apresentou maior valor relativo em termos da diferença entre temperaturas médias e mínimas internas.

### 3.2. Medições de verão

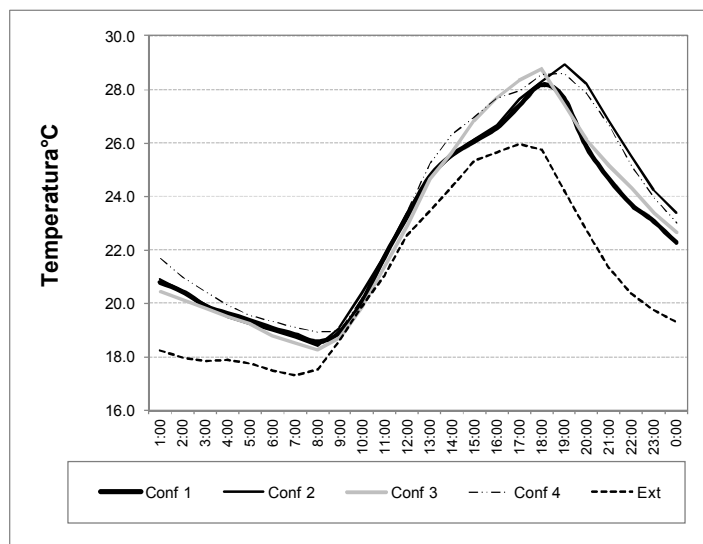


Figura 7 - Comparação entre as temperaturas de verão das três configurações e as temperaturas externas médias dos quatro períodos (dados normalizados)

Para o verão, os resultados (Figura 7) mostram que as configurações se sobrepõem. Duas delas apresentam maior inércia térmica (2 e 4). A configuração 1 parece apresentar-se como sendo a mais vantajosa.

Na Tabela 2, porém, a comparação com o protótipo de referência (Protótipo 1 ou PR1), verifica-se que a configuração 1 parece ser a mais vantajosa, uma vez que impede que as temperaturas média e máxima sejam tão altas como a do protótipo 1 para as condições de verão (diferença nas médias de 0,7°C e nas máximas de 3,4°C). Porém, nota-se que é na configuração 3 onde a diferença entre a temperatura interna do protótipo com o sistema Trombe (PR2) é negativa para a máxima diária, sendo que a diferença média é a menor de todas.

	Configuração 1			Configuração 2			Configuração 3			Configuração 4		
	EXT	PR2	PR1	EXT	PR2	PR1	EXT	PR2	PR1	EXT	PR2	PR1
<i>Temp, mínima</i>	16,3	18,5	17,8	16,6	18,0	17,5	18,0	19,0	18,7	17,6	18,7	17,6
<i>Temp, máxima</i>	27,1	29,5	32,9	24,9	27,7	29,4	27,8	27,3	29,8	25,6	29,8	31,7
<i>Fator Decrem, (<math>\mu</math>)</i>	-	1,00	1,40	-	1,08	1,33	-	0,82	1,08	-	1,26	1,62
<i>Temp, média</i>	20,7	23,5	24,2	20,2	22,4	22,5	21,1	22,1	22,6	21,7	24,1	24,1
<i>Dif (PR2-PR1) média</i>		-0,7			-0,1			-0,5			0,04	
<i>Dif (PR2-EXT) média</i>		2,8			2,2			1,0			2,4	
<i>Dif (PR2-EXT) máx</i>		2,4			2,8			-0,5			4,1	

Tabela 2 - Resumo dos dados dos quatro dias padrão do verão



#### 4. CONCLUSÕES

O estudo mostrou que a utilização da Parede Trombe pode ser uma alternativa viável para Curitiba a fim de melhorar o desempenho térmico de uma edificação. Quando comparado com o protótipo sem Parede Trombe, o protótipo com este sistema apresentou resultados vantajosos na maioria dos casos.

Para o inverno, a temperatura mínima chegou a ficar 4,5°C acima da temperatura externa. Durante a madrugada, que é o período mais frio do dia, a Parede Trombe mostrou melhor desempenho: a parede de armazenamento acumulou calor durante o dia e o liberou para o interior durante a madrugada. *As medições de inverno mostraram que a configuração das aberturas da Parede Trombe com a abertura 3 fechada e as aberturas 1, 2 e 4 abertas. Embora possa haver perda de calor no período noturno pela abertura inferior da moldura da chaminé, a circulação de ar pelo efeito chaminé é intensificada com a entrada de ar externo.*

Para o verão de Curitiba, o sistema passivo também mostrou bom resultado, servindo como medida de resfriamento passivo. Na comparação com o protótipo sem o sistema passivo, a Parede Trombe, quando operada de forma adequada, pode neutralizar o efeito observado no inverno, com desempenho superior ao do protótipo padrão de concreto. *Para o verão, a configuração das aberturas da Parede Trombe mais vantajosa foi com a abertura 2 fechada e as demais abertas, aproveitando o efeito termossifão e extraíndo calor por secção pela abertura superior da parede acumuladora.*

#### REFERÊNCIAS

- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**: 3. ed. Brasília, 2008. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=1689](http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689)>. Acesso em: 12 fev. 2012.
- BINGGELI, Corky. **Building systems for interior designers**. Canadá: John Wiley And Sons, 2003.
- CRUZ, Eduardo G.; KOVACH, Axa V. R.; MORALES, Gaudy C. B.; GALLARDO, Magalis; GÓMEZ, Rosalinda G.; LAURENS, Lesvia P.; BOHORQUEZ, Elisabeth T.; FLACÓN, Rafael. **Desempenho térmico de la VBP-1: temperaturas características, factor decremental y retraso térmico**. Maracaibo - Venezuela: Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño (IFAD), Universidad del Zulia, Núcleo Técnico de LUZ, 2008.
- GAN, Guohui; **A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings**. Energy and Buildings, 27(1): pp. 37-43, 1998.
- LOURENÇO, Sérgio R.; **Energia Solar na climatização passiva do ambiente construído** Exacta, São Paulo - SP, v. 5, n. 2, p.253-258, jul./dez. 2007.
- MENDONÇA, Paulo J. F. A. U.; **Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 2005.
- MORSE, Edward L.; **Warming and Ventilating Apartments by Sun's Rays**, U. S. Patent 246,626. 1881.
- PEARLMUTTER, David; ROSENFELD, Sigal; **Performance analysis of a simple roof cooling system with irrigated soil and two shading alternatives**. Energy and Buildings 40(5): pp. 855-864, 2008.
- ROCHETA, Vera; FARINHA, Fátima. **Práticas de Projecto e Construtivas para a Construção Sustentável**. Congresso de Construção 2007, Coimbra - Portugal, 17 a 19 dez. 2007.
- RORIZ, Maurício. **Software Luz do Sol: Radiação Solar e Iluminação Natural**. Versão 1.1. São Carlos/SP, 1995. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/luz-do-sol>> Acesso em: 31 jul. 2012.
- STASINOPOULOS, Thanos. **Sunny walls vs sunnier roofs: A study on the advantages of roofs for solar collection**. Environmental Management and Health, 13(4): pp. 339 – 347, 2002.