

PAREDE TROMBE ANÁLISE DO IMPACTO ESTÉTICO E TÉRMICO EM UM MODELO DE RESIDÊNCIA

Trombe Wall
Analysis of the Aesthetic and Thermal Impact in a Model of Residence

Camila MARIN¹
Joice Eloisa WILLE²
Roberta Mulazzani Doleys SOARES³

RESUMO

Este trabalho visa inserir a Parede Trombe em uma residência de cunho social, localizada na Zona Bioclimática Brasileira 2 (ZB 2), a fim de trabalhá-la esteticamente na edificação e também, compreender o impacto dessa estratégia no comportamento térmico do ambiente residencial. Para isso, realizou-se uma pesquisa bibliográfica para verificar os diferentes modelos de parede trombe, após dividiu-os em categorias. Foram propostos três modelos de composição de fachada na residência, tirando partido da parede trombe e visando inseri-la esteticamente na edificação. Definiu-se um dos modelos para efetuar a avaliação do impacto da estratégia no comportamento térmico da sala de estar. Com no método de simulação do RTQ-R (INMETRO, 2012), utilizou-se o programa computacional EnergyPlus versão 8.3.0 para as simulações termoenergéticas e para a modelagem da edificação, o Sketchup 15 Make com auxílio do plugin Legacy OpenStudio, a fim de obter dados de graus-hora de resfriamento e consumo de energia do ambiente avaliado, sem a parede trombe e com a presença do sistema. O estudo permitiu a compreensão do efeito da parede trombe em dois fatores primordiais, a questão estética e térmica, a primeira é desmistificada, mediante apresentação de diversas soluções agregadas ao projeto que contribuíram visualmente à composição arquitetônica. Quanto a questão térmica, foi revelada a importância da parede trombe ser ventilada no verão para a retirada do calor, amenizando em mais de 50% o desconforto por frio na sala e, mesmo diante do aumento no consumo para refrigerar o ambiente, reduziu-se em aproximadamente 20% o consumo total da residência.

Palavras-chave: parede trombe, estética, comportamento térmico.

ABSTRACT

This work aims to insert the Trombe Wall in a social residence, located in the Brazilian Bioclimatic Zone 2 (ZB 2), in order to work it aesthetically in the building and also, to understand the impact of this strategy on the thermal behavior of the residential environment. For this, a bibliographical research was carried out to verify the different models of thrombus wall, after dividing them into categories. Three models of façade composition were proposed in the residence, taking advantage

¹ Acadêmica do Curso de Arquitetura e Urbanismo, URI Campus Santo Ângelo; camyla_marin@hotmail.com

² Acadêmica do Curso de Arquitetura e Urbanismo, URI Campus Santo Ângelo; joice.wille@yahoo.com

³ M^a. Engenharia Civil e Preservação Ambiental, UFSM; Prof^a do Curso de Arquitetura e Urbanismo, URI Campus Santo Ângelo; robertadoleys@san.uri.br

of the trombe wall and aiming to insert it aesthetically in the building. One of the models was defined to carry out the evaluation of the impact of the strategy on the thermal behavior of the living room. In the RTQ-R simulation method (INMETRO, 2012), the EnergyPlus software version 8.3.0 was used for the thermoenergetic simulations and for the modeling of the building, Sketchup 15 Make with the help of the Legacy OpenStudio plug-in, in order to obtain degree-hour data of cooling and energy consumption of the evaluated environment, without the trombe wall and with the presence of the system. The study allowed the understanding of the trombe wall effect in two primordial factors, the aesthetic and thermal issues, the first one is demystified, through the presentation of several solutions added to the project that contributed visually to the architectural composition. Regarding the thermal issue, it was revealed the importance of the trombe wall being ventilated in the summer for the removal of heat, reducing the cold discomfort in the room by more than 50%, and even with the increase in consumption to cool the environment, it was reduced in approximately 20% of total residence consumption.

Key words: wall trombe, sustainable strategy, thermal behavior.

INTRODUÇÃO

Ao compreender a importância da adequação da arquitetura ao meio, em conjunto com o avanço da tecnologia, materiais e técnicas, constata-se ainda um retrocesso na construção civil, pois observa-se que boa parte das edificações são concebidas seguindo o princípio de construir mais com o menor custo possível, o que resulta, na maioria das vezes, em edificações ineficientes e desconfortáveis.

Com base no ano de 2016, o Balanço Energético Nacional (BEN, 2017) revelou que as demandas de energia elétrica mais expressivas são no setor industrial que corresponde a 31,5%, 21,4% no residencial e 14,4% no setor comercial. Ao comparar o ano de 2017 com o anterior, verificou-se um crescimento de 0,7% no consumo de energia (EPE, 2017). Sendo assim, verifica-se que as estratégias passivas de condicionamento térmico e a escolha adequada dos fechamentos que compõe a edificação, são alternativas para auxiliar na diminuição do consumo de energia e obtenção de desempenho térmico favorável.

Muitas inovações benéficas para a construção encontram dificuldades para inserirem-se no mercado por conta de questões culturais e econômicas, mas isso não é apenas característico do que é novo, pois verifica-se que antigas estratégias de projeto deixaram de ser utilizadas pelas imposições estéticas à arquitetura.

Nesse contexto, destaca-se a Parede Trombe, cujo sistema foi desenvolvido na França no ano de 1967 pelo engenheiro Félix Trombe e pelo arquiteto Jacques Michel (CAVALCANTI, 2013). Sumariamente, trata-se de uma estratégia de aquecimento solar passivo, constituído de uma superfície envidraçada no exterior e uma parede de alta inércia térmica, pintada de cor escura. Esse sistema, orientado à Norte (hemisfério Sul), é aplicado em localidades com inverno rigoroso, por possuir uma boa capacidade de armazenamento térmico.

No inverno a energia acumulada é utilizada para aquecer o interior do ambiente; já no verão, a câmara de ar externa pode ser ventilada naturalmente, amenizando os ganhos térmicos, pois a superfície envidraçada deve sempre estar separada da parede de armazenamento a uma distância entre 10 a 15 cm, evitando os efeitos de condução (SUZUKI, *et. al.*, 2012).

Dessa forma, o presente trabalho visa inserir a Parede Trombe em uma residência de cunho social, localizada na Zona Bioclimática Brasileira 2 (ZB 2), a fim de trabalhá-la esteticamente na edificação e também almeja-se compreender o real impacto dessa estratégia no comportamento

térmico do ambiente residencial.

REFERENCIAL TEÓRICO

Parede Trombe

Desde a antiguidade as paredes espessas, de adobe ou de pedra são utilizadas para armazenamento de calor durante o dia, liberando-o lentamente à noite, aquecendo o edifício. Segundo De Sá (2011) esta técnica pode ser melhorada com a inserção do sistema trombe.

O conceito de Parede Trombe foi patenteado em 1881 pelo americano Edward Morse. Porém, somente em 1957 foi desenvolvido e popularizado na França por Félix Trombe e Jacques Michel. Em 1967 construíram em Odeillo (França) a primeira casa que possuía o sistema integrado a fachada (Figura 1).



Figura 1 - Vista da casa

Fonte: De Sá (2011)

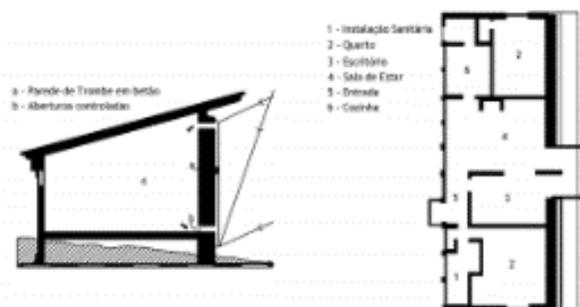


Figura 2 – Corte e planta baixa

Fonte: De Sá (2011)

Observa-se por meio da Figura 2 que a casa solar conta com uma parede acumuladora composta de concreto e com 60 cm de espessura. Neste caso, o sistema é orientado a Sul (hemisfério Norte) a fim de obter maior eficiência do sistema.

Funcionamento da Parede Trombe

Segundo De Sá (2011) o princípio de funcionamento da Parede Trombe está baseado em fenômenos de transferência de calor, envolvendo radiação e convecção, devido a existência da camada de ar. A radiação é absorvida e cedida pelo elemento acumulador para o interior do ambiente

A transferência de calor também pode ser por meio da convecção, isso será possível quando se insere aberturas no topo e na base da parede. A energia que incide na mesma é transferida ao interior, e esta é garantida pelas aberturas presentes na parede acumuladora (SUZUKI, *et al.*, 2012). Porém, nesta condição é considerado um sistema solar passivo de aquecimento, demandando cuidados com o sobreaquecimento no período de verão.

Quando se pretende instalar a Parede Trombe em uma edificação, é importante que o seu dimensionamento seja feito na etapa de projeto, pois a parede acumuladora deve ter maior espessura, garantindo a alta inércia térmica do material, uma vez que a parede influencia diretamente na capacidade de armazenamento térmico e de devolução de calor.

Materiais como o concreto e o tijolo maciço são indicados para compor a parede, justamente

por terem uma alta capacidade de armazenamento de calor. Além disso, deve-se considerar a quantidade de ar quente que se pretende armazenar para o dimensionamento do vão existente entre o vidro e a parede acumuladora.

Deste modo, também é preciso avaliar a condutibilidade do vidro que irá ser aplicado e a inserção de dispositivos de sombreamento e de ventilação, de forma a reduzir os ganhos térmicos no período do verão.

Estudo do Aplicativo TromBR

Cavalcanti (2013) apresenta como parte do desenvolvimento da sua tese de doutorado, um aplicativo com interface didática e de fácil compreensão, disponível para dispositivos móveis com sistema operacional Android.

No aplicativo são apresentadas as principais recomendações de projeto para a parede trombe em cidades brasileiras. O autor utiliza as linguagens HTML5, Javascript e CSS, para desenvolver o aplicativo intitulado TromBR.

Ao designar o modelo de parede trombe ideal para cada localização no país, realizaram-se simulações em cidades inseridas em diferentes zonas bioclimáticas. Simulou-se Curitiba - PR, Santa Maria - RS, Florianópolis - SC, São Carlos - SP, Garanhuns - PE, Campo Grande - MS, Cuiabá - MT e Belém - PA.

Apresentam-se três situações básicas nas recomendações de uso do sistema, a primeira proporciona aquecimento nos períodos frios, dessa forma, as duas aberturas (superior e inferior) permitem a circulação do ar no ambiente desejado, porém, neste sistema não há a renovação do ar interno, este modelo é considerado pelo autor do dispositivo, como fechado (FECH). A segunda situação é a que promove ventilação natural no ambiente, a face de vidro possui uma abertura para a saída do ar, este modelo é chamado de ventilado (natural-VENT). Na terceira opção, sem aberturas na face envidraçada, são as aberturas do ambiente que permitem a circulação do ar, promovendo o aquecimento, este tipo é definido como aquecido (AQUEC).

METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi dividida em quatro etapas: levantamento dos modelos de parede trombe, análise estética dos modelos desenvolvidos, apresentação da edificação objeto de estudo e análise térmica de um padrão de parede trombe.

Levantamento de Diferentes Modelos de Parede Trombe

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica para verificar os diferentes modelos de parede trombe, após dividiu-os em categorias conforme as características analisadas.

Análise Estética

A partir do estudo dos diferentes modelos de parede trombe, foram propostos três modelos de composição de fachada na residência objeto de estudo, tirando partido da parede Trombe e visando inseri-la esteticamente na edificação.

Para isso, utilizou-se o programa *Sketchup Make* versão 2017, descrevendo os elementos trabalhados.

Apresentação da Edificação Objeto de Estudo

A edificação objeto de estudo trata-se de uma residência térrea, com área de 67,84m², composta de sala de estar, cozinha, dois dormitórios, um banheiro e área de serviço. A parede trombe encontra-se na sala de estar, posicionada à norte (Figura 3).

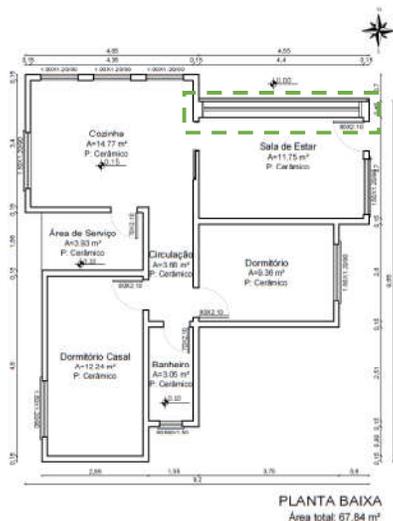


Figura 3 - Planta baixa e vistas da edificação

Fonte: Autoras.

Na Tabela 1 são apresentados os materiais que compõem a residência e suas propriedades termofísicas. Optaram-se por materiais costumeiramente usados na construção civil, além de serem fechamentos que atendem as diretrizes da NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013) para a ZB 2.

Tabela 1- Materiais componentes da residência e suas características térmicas.

Componentes da edificação	Materiais utilizados		Características Térmicas		
	Composição dos materiais	Espessura total (cm)	Transmitância Térmica (W/m ² .K)	Capacidade Térmica (kJ/m ² .K)	Absortância Solar
Paredes externas e internas	Bloco cerâmico (9x19x 29 cm), argamassa interna e externa (2,5 cm)	15	*2,43	*152,00	**0,33 (Pérola)
Cobertura	Telha de fibrocimento 8mm e forro de PVC 10mm	Variável	*1,76	*16,00	**0,158 (Branco)
Janelas	Vidro simples	0,4	5,75	-	-
Portas	Madeira maciça	4	2,70	-	-

* As paredes atendem as especificações (ZB 2) da NBR 15575 (ABNT, 2013), pois a $U \leq 2,5$ (W/m².K) e $CT \geq 130$ (kJ/m².K) e a NBR 15220 (ABNT,2005), com $U \leq 3,0$ (W/m².K). A cobertura atende as especificações (ZB 2) da NBR 15575 (ABNT, 2013), pois a $U \leq 2,3$ (W/m².K) e da NBR 15220 (ABNT, 2005), com $U \leq 2,0$ (W/m².K).

** Valores obtidos de Dornelles (2008).

Análise Térmica de um Modelo de Parede Trombe

Após a realização das três propostas de parede trombe, definiu-se um dos modelos para efetuar a avaliação do impacto da estratégia no comportamento térmico da sala de estar.

Com base nas especificações do método de simulação do RTQ-R (INMETRO, 2012), utilizou-se o programa computacional EnergyPlus versão 8.3.0 para as simulações termonérgicas e para a modelagem da edificação, o *Sketchup 15 Make* com auxílio do *plugin Legacy OpenStudio*

Consideraram-se os dados climáticos da cidade de Santa Maria-RS (representativa da ZB2), concebidos pelo *Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)*, obtidos em um projeto juntamente com o INPE e LABSOLAR/UFSC, financiado pelo Programa Ambiental das Nações Unidas, que disponibilizou arquivos climáticos TMY para 20 cidades brasileiras.

Definiu-se a temperatura do solo por meio do programa computacional Slab, que é um programa auxiliar do *software* EnergyPlus, para o cálculo da temperatura média mensal do solo, baseando-se nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação para o clima simulado.

Neste trabalho, a edificação objeto de estudo foi analisada utilizando o padrão de uso da ventilação natural com controle automático por temperatura, para a obtenção da T_o (temperatura operativa) aplicada no cálculo de GHR (graus hora de resfriamento), ou seja, a janela abre quando a temperatura do ar do ambiente (T_{int}) é igual ou superior à temperatura do termostato ($T_{int} \geq T_{termostato}$), e também quando a temperatura do ar do ambiente é superior à temperatura externa ($T_{int} \geq T_{ext}$), a temperatura de *setpoint* é de 20°C.

Para a determinação dos dados de consumo, considerou-se a climatização artificial das 21h às 8h e o restante do período com ventilação natural. A temperatura do termostato de refrigeração é de 24°C e de aquecimento é de 22°C (INMETRO, 2012).

A climatização foi configurada apenas para a sala de estar, ambiente com a presença da parede trombe, mediante o objeto HVACTemplate:Zone:PTHP. A ventilação natural do sistema foi configurada pelo objeto *AirflowNetwork*.

Para a simulação da parede trombe inseriu-se um algoritmo de convecção, devido a geometria não convencional (Figura 4). A parede foi dimensionada de acordo com os resultados gerados pelo aplicativo TromBR.

Field	Units	Obj7	Obj8
Name		sala	trombe
Direction of Relative North	deg	0	0
X Origin	m	0	0
Y Origin	m	0	0
Z Origin	m	0	0
Type		1	1
Multiplier		1	1
Ceiling Height	m	autocalculate	autocalculate
Volume	m3	autocalculate	autocalculate
Floor Area	m2	autocalculate	autocalculate
Zone Inside Convection Algorithm		AdaptiveConvector	TrombeWall
Zone Outside Convection Algorithm			
Part of Total Floor Area			

Figura 4 - Algoritmo para simulação da parede trombe no *EnergyPlus*.

Fonte: Adaptado do *software* EnergyPlus.

Avaliação do Impacto da Parede Trombe no Ambiente

O critério de avaliação do sistema foi baseado nos graus-hora de resfriamento (GHR) e aquecimento (GHA). De acordo com o INMETRO (2012), o graus-hora é indicador de desempenho térmico da envoltória da edificação naturalmente ventilada, para isso utiliza-se uma temperatura base, sendo independente de temperaturas de conforto e consistindo em uma temperatura de

referência para comparações.

Essa relação é dada pelo somatório da diferença de temperatura operativa horária (T_o), quando esta se encontra superior à temperatura de base para resfriamento ou inferior para aquecimento.

O indicador representa o somatório anual de graus-hora, calculado para a temperatura de base de 26°C para resfriamento (GHR) e 18°C para aquecimento (GHA), realizado mediante as Equações 1 e 2.

$$\text{GHR} = \Sigma(T_o - 26^{\circ}\text{C}) \quad (1)$$

$$\text{GHA} = \Sigma(T_o - 18^{\circ}\text{C}) \quad (2)$$

O regulamento estabelece condições para GHR para que se determine o nível de eficiência energética.

Para o cálculo do consumo de energia para aquecimento e refrigeração, considerou-se o consumo relativo anual para aquecimento (C_A) e consumo relativo anual para refrigeração (C_R) obtidos na simulação computacional.

Na primeira simulação foram obtidos os resultados de GHR , C_A , C_R do ambiente avaliado sem a parede trombe e, na segunda simulação com a presença do sistema, esta última considerando para a condição de inverno, as esquadrias da parede abertas e as do fechamento transparente fechadas. Para a condição de verão, abertura inferior da parede e abertura do fechamento transparente abertas para a retirada do calor do ambiente.

Em seguida, foi analisado o consumo energético da edificação, com a inserção do aparelho climatizador de ar no ambiente avaliado, enquadrando-o na classificação energética do RTQ-R, que estipula níveis de energia de A a E, para o consumo de energia.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após o levantamento dos diferentes modelos de parede trombe, dividiram-nas em cinco categorias, conforme as características.

Categoria 01 – Sobreposição de Paineis



Figura 5- Parede trombe com painéis

Observa-se a sobreposição de painéis no fechamento transparente, alterando o tipo de material, forma e cor. Estas soluções proporcionam controle da radiação solar incidente no vidro, além de ocasionar movimento e dinamismo a fachada (Figura 5).

Categoria 02 – Exposição da Parede Acumuladora



Figura 6- Parede acumuladora totalmente exposta

Verifica-se pela Figura 6 que a parede acumuladora se revela completamente para o meio exterior, não há a presença de elementos de sombreamento, é modificado apenas o tipo de material que constitui a parede e/ou a cor. A cor escura promove intensa absorção da radiação incidente.

Categoria 03 – Vidro com Película



Figura 7- Vidro da parede trombe com película

Constata-se que a película existente na superfície envidraçada oculta a parede acumuladora, tornando-a imperceptível. Destaca-se que o tipo de vidro influencia diretamente no funcionamento do sistema (Figura 7).

Categoria 04 – Modulada



Figura 8- Superfícies moduladas

A Figura 8 apresenta aberturas seguindo o mesmo padrão, ocasionando ritmo regular de janelas na fachada, ou seja, o vidro da parede trombe encontra-se segmentado, remetendo a uma composição ordenada de aberturas em um plano, esta categoria também torna a parede acumuladora imperceptível externamente.

Categoria 05 – Vegetação



Figura 9- Parede trombe com inserção de vegetação

Verifica-se por meio da Figura 9 que o uso da vegetação resulta em uma solução estética interessante, ainda mais se forem inseridas espécies caducifólias, pois o visual do fechamento será modificado conforme o período do ano. No verão as folhas surgem protegendo o vidro e no inverno as folhas caem permitindo a entrada da radiação solar através do fechamento transparente, ou seja, além do embelezamento ocasionado pelas espécies, essa proposta se torna uma estratégia satisfatória para as condições dos diferentes períodos.

Modelos de Parede Trombe Aplicados

A partir do levantamento realizado e da elaboração das cinco categorias, foram desenvolvidos três modelos de parede trombe (Figura 10 a 12).

Parede Trombe com Pannel Único de Vidro

A Figura 10 mostra uma tipologia padrão de parede trombe, este modelo compreende de forma simplificada a área envidraçada e a existência de aberturas tanto na parede acumuladora quanto no fechamento transparente, flexibilizando o sistema.



Figura 10 – Vista frontal e Vista isométrica

Fonte: Autoras

Parede Trombe com Uso de Vegetação

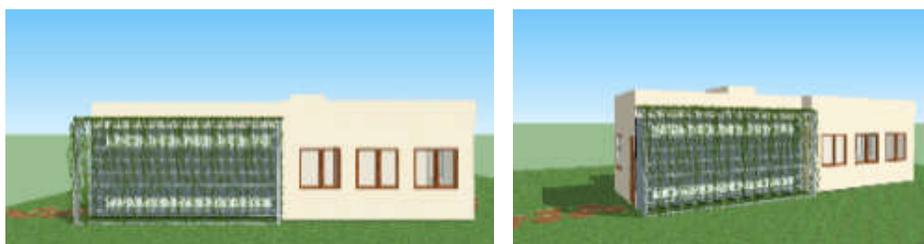


Figura 11 – Vista frontal e Vista isométrica
Fonte: Autoras

No modelo apresentado na Figura 11 optou-se pelo uso de vegetação caducifólia, inserida em uma estrutura que sobrepõe o fechamento transparente, permitindo a fixação da espécie ao longo da superfície. Essa estratégia proporciona proteção ao vidro no verão, e no inverno à medida que as folhas caem, permite o aquecimento do sistema, deste modo, alia-se estética e funcionalidade.

Parede Trombe Modular



Figura 12 – Vista frontal e Vista isométrica
Fonte: Autoras

Nesta proposta (Figura 12), as superfícies envidraçadas foram divididas em quatro módulos, proporcionando ritmo e ordem na composição da fachada.

Análise Térmica de um Modelo de Parede Trombe

Definiu-se o primeiro modelo para a realização da análise térmica, dessa forma, a Figura 13 ilustra o detalhamento do sistema, locado na sala de estar.

A Figura 14 apresenta a edificação objeto de estudo no programa computacional *Sketchup Make*.

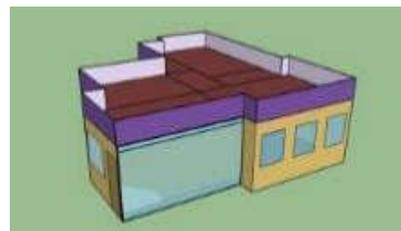
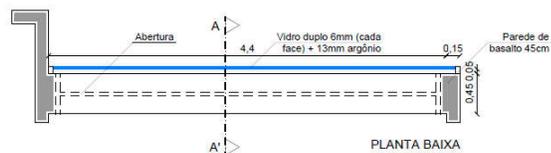
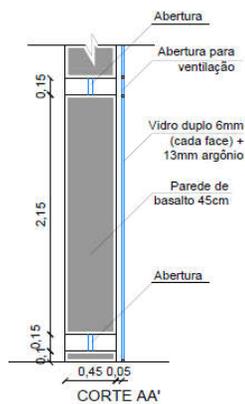


Figura 13- Detalhe da parede trombe.
Fonte: Autoras.

Figura 14- Vista isométrica da residência no *Sketchup*.
Fonte: Autoras.

A Figura 15 ilustra os resultados provenientes do aplicativo TromBR. Com base na latitude e clima de Santo Ângelo-RS, obteve-se que a parede trombe ideal deve ter 45cm de espessura, conter fechamento com vidro duplo (100% da área de fachada) afastado 5cm da parede, e suas

aberturas devem compreender 3% da área total de parede, configurando-a ventilada para o verão e fechada para o inverno. Na Tabela 2 são apresentadas as características da parede trombe.



Figura 15 - Parede trombe ideal.
Fonte: Cavalcanti (2013).

Material	Características
Pedra Basalto	* $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$ $\lambda = 1,60 \text{ W/(m.K)}$ $c = 840 \text{ kJ/(kg.K)}$ $\alpha = 0,97$
Vidro Duplo	6mm+ 13mm de argônio+ 6mm

*Dados obtidos da NBR 15220 (2005).

Tabela 2 - Materiais componentes do sistema.

A Tabela 3 apresenta os resultados de graus-hora de resfriamento e aquecimento obtidos a partir da simulação computacional. Dessa forma, verifica-se que há um considerável desconforto por frio no ambiente, resultando em 9797 horas em desconforto, contudo, apenas 549 horas em desconforto por calor.

Analisando o GH_R resultante da avaliação do ambiente com os limites impostos no RTQ-R, observa-se que este valor corresponde ao nível A no desempenho térmico quando naturalmente ventilado. Contudo, ao inserir-se a estratégia a sala, na condição fechada, 3937 horas estão apresentando desconforto por calor, ou seja, há o prejuízo das condições internas do espaço no período de verão, entretanto há uma redução de aproximadamente 38% das horas em desconforto por frio em comparação com a sala sem a parede trombe.

GRAUS- HORA (°C.h)				
AMBIENTE SEM O SISTEMA				
	GH_R	GH_A	TOTAL	NÍVEL DE EFICIÊNCIA (GH_R)
	549	9248	9797	A
AMBIENTE COM O SISTEMA				
CONDIÇÃO	GH_R	GH_A	TOTAL	NÍVEL DE EFICIÊNCIA (GH_R)
FECH	3937	3692	7629	B
VENT	2982	4956	7938	B
COMBINADA	2982	3692	6674	B

Tabela 3 - Graus-hora.

Fonte: Autoras.

Na condição ventilada, caso representativo da situação de verão, ocorre uma diminuição de 24% do desconforto por calor e o aumento de GH_A em 25%. A condição combinada que corresponde ao caso ideal, ou seja, fechamento transparente fechado para o inverno e aberto no verão, resulta em 2982 horas em desconforto por calor e 3692 horas em desconforto por frio, em que a flexibilidade do sistema proporciona um balanço equilibrado no desconforto em ambos os períodos e ameniza-se em mais de 50% o desconforto por frio na sala (Figura 16). Com relação à

eficiência energética, todos os casos simulados com a existência do sistema alcançaram o nível B.

A Tabela 4 e a Figura 16 apresenta também o comparativo dos resultados do consumo de energia da sala da residência com e sem a estratégia de aquecimento passivo, em que se constata que no ambiente sem a estratégia há um alto consumo de energia para aquecimento, e ao relacionar com níveis de eficiência energética do regulamento, todos os consumos de aquecimento resultaram em baixo nível de eficiência energética (nível E).

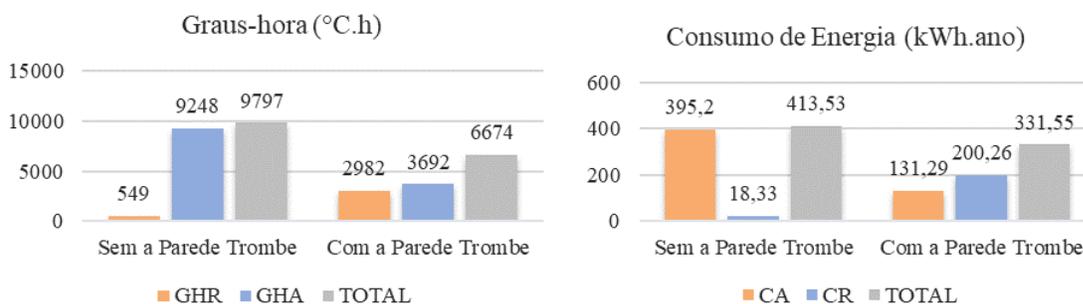


Figura 16- Gráfico comparativo de graus-hora e consumo de energia
Fonte: Autoras.

CONSUMO DE ENERGIA (kWh/m ² .ano)				
AMBIENTE SEM O SISTEMA				
	CA	CR	TOTAL	NÍVEL DE EFICIÊNCIA (CA)
	395,20	18,33	413,53	E
AMBIENTE COM O SISTEMA				
CONDIÇÃO	CA	CR	TOTAL	NÍVEL DE EFICIÊNCIA (CA)
FECH	131,29	500,58	631,87	E
VENT	1107,62	200,26	1307,88	E
COMBINADA	131,29	200,26	331,55	E

Tabela 4 - Consumo de energia.
Fonte: Autoras.

A incorporação da parede trombe propiciou, na condição fechada, redução de 33% no consumo para aquecimento do ambiente, e na condição ventilada, aumento de 64% decorrente da possibilidade de entrada de frio no espaço, necessitando de uma demanda maior de energia.

Quanto ao consumo de energia para refrigeração, observa-se que a existência do sistema promove um elevado consumo de energia, alcançando 96% na condição fechada. Porém, analisando o consumo total de energia do ambiente com e sem a parede trombe, verifica-se que há uma redução considerável no consumo para aquecer a sala (33%) e, mesmo diante do aumento no consumo para refrigerar o ambiente, reduz-se em aproximadamente 20% o consumo total.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como objetivo analisar diferentes modelos de parede trombe, buscando entender seu funcionamento e aplicação, elaborar propostas de implantação do sistema em uma edificação objeto de estudo, além de determinar o seu impacto no comportamento térmico de um ambiente residencial.

Observou-se após a realização da pesquisa que é importante considerar a latitude e o clima do local em que a parede Trombe será inserida, a fim de aplicá-la adequadamente e obter resultados satisfatórios quanto ao conforto térmico.

Constatou-se, a partir dos estudos dos diferentes modelos de parede Trombe, que é possível a implantação da estratégia na edificação de forma que não a prejudique esteticamente, mas sim, que seja um sistema que agregue na composição arquitetônica.

Quanto a parte térmica, verificou-se a valia da parede trombe ser ventilada e fechada, ou seja, que possibilite a ventilação no período de verão para retirar a carga térmica e também que as janelas presentes no fechamento transparente sejam fechadas no inverno, mantendo o calor no espaço.

Dispositivos de proteção solar são interessantes de serem inseridos à estratégia, para que controlem a radiação solar que atinge o vidro, porém estes dispositivos devem ser corretamente escolhidos e calculados para que não interfiram no período de inverno.

Sendo assim, o estudo permitiu a compreensão do efeito da parede trombe em dois fatores primordiais, a questão estética e térmica, a primeira é desmistificada mediante apresentação de diversas soluções agregadas ao projeto que contribuíram visualmente à composição arquitetônica, quanto a última questão apontada, foram revelados dados e diretrizes importantes a serem incorporadas ao sistema com o intuito de promover melhores condições internas em locais que possuem verão e inverno com características extremas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, João Filipe dos Santos. *Influência dos elementos de obstrução no desempenho térmico da parede de Trombe*. Vila Real, Portugal. Dissertação (Mestrado), Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, 2014, 104p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220**. Desempenho térmico de edificações - Parte 1, 2 e 3. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- _____. **NBR 15575**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – BEN. Balanço Energético Nacional. 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf> Acesso em: 2 de jul. de 2018
- BIANCO, Corina Faria. *Parede Trombe: estudo experimental comparativo de desempenho térmico para aquecimento e arrefecimento na cidade de São Paulo*. São Paulo. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2016, 344p.
- CAVALCANTI, Fernando Sá. Avaliação do uso de fachada solar no litoral do nordeste brasileiro: o caso das paredes trombe. **Revista brasileira de energia solar**, n.1, p. 40-46, 2013.
- DE SÁ, Ana Cristina Briga. *Parede Trombe: Análise experimental e simulação de desempenho térmico*. Covilhã, Portugal. Tese (Doutorado), Universidade de Beira Interior, 2011, 198p.
- DORNELLES, Kelen Almeida. *Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA*. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- EMPRESA DE PESQUISA E ENERGIA – EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia. 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>> Acesso em: 2 de jul. de 2018
- GOMES, Miguel Antônio da Graça. *Construção sustentável - Contributo da utilização da parede trombe*. Lisboa, Portugal. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2011, 163p.

INSTITUTO DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R**. Brasil, 2012.

MARTINS, Analisa Cavaleiro. *Contribuição da Parede Trombe na redução dos consumos energéticos dos edifícios*. Vila Real, Portugal. Dissertação (Mestrado), Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, 2010, 184p.

SACHT, Helenice Maria. *Módulos de fachada para reabilitação Eco-Eficiente de Edifícios*. Braga, Portugal. Tese (Doutorado), Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2012, 270p.

SUZUKI, Eimi V.; KRUGER, Eduardo L.; MATOSKI, Adalberto. **Avaliação do potencial de aquecimento/resfriamento de um protótipo com parede trombe**. Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. Juiz de Fora, 2012.