

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ANÁLISE DA RESPOSTA TÉRMICA DO ENVOLTÓRIO NO AMBIENTE SALA DE AULA DO EDIFÍCIO VILA PENTEADO¹

OMENA, Thiago Henrique (1); BUNDER, Jeferson (2); DUARTE, Silvia (3); GUIDO, Lucienne (4); TRAVAGLIA, Andreia (5)

(1) USP/UFT, e-mail: omena@usp.br; (2) USP, e-mail: jefersonbunder@gmail.com; (3) USP, e-mail: silviaduarte@bol.com.br (4) USP, e-mail: lucienneguido@terra.com.br; (5) USP, e-mail: agtravaglia@gmail.com

RESUMO

O objetivo do trabalho é analisar a resposta térmica dos componentes do envoltório de um ambiente sala de aula do Edifício Vila Penteado, localizado na cidade de São Paulo – SP. Foram avaliadas temperatura de superfície interna e externa das fachadas da sala, da laje e da cobertura do envoltório; além da temperatura externa, interna e umidade relativa externa e interna. Em posse dos dados empíricos coletados por dois hobos, uma câmera termovisora, uma estação meteorológica e um termo higrômetro, foi possível produzir um gráfico de resposta térmica do envoltório, bem como sua fórmula de dispersão de resultados. Após essa análise, foi realizado uma simulação teórica por meio de metodologia padronizada pelo CSTB para avaliar os ganhos de calor de cada componente do envoltório e assim, entender o desempenho térmico desta edificação durante o período analisado. Observou-se que no horário de maior temperatura externa (14:30 horas do dia 19 setembro de 2015) registrou-se 34,65°C com um atraso de onda térmica do envoltório de 3 horas na qual aferiu-se um amortecimento térmico de 5,33°C com uma temperatura ambiente interna de 29,32°C.

Palavras-chave: Envoltório. Resposta térmica. Simulação teórica. CSTB.

ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze the thermal response of the components of envelopment of the environmental classroom Vila Penteado building, located in São Paulo - SP. Besides the slab surface temperature and the coverage of the envelope. In addition, were evaluated the internal, external temperature, external and internal relative humidity. In possession of the empirical data collected by two hobos, one thermal camera, a weather station and a hygrometer term, it was possible to produce a thermal response graph of the envelope, as well as its own dispersion formula. After this analysis was performed a theoretical simulation using standardized methodology by CSTB to evaluate the heat gains of each envelope component and thus understand the thermal performance of this building during the analysis period. It was observed that the most external temperature period (14:30 of 19 September 2015) it was registered 34,65°C with an envelope thermal wave delay of 3 hours in which it was measured a thermal damping 5,33°C with an internal temperature of 29,32°C.

Keywords: Envelopment. Thermal response. theoretical simulation. CSTB

¹ OMENA, Thiago Henrique; BUNDER, Jeferson; DUARTE, Silvia; GUIDO, Lucienne; TRAVAGLIA, Andreia. Análise da resposta térmica do envoltório no ambiente sala de aula do edifício Vila Penteado. in: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

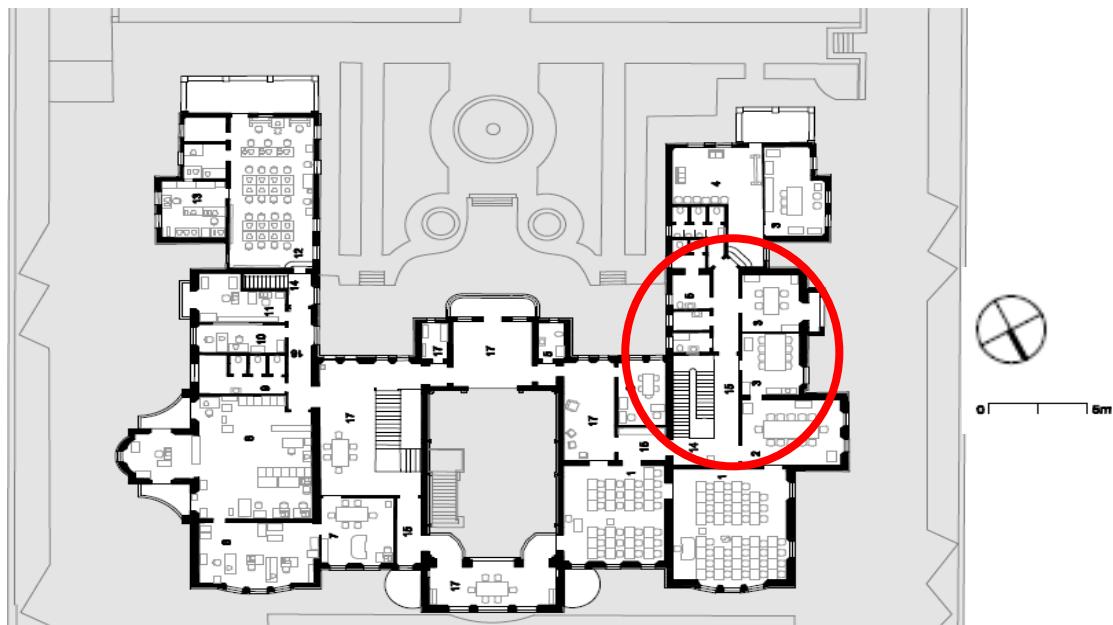
A busca pelo bem-estar físico, fisiológico e psicológico do ser humano já era considerada, segundo Auliciems e Szokolay (1997), desde Sócrates, no século IV a.C., o qual já tinha algumas ideias a respeito da adequabilidade climática de residências e de como construir para assegurar conforto térmico. Vitruvius, no século I d.C., escreveu sobre a necessidade de se considerar o clima nos projetos, por razões de saúde e conforto. No século XX, por sua vez, com a crescente industrialização, tornou-se importante a visão de melhores condições ambientais para o desenvolvimento do trabalho relacionado à capacidade produtiva do homem. Após a Segunda Guerra Mundial, nos anos 60, os estudos de conforto térmico ganharam um caráter multidisciplinar envolvendo profissionais nas áreas de arquitetura, engenharia, fisiologia e psicologia.

Uma das vertentes abordadas neste ramo do conhecimento, é a resposta térmica que determinado envoltório pode oferecer segundo as composições de projeto, tais como, tipologia construtiva, onda térmica, conforto adaptativo etc.

2 OBJETIVO E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O objetivo desta pesquisa é compreender o comportamento térmico do envoltório do edifício da Rua Maranhão da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, mais especificamente a sala de aula 58 (2º pavimento), quanto ao conforto e adequação ao seu uso atual, a atividade de ensino e pesquisa. É importante ressaltar que a sala de aula em questão foi escolhida como objeto de estudo, por estar localizada na orientação mais crítica, nordeste e noroeste, da sua região climática (figura 1).

Figura 1 - Vila Penteado – pavimento superior



Fonte: Adaptado do Plano Diretor Participativo da FAUUSP, 2012.

A pesquisa apresenta um caráter de cunho exploratório, experimental descritivo e de aplicação, na qual para a coleta dos dados foram adotados procedimentos sistematizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a descrição e especificação dos estudos e realização dos ensaios. Os dados de temperatura de globo e umidade foram adquiridos por meio de dois hobos de coleta como demonstra a figura 2. A estação meteorológica composta pelos dois hobos foi colocada no centro da sala de aula no edifício da FAU Maranhão no 1º andar (figura 2B).

Figura 2 - Hobos de coleta de dados empíricos (Sala 58)



Fonte: Autores, 2015

Para a coleta dos dados de temperatura de superfície para analisar a resposta térmica do envoltório da edificação, foi utilizado uma câmera termovisora da marca *Flir i40* (figura 3A). O aparelho consegue medir temperaturas superficiais até uma distância de 50 metros (figura 3B). Para isto, faz-se necessário delimitar a emissividade do material, e após orientação técnica, foi utilizado o valor de 0,95.

Figura 3 - Câmera termovisora



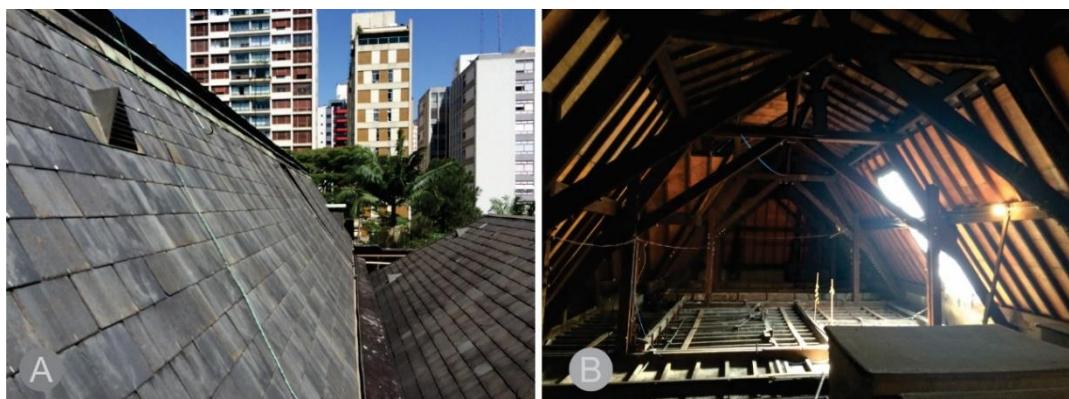
Fonte: Autores, 2015

Após a análise de dados, foi feito uma simulação teórica do ambiente utilizando o método CSTB e os dados bioclimáticos da cidade de São Paulo, fornecidos pelo INMET, com o intuito de entender melhor o edifício e discutir a resposta térmica do ambiente analisado.

Para esta simulação, fez-se necessário a compressão dos componentes do envoltório para poder calcular o coeficiente global de transmissão térmica (K) de cada componente. Neste sentido, a cobertura do edifício Vila Penteado, possui duas inclinações de 55 e 40 graus, ambas aferidas visualmente, (figura 4B) e é composta de telha de ardósia (figura 4A), com estrutura de madeira (ripa) de peroba rosa 1,5 x 5 cm e placa de

compensado de madeira aumentar a estanqueidade do sistema.

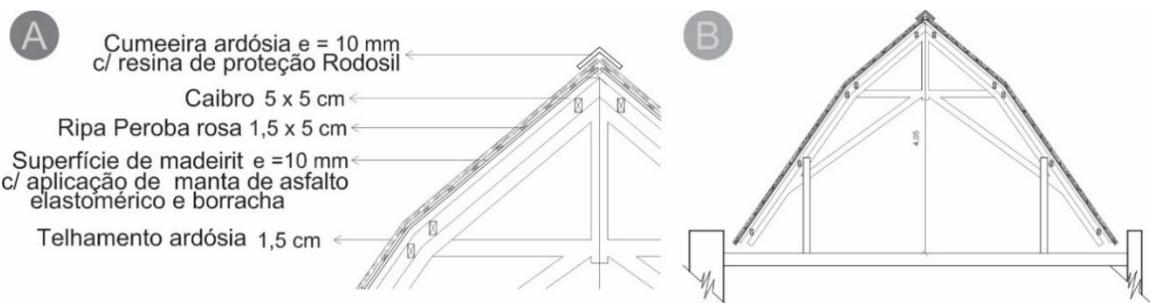
Figura 4 - Cobertura Vila Penteado



Fonte: Autores, 2015.

Os contratos de restauração da edificação demonstram que foram substituídas partes das placas de madeira que ficam entre os caibros e as terças, nesta substituição, nas novas placas, que possuem coloração mais clara, foi aplicada uma substância negra viscosa com o intuito de aumentar o desempenho térmico e estanqueidade do sistema. A altura interna da cobertura, da laje do ático à cumeeira é de aproximadamente 4 metros (figura 5B).

Figura 5 - Cobertura Vila Penteado



Fonte: Autores, 2015.

Para a recomposição do forro, que originalmente era feito de estuque, foram realizados experimentos quanto à impregnação por materiais à base de cimento, cal, areia e baucril (selante). A diferença entre o piso e o forro da sala investigada (figura 6), é que esta não possuía as camadas superiores do compósito, de 10 mm de Madeirit, Cinasita (antiacústica), e assoalho.

Figura 6 - Forro - Vila Penteado



Fonte: Adaptado de Martins (Org.), 2012.

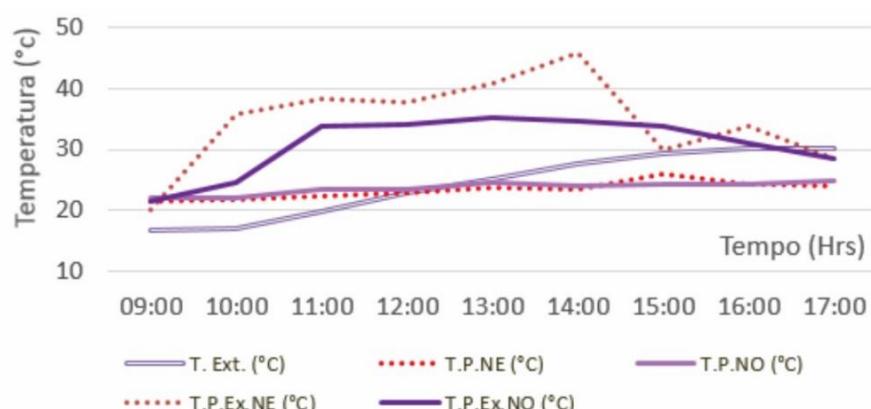
Durante as pesquisas bibliográficas, não se encontrou dados para classificar os 60 cm de parede externa, e entender suas camadas, assim, optou-se por seguir o exposto por Moliterno (2010), onde descreve que os tijolos maciços de barro na década de 20 possuíam dimensões de 27 x 13,5 x 6,5 cm. Desta maneira, este trabalho optou por definir as paredes externas em 54 cm de tijolos e 6 cm de argamassa. Portanto, para esta pesquisa, considera-se a parede externa (60 cm) como sendo: 2,5 cm (argamassa) + 27 cm (tijolo) + 1 cm (argamassa) + 27 cm de tijolo + 2,5 cm de argamassa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 7 apresenta as temperaturas de superfície das paredes da sala de aula que possuem relação direta com o meio externo, neste caso, a sala apresenta paredes com duas configurações distintas, uma voltada geograficamente para NE e outra para NO.

Os dados apresentados a seguir possuem como variável de controle a temperatura do ar externo do período analisado que compreende das 09:00 às 17:00 do dia 07/10/2015, para compreensão da legenda apresenta-se a temperatura superficial da parede como sendo o prefixo T.P. e sua consequente orientação NO ou NE, quando fizer referência à face externa adiciona-se o sufixo Ex.

Figura 7 - Comparaçao das temperaturas de superfície das paredes



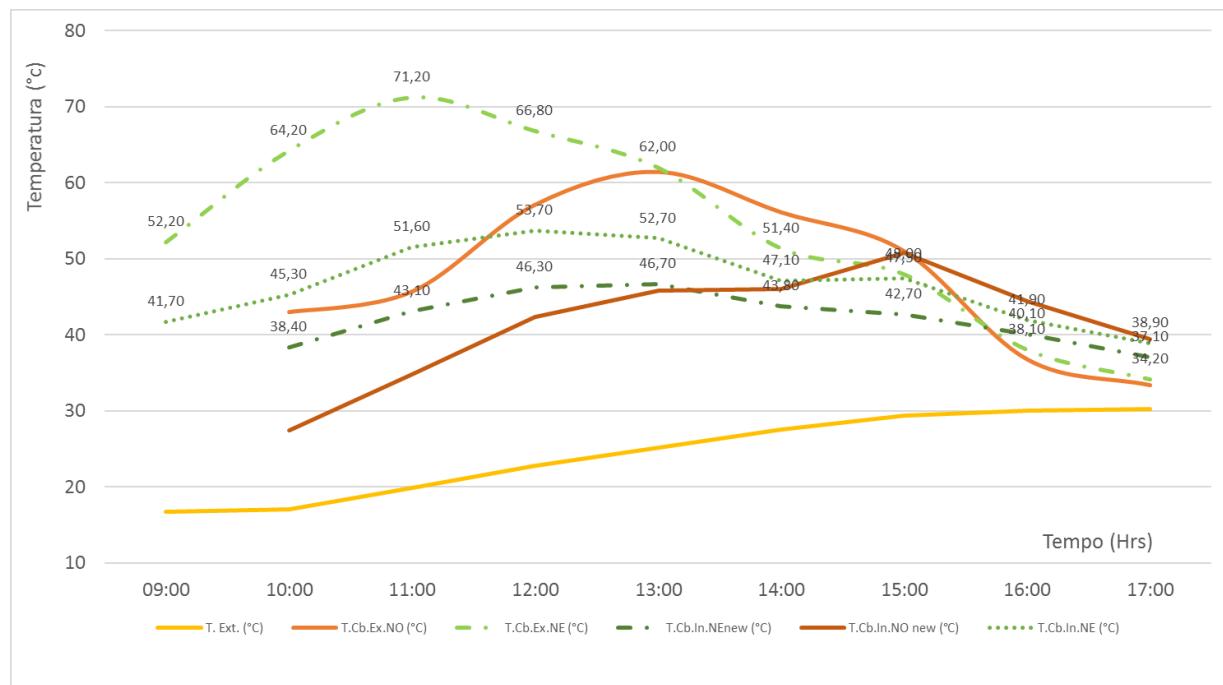
Fonte: Autores (2015)

É possível observar que a menor temperatura externa do ar foi 16,70°C e a

máxima 30,30°C às 17:00 horas. A parede com orientação NE, em sua face externa tem no início da análise 20,20°C e chega à temperatura superficial limite de 45,80°C às 14:00 horas e depois começa a diminuir sua temperatura.

Outro componente do envoltório, responsável também pela resposta térmica da edificação é a cobertura, na qual existem dois tipos de superfícies, uma com madeiramento novo (após restauração) e outra com antigo. Para efeito de comparação de desempenho, estas faces foram também computadas na análise, onde a variável utilizada para balizar os dados é a temperatura externa (T. Ext.) as demais temperaturas são chamadas de temperatura da cobertura interna (T. Cb. In) ou externa (T. Cb. Ex.) com sufixo da orientação geográficas das mesmas. Ainda é preciso ressaltar que quando a temperatura for da parte nova e reformada do madeiramento, utiliza-se o sufixo (New) junto às siglas.

Figura 8 - Comparaçao das temperaturas superficiais coberturas

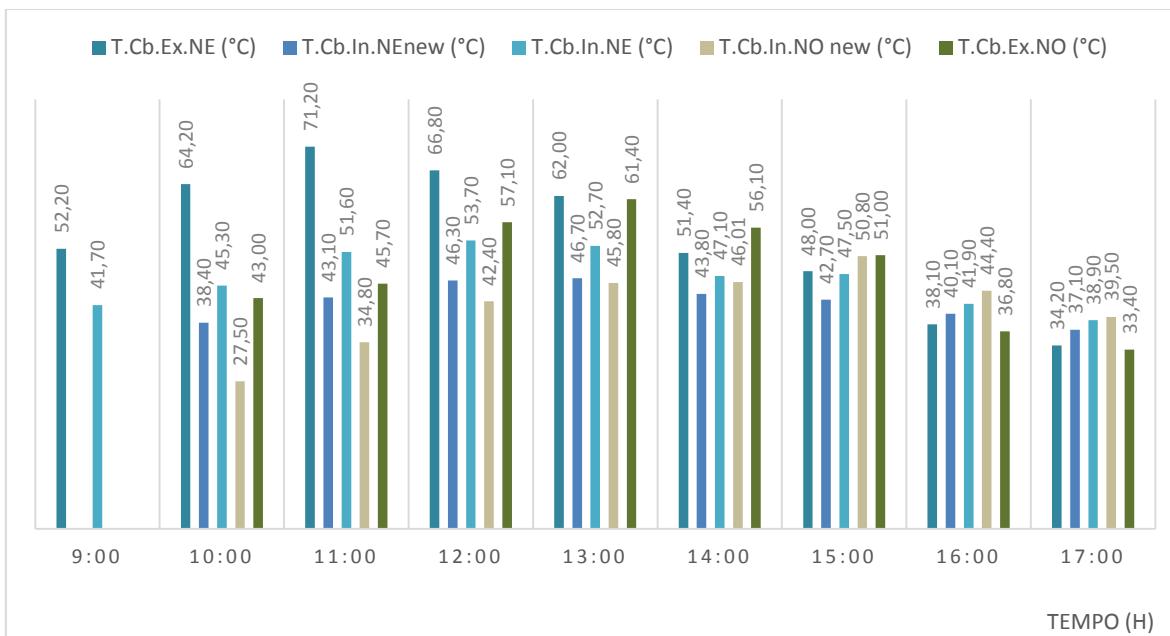


Fonte: Autores (2015)

É possível observar ao analisar o gráfico da cobertura (figura 8) que o pico de temperatura superficial observada para a orientação NE foi às 11:00 horas da manhã onde a face externa da cobertura apresentou temperatura de 71,20°C enquanto sua face interna apresentou temperatura de 43,10°C. Já o pico de temperatura para a orientação NO não aconteceu às 11:00 horas, mas sim às 13:00 horas (provavelmente por conta do ângulo zenital).

A figura 9 apresenta uma comparação entre as temperaturas superficiais observadas em todos os elementos do envoltório da sala de aula do 1º andar da edificação Vila Penteado, para melhor compreender quais apresentaram os resultados mais expressivos em relação ao horário de coleta de dados.

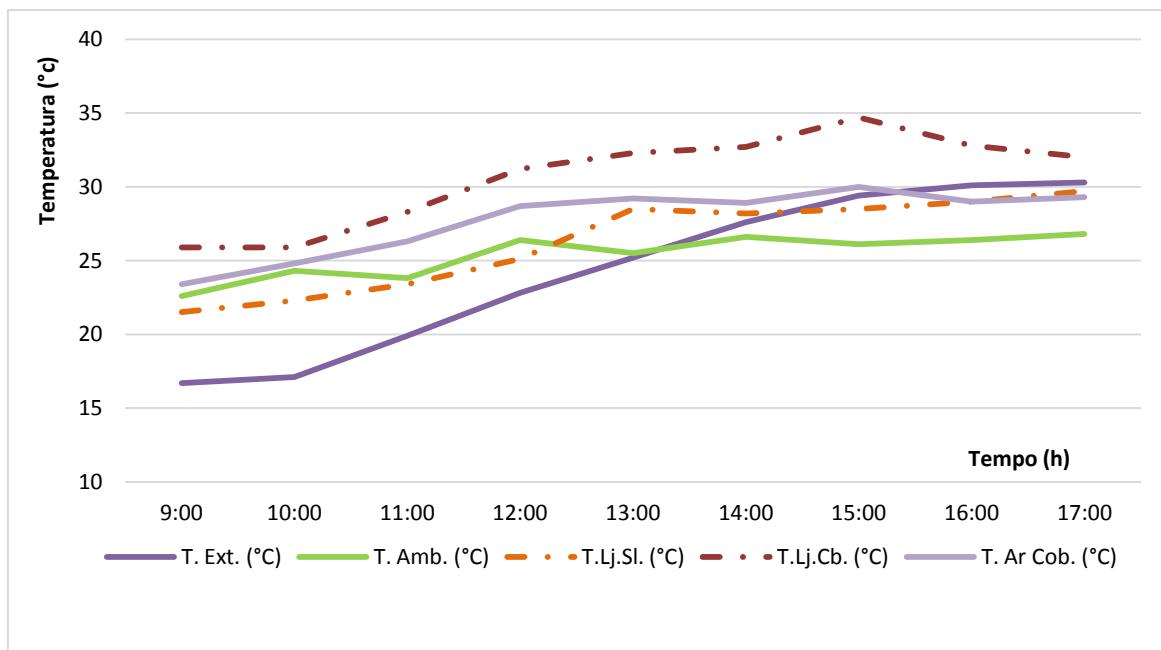
Figura 9 – Comparação entre temperatura superficial e temperatura da cobertura



Fonte: Autores (2015)

A figura 10 apresenta a comparação da temperatura superficial da laje da sala de aula e sua face oposta, ou seja, a da cobertura, e para melhor compreensão destas variáveis, são apresentadas ainda as temperaturas de ar externo, do ambiente sala de aula e do ambiente da cobertura.

Figura 10 - Comparação entre T. Ext., T. Amb., T. Ar Cob., T. Lj.Cob. e T. Lj. Sl.

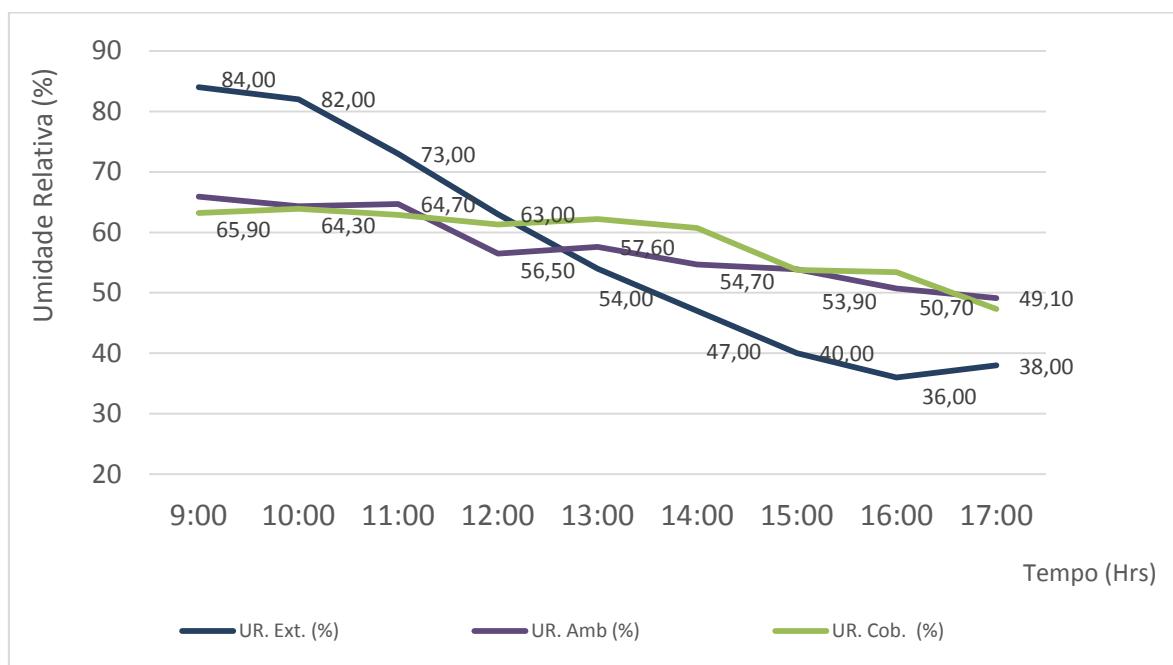


Fonte: Autores (2015)

Nota-se que as temperaturas superficiais da laje, apresentam comportamento de tendência similar, enquanto, a temperatura ambiente da cobertura teve maior aumento de temperatura com menor oscilação, já a temperatura ambiente da sala teve maior oscilação com menor ganho de temperatura.

No comportamento das umidades relativas (figura 11), observam-se tendências similares ao comportamento das temperaturas ambientes, o que era de se esperar visto que são variáveis relacionadas, para um mesmo ambiente, e uma dada temperatura, quando a temperatura sobe, a umidade tende a cair. Portanto, nota-se que a umidade relativa da cobertura teve uma queda similar à do ambiente da sala de aula, entretanto com menor variação e nota-se também que houve uma queda acentuada na umidade externa, entretanto internamente isso não foi observado, o que pode demonstrar parte da eficácia do envoltório.

Figura 11 - Comparaçāo de Umidades Relativas

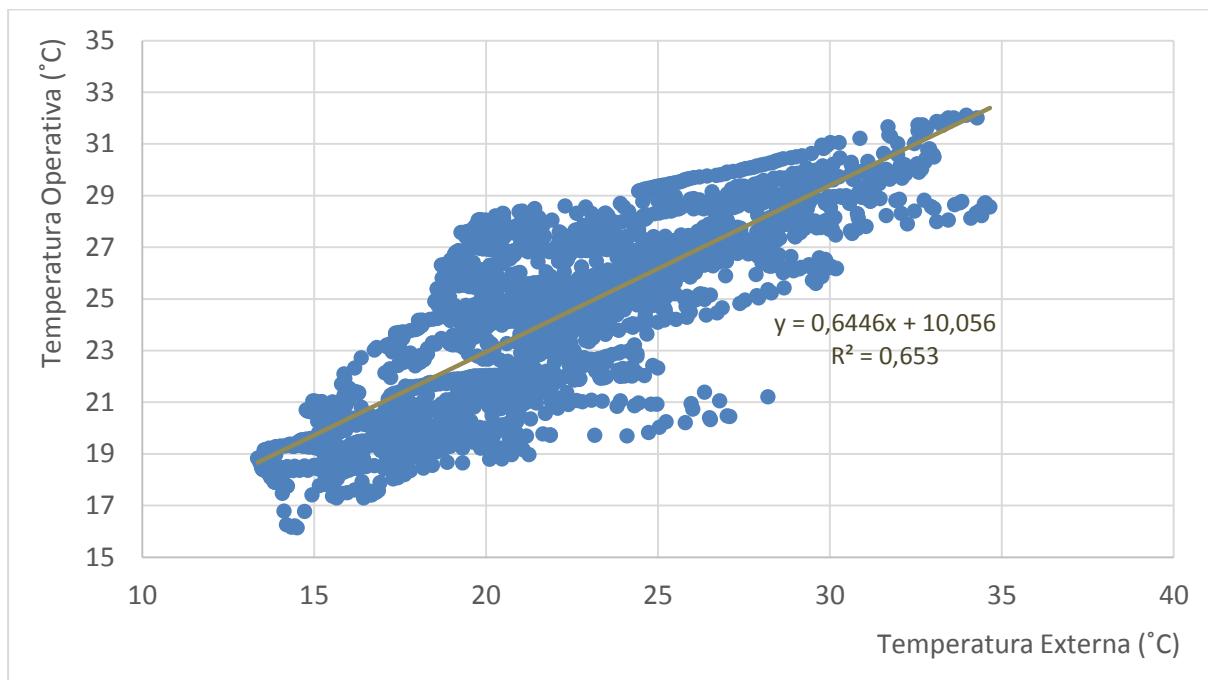


Fonte: Autores (2015)

Após realizadas as análises do envoltório, foi possível fazer um gráfico de resposta térmica do edifício relacionando cada temperatura externa com sua correspondente temperatura operativa, calculada com base na temperatura radiante média (Trm) e a velocidade do vento correspondente durante o período do estudo deste trabalho (figura 12).

Observa-se uma variação de temperatura externa de 13 a 34 °C (amplitude térmica de 21 graus) frente à uma variação interna de 18 a 33 °C (amplitude térmica de 15 graus), o que contabiliza uma diferença de amplitude térmica entre externo e interno na ordem de 40%.

Figura 12 – Resposta térmica do edifício comparando T. Ext. e T. Op.



Fonte: Autores (2015)

4 SIMULAÇÃO TEÓRICA – MÉTODO CSTB

Após reconhecer o envoltório do edifício Vila Penteado realizou-se a simulação teórica segundo a método CSTB, com o propósito de avaliar os componentes do envoltório e verificar, quais participam para ganhos e perdas de calor.

A tabela 1 demonstra os coeficientes globais de transmissão térmicas (K) das paredes que tem contato com o meio exterior e o interior da sala de aula analisada (paredes NE e NO). Neste sentido, ambas apresentam o mesmo coeficiente de 1,01 W/m²°C.

Observa-se também que o menor K é o da laje de piso da sala de aula, por conta de ser o componente do envoltório que possui maior quantidade de camadas constituintes, dificultando assim as trocas térmicas. Segundo este raciocínio, o maior K encontrado foi o da laje de cobertura (que separa a ambiente sala de aula, do da cobertura), por ter menor variabilidade de materiais constituintes e ter menor espessura efetiva, desta maneira, a troca de calor entre o ambiente sala de aula e a cobertura é alta de $140\Delta t$ entra a sala e a cobertura.

Tabela 1 – Reconhecimento do envoltório e cálculo de coeficiente global de transmissão térmica e ganhos de calor solar

Entrada de dados - Edificação Vila Penteado									
	Ts = 32,12 °C	Td = 25,41 °C	Ur = 60,53 %						
	ts = 16,20 °C	td = 23,77 °C	NºV. = 6	= Ventilação = 13,37					
Pé dir. =	5 m	Comp. =	8,45 m	Larg. = 7,15 m					
Áreas opacas e Translúcidas									
Parede (NE)	Parede (NO)	Telhado (3 águas)							
Dimensões	Dimensões	Dimensões	1,19	2,81					
7,15 5	8,45 5	3,43 8,45	Área 1 =	1,69 m²	Cobertura				
Transparente	Transparente	1,86 8,45	Área 2 =	13,50 m²	Parede				
1,00 2,78	1,18 2,53	2,84 6,77	Área 3 =	15,72 m²	Cobertura				
Area Op = 27,41 m²	36,28 m²	104,59 m²	Área 4 =	28,98 m²	Parede				
Entrada de dados - Envoltório (camadas, coeficiente de condutibilidade térmica e espessura)									
Parede (NE)		Parede (NO)		Telhado (3 águas)		Laje (Cob.)		Laje (Piso)	
Argamassa		Argamassa		Ardósia		Argamassa		Argamassa	
γ(w/m°C)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)
0,85	0,06	0,85	0,06	2,10	0,015	0,85	0,04	0,85	0,04
α (abs.)	he	α (abs.)	he	α (abs.)	he	α (abs.)	he	α (abs.)	he
0,4	20	0,4	20	0,8	20	0,25	20,00	0,85	0,03
Camada 1		Tijolo Maciço		Ar confinado		Madeira Juçara		Madeira	
γ(w/m°C)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)	Rar(m²°C/W)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)
0,72	0,54	0,72	0,54	0,15	0,03	0,20	0,02	0,20	0,03
Camada 2		Tijolo Maciço		Madeirit		Ar confinado		Tijolo Maciço	
γ(w/m°C)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)	Rar(m²°C/W)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)
0,72	0,54	0,72	0,54	0,06	0,01	0,17	0,10	0,72	0,22
Camada 3		Obs.: Com camadas Laje (Cob.)		Interior Cob.		Escória antiacústica			
γ(w/m°C)	e (m)	γ(w/m°C)	e (m)	6		γ(w/m°C)	e (m)		
0,19	0,05								
Camada 4									
1/he+1/hi =	0,17	1/he+1/hi =	0,17	1/he+1/hi =	0,22	1/he+1/hi =	0,34	1/he+1/hi =	0,34
Cálculo de coeficiente global de transmissão térmica K - (W/m²°C) - 1/K = 1/he + 1/hi + ei/γi + ... + en/γn									
Parede (NE)		Parede (NO)		Cobertura		Laje (Cob.)		Laje (Piso)	
K= 1,01		K= 1,01		K= 1,41		K= 2,05		K= 0,72	
Parede Interna									
K= 1,72									

Fonte: Autores (2015)

O K da parede interna foi de 1,72 W/m²°C, o que representa um aumento de 70,54% no coeficiente global de transmissão térmica da parede interna quando comparada com a parede que divide o ambiente com o meio externo. Esta mesma análise quando comparada com a cobertura que possuí um K de 1,41 W/m²°C, apresenta um aumento no coeficiente na ordem de 40% quando comparado ao K das paredes externas. Vale ressaltar, que a cobertura não foi calculada como um componente do envoltório da sala de aula (por conta do pé direito), mas sim calculada como um ambiente à mais e depois verificado qual era a troca térmica entre estes ambientes através da laje que separa os mesmos, neste trabalho, esta ação configura-se em uma adaptação metodológica para resolver o problema de ganho de calor entre os ambientes.

A tabela 2 apresenta os cálculos de ganho de calor solar, pelos elementos do envoltório que estão em contato com os raios solares. O que se observa nesta tabela, é que o envoltório que estava exposta à maior insolação era a parede NO (durante à tarde), seguida (em números efetivos) pela parede NE (durante a manhã) e por último o plano horizontal cobertura, apresentando valores mais constantes que os outros analisados.

Adotou-se uma ocupação de 21 pessoas, para simular uma ocupação real, e este número faz referência à quantidade de usuários presente na sala em um dos dias de análise; com isto, foi aferido um total de ganho de calor de 3.879 W.

Tabela 2 – Cálculo de ganhos de calor solar

Cálculo de Ganhos de Calor Solar - Q = (W Ig) - Superfícies opacas - Qop= Aop x (α x K/ he) x Ig (W)									
Empena (NE)		Empena (NO)		Cobertura - empêna cobertura				Trocada calor laje	
Q1 =		Q2 =		Q3 =	1,873 Ig	Q3"=	4,04 Ig	Q6 =	20,67
0,553 Ig		0,732 Ig							
Cálculo de Ganhos de calor solar - Q = (W Ig) - Superfícies transparentes - Qtr= Atr x Str x Ig (W)									
Vidro+Caix. (NE)		Vidro+Caix. (NO)		Str = 0,09 (Persiana de madeira projetada à italiana com média)					
Q4 =		Q5 =							
0,751 Ig		0,537 Ig							
Planilha de Ganhos de Calor Solar									
hora	Fachada NE			Fachada NO			Cobertura -		Empena
	Ig (W/m²)	Empena (W/m²)	Envirado (W/m²)	Ig (W/m²)	Empena (W/m²)	Envirado (W/m²)	Ig (W/m²)	X Ig	Ig (W/m²) SE X Ig
07 h	166	92	125	40	29	21	100	187	141 570
08 h	264	146	198	82	60	44	227	425	195 788
09 h	306	169	230	116	85	62	340	637	196 792
10 h	314	174	236	144	105	77	427	800	174 703
11 h	294	163	221	189	138	102	483	904	162 655
12 h	250	138	188	251	184	135	501	938	168 679
13 h	187	103	140	295	216	159	483	904	162 655
14 h	144	80	108	314	230	169	427	800	144 582
15 h	116	64	87	306	224	164	340	637	116 469
16 h	82	45	62	264	193	142	227	425	82 331
17 h	40	22	30	167	122	90	100	187	40 162
Ganhos de Calor devidos à ocupação									
Qe =	2581,87 W	Gerados à partir de 21 usuários pelo fórmula de Xavier (2000)							
Qequ. =	210 W	Datashow Total de ganhos de Calor Cobertura							
Qequ. =	210 W	PC Desktop Q = 1.617 W							
		Q = 3.879 W							

Fonte: Autores (2015)

Uma observação que precisa ser ressaltada sobre a tabela 2 é que com o auxílio do coeficiente global de transmissão térmica é possível chegar ao ganho de calor solar em função da irradiação (Ig), desta maneira, a parede NE apresentou um ganho de calor solar de 0,55 Ig enquanto a parede NO obteve o resultado de 0,73 Ig, o que representa uma diferença de 32,35%. Já a cobertura, obteve um resultado de ganho de calor solar da ordem de 1,87Ig. Comparando o ganho de calor solar da cobertura com a parede NE, temos uma diferença de 238,38%.

Tabela 3 – Perdas devidas à diferença de temperatura interna e externa, ventilação e avaliação da inércia

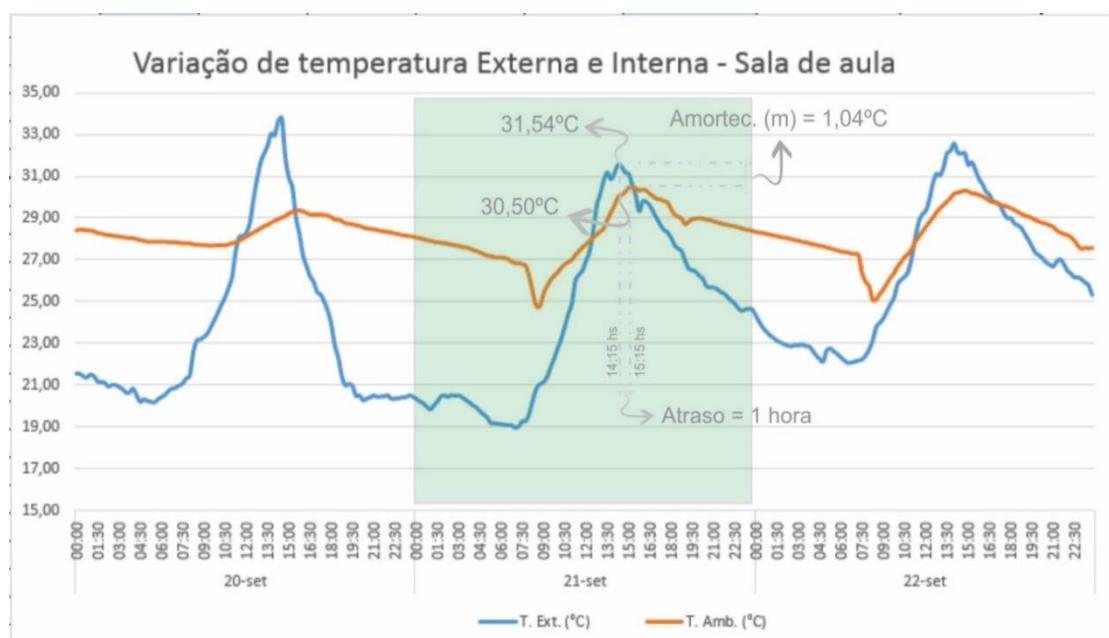
Perdas de Calor devidas à diferença de temperaturas interna e externa (Δt)									
Superfícies opacas - Qop= Aop x K x Δt (W)			Laje Estuque Cobertura (troca)						
Q'1 =	27,67 Δt	Q'2 =	36,62 Δt	Q'3 =	46,82 Δt	Q' =	124,05 Δt	(Entre sala e cobertura)	
Superfícies transparentes - Qtr= Atr x K x Δt (W)									
Vidro+Caix. (NE)	Vidro+Caix. (NO)			K = 5,13		Empena cobertura	Q'3' =	Troca calor (W)	
Q'4 =	42,8 Δt	Q'5 =	30,6 Δt	Δt entre Sala e Cobertura às 14 horas (crista onda térmica)=			2,3	101,01 Δt	232,33
Perdas devidas à ventilação - Q'vent. = 0,35 x N x V x Δt									
Q'vent Sl. =	1413,6 Δt	Total de Perdas Cob.	417,41 Δt (W)	Total de Perdas Sala		Q' =	1551,30 Δt (W)		
Q'vent Cb. =	269,6 Δt								
Balanço Térmico - Ganhos = Perdas									
Sala	Q = Q'	3.879	=	1551,30 Δt			Δt = 2,50 °C		Sala
Cobert.	Q = Q'	1.617	=	417,41 Δt	Trocadas de ar na cobertura (6)		Δt = 3,87 °C		Cobertura
Avaliação da Inércia - e/2 x d									
Parede (NE)	Parede (NO)	Telhado (3 águas)	Laje (Cob.)	Laje (Piso)	Parede Interna				
Peso parede =	432 Kg/m²	432 Kg/m²	20,25 Kg/m²	9 Kg/m²	10 Kg/m²				176 Kg/m²
Área =	27,41 m²	36,28 m²	104,59 m²	60,42 m²	60,42 m²				30,35 m² (1)
Coef. Croiset =	0,09 1	0,09 1	0,007 0	0,05 0	0,05 0				39,28 m² (2)
	Área	Coeficiente							0,02 2/3
Parede (NE)	27,41 1 (e/ γ = 0,03/0,085 < 0,15)				Superfície equivalente pesada	sala	cob.		
Parede (NO)	36,28 1 (e/ γ = 0,03/0,085 < 0,15)				110,11 m² (sala)	104,59 m² (cob.)	1,82 1,73		
Parede Interna 1	30,35 2/3 (e/ γ = 0,015/0,085 < 0,15)					Edificação com inércia =	Forte		
Parede Interna 2	39,28 2/3 (e/ γ = 0,015/0,085 < 0,15)					Amortecimento	sala m = 1,0		
Cobertura	104,59 0 (e/ γ = 0,015/2,10 < 0,15)					Amortecimento	cob. m = 0,4		

Fonte: Autores (2015)

A tabela 3 demonstra os cálculos de perdas de calor devido à diferença de temperaturas internas e externas. Observa-se que a parede NO (com a maior área opaca) apresenta, portanto, uma maior perda de calor ($36,62 \Delta t$) enquanto a parede NE (com menor área opaca) apresentou uma perda de calor de $27,67 \Delta t$, o que representa uma diferença de 24,47% quando comparada à perda de calor da parede NO.

Outro dado importante desta tabela, é o amortecimento e a definição da inércia térmica do envoltório, pois, sobre o exposto descobriu-se que a cobertura possuí uma inércia muito fraca, com um amortecimento $m = 0,4$, enquanto que a sala de aula, por conta das paredes pesadas, possuí uma inércia muito forte, com um abatimento $m = 1,0$. Neste ponto, encontra-se a crítica ao método CSTB, visto que para tais inércias, as discussões futuras, tornam-se inviabilizadas, visto que todas as variáveis futuras à serem calculadas, são multiplicadas, pela soma de $1 - m$, e possuindo um $m = 1$ as variáveis estudadas resultarão em zero. Ou seja, para envoltórios com inércias muito fortes, como o caso do edifício Vila Penteado, não é possível fazer a verificação de ventilação.

Figura 13 – Amortecimento e atraso térmico do objeto de estudo durante o dia do questionário



Fonte: Autores (2015)

Com a compreensão dos dados supracitados, é possível traçar um paralelo entre o amortecimento teórico encontrado e o aferido empiricamente durante a aplicação dos questionários de análise subjetiva dos usuários. Ressalta-se que os amortecimentos aferidos durante o mês analisado foram variáveis, como demonstra-se na figura 13, entretanto, para o dia do questionário, o amortecimento encontrado foi de $1,04 ^\circ\text{C}$, e o atraso da onda térmica foi de 1 hora. Apresentando pico de temperatura externa às 14:15 e interno às 15:15 horas.

Tabela 4 – Perdas devidas à diferença de temperatura interna e externa, ventilação e avaliação da inércia térmica

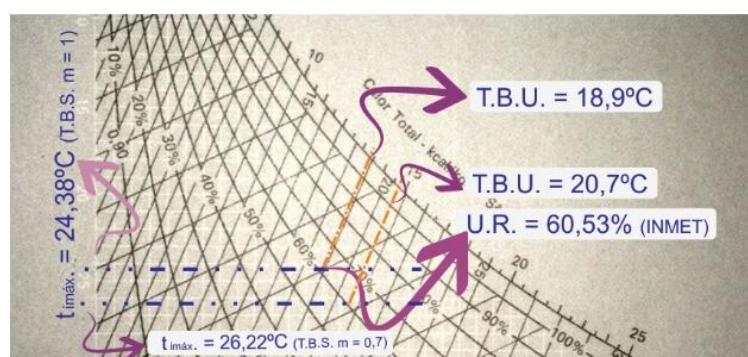
Cálculo da temperatura externa média - te e elongação - E							
	Temax =	28,77 °C sala		te =	24,38 °C		
	Temin =	19,99 °C sala		A =	8,78 °C		E = 4,39 °C
Cálculo da temperatura interna máxima resultante - $t_{max} = te + (1 - m) E + (1 - m) \Delta t$							
Sala	Timax =	1,0 24,38 °C (T.B.S.)	m's = 0,95 24,72	0,9 25,06	0,8 25,75	0,7 26,44	0,6 27,13
Cobertura	Timax =	29,33 °C (T.B.S.)	m = 0,4			T.B.U. = 20,7 °C escolha	(Tabela)
Temperatura Efetiva - TE (m = 0,7)							
P/ V0 = 0,1 m/s	TE = 23,7 °C	Zona Conf.					
P/ V0 = 0,5 m/s	TE = 23 °C	Zona Conf.					
P/ V0 = 0,8 m/s	TE = 22,5 °C	Zona Conf.					m = 0,7
P/ V0 = 1,0 m/s	TE = 22,3 °C	Zona Conf.					
Zona de conforto nomograma (22 à 27 °C)				Com V0 até 1,5 m/s			
Verificação da Ventilação - Efeito Chaminé - $\Phi c = 0,14 \times AVH \times AT1 (m^3/s)$							
m = 0,95	$\Phi c = 0,544 m^3/s$		ou	1958,90 m³/h	N = 6,48 /h		
m = 0,9	$\Phi c = 0,770 m^3/s$			2770,31 m³/h	N = 9,17 /h		
m = 0,8	$\Phi c = 1,088 m^3/s$			3917,81 m³/h	N = 12,97 /h		
m = 0,7	$\Phi c = 1,333 m^3/s$			4798,32 m³/h	N = 15,88 /h		
Com abatimento m = 1 temos $\Phi c = 0 °C$				N = 0	(Limitação do método CSTB)		

Fonte: Autores (2015)

Por conta da inércia muito forte ($m = 1$), o que impossibilita o prosseguimento pelo método, fez-se uma análise variando o abatimento de 1 até 0,6, e observou-se que ao variar 1 unidade no amortecimento, acontece um aumento de 0,69 °C na timáx. do ambiente. Para prosseguir na simulação, este trabalho entendendo a impossibilidade de uma edificação ser considerada um estanque com $m = 1$, adotou-se um amortecimento de 0,7, por considerar a timáx. encontrada (26,44 °C) próxima da aferida no período analisado, e dado o envoltório estudado, e também porque a diferença de temperatura externa/interna aferida pelo método (1,77 °C) aproxima-se da observada pelo amortecimento aferido no dia do questionário de $m = 1,04$ °C.

Em posse do dado de temperatura interna máxima (T.B.S.) é possível encontrar com auxílio da umidade relativa a temperatura de bulbo úmido (T.B.U) conforme demonstra-se na figura 14.

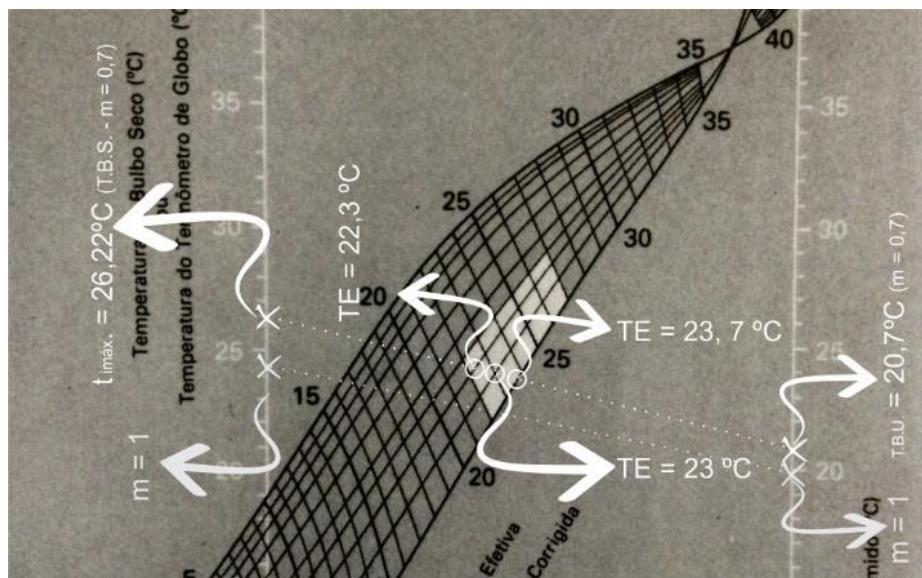
Figura 14 – Determinação de Temperatura de Bulbo Úmido (T.B.U.)



Fonte: Adaptado de Koenigsberger (1977)

O último passo da análise do CSTB permite avaliar, se a temperatura interna máxima avaliada encontra-se dentro da zona de conforto do nomograma proposto por Koenigsberger (1977).

Figura 15 – Aferição da temperatura interna relativa à zona de conforto



Fonte: Adaptado de Koenigsberger (1977)

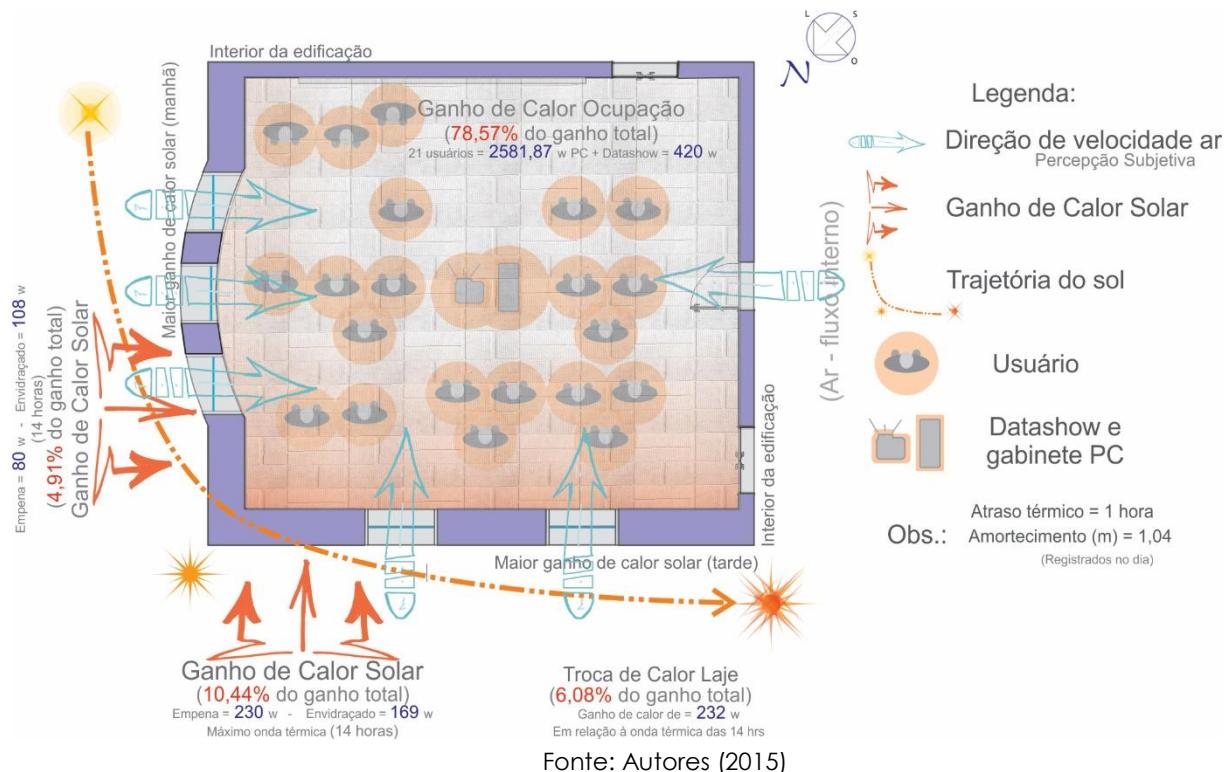
Observa-se que devido as variáveis encontradas, para as velocidades de 0,1 e 0,5 m/s as temperaturas efetivas encontram-se dentro da zona de conforto, e que ao aumentar a velocidade do ar para 1,5 m/s a temperatura interna sai da zona de conforto.

Por último, efetuou-se uma figura na qual apresentam-se os dados estudados nesta pesquisa, sintetizando-os para melhor compreender o comportamento da edificação.

Observa-se a fachada NO (com maior ganho solar durante o período do questionário) representou, no período das 14 horas, 10,44% dos ganhos de calor da sala, enquanto a fachada NE, no mesmo período representou 4,91% dos ganhos, a laje por sua vez, foi responsável por 6,08% dos ganhos, e a maior representante dos ganhos de calor da sala de aula foi a ocupação, com 78,57% do total.

Ressalta-se que a crista da onda térmica no dia 21/09/2015 aconteceu às 14:15 horas apresentando uma temperatura externa de 31,54°C. Como o atraso térmico medido no dia foi de exatamente 1 hora, a crista de onda térmica de temperatura interna acontece às 15:15 horas com o resultado obtido de 30,50°C. O amortecimento simulado teoricamente pelo método CSTB ($m = 1$), confirma o resultado aferido in loco $m = 1,04$ °C.

Figura 16 – Mapa de localização dos usuários, variáveis físicas e climáticas.



5 CONCLUSÕES

Sobre o coeficiente global de transmissão térmica, nota-se que quanto mais variada e maior forem as camadas constituintes de um envoltório, menor será o seu coeficiente, e portanto contribuirá menos com as trocas térmicas, de maneira similar, variações de espaço de ar confinado entre 2 e 10 cm para um fluxo ascendente de um envoltório, indicam que quanto maior for o espaço de ar confinado, menor será o coeficiente global de transmissão térmica deste, e portanto a participação deste envoltório com as trocas térmicas do ambiente será menor.

Uma análise projetual que pode ser realizada é que quanto maior a área exposta ao sol, maior é o ganho de calor solar do componente exposto a ele. Sendo assim, quanto maior é o pé direito de um ático, maior será o ganho de calor solar do mesmo (visto que este fator interfere diretamente na área exposta da cobertura). De maneira similar, quanto maior a área envidraçada, maior será o ganho de calor solar e por tanto maior será a interferência da temperatura externa no ambiente.

Conclui-se que existe uma limitação do método CSTB, e esta ocorre em edificações com envoltórios com Inércia muito forte ($m = 1$), visto que, com tal amortecimento, existem interferências diretas no cálculo da tímáx. e principalmente no efeito chaminé, uma vez que, diversas variáveis resultarão em zero.

Embora a edificação tenha sido projetada para ser uma residência, no objeto de estudo desta pesquisa (sala de aula do 1º andar) as decisões

projetuais encontradas demonstram indícios da qualidade ambiental do edifício para o uso atual.

REFERÊNCIAS

AULICIEMS, A., SZOKOLAY, S. V. **Thermal Confort**. University of Queensland, Department of Architecture: Kenmore: 1997.

KOENIGSBERGER, O. et alii. **Vivienda y edificios en zonas cálidas tropicales**. Trad. Emilio Romero Ros. Madrid: Paraninfo, 1977.

MARTINS, M. L. R. R. (Org.). **Vila Penteado 1902 – 2012: pós-graduação 40 anos**. São Paulo: FAUUSP, 2012.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de estruturas em alvenaria e concreto simples**. São Paulo: Editora Edgar Blucher S. A., 2010.