



III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE PROTÓTIPO ESCOLAR EM ARGAMASSA ARMADA

Aglae Maria da Silva Boemeke, Arquiteta

Andrea Lúcia Vilella Arruda, Arquiteta

Andrea Schuler, Eng Civil

Blanca Stela Sabalsagaray, Arquiteta

Maria Tereza Pouey, Eng civil, arquiteta

Nara Ione Medina Schimitt, Eng. Civil

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil / NORIE

Av. Osvaldo Aranha, 99/3º- andar - CEP 90.035-190 - Porto Alegre - RS

Telefone: (051) 228 1633 - Ramais 3486 e 3518; Fax: (051) 227 1807

RESUMO

O trabalho tem o objetivo de fazer uma avaliação do desempenho térmico do protótipo escolar em argamassa armada, concebido pela CIENTEC, em Porto Alegre.

Essa avaliação fundamentou-se no programa computacional desenvolvido pelo IPT/SP, com base no método proposto por Fanger e Norma ISO 7730, que considera variáveis ambientais - obtidas de medições locais das temperaturas do ar, superficiais e média radiante, umidade relativa e velocidade do ar - e, variáveis individuais, como metabolismo e índice de vestimenta.

Os resultados permitem analisar os fatores e principais componentes construtivos interverentes no desempenho térmico para estações distintas.

ABSTRACT

The aim. of this essay is to evaluate the thermal performance at the School prototype in ironned mortar conceived by CIENTEC in Porto Alegre.

This evaluation goes through a computer program developed by IPT/SP based in Fanger's methodology and in rules of ISO 7730, which considers environment variables - obtained by local measurements of air temperature, relative umidity, superficial temperature, air velocity and radiant mean temperature - and individual variables like metabolism and cloth index.

The results allow to analyse the intervene factors in the thermal performance and establish the main building components responsible for the confort situation in diferent seasons.

PALAVRAS-CHAVE

Conforto térmico; desempenho térmico; voto médio predito; temperatura superficial.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desenvolvimento tecnológico busca satisfazer as necessidades de conforto do ser humano através de pesquisas de novos materiais, sistemas construtivos e detalhes de projeto. A definição de conforto térmico é complexa, pois ele é subjetivo e envolve distintas e interagentes variáveis. Avaliar o desempenho térmico de um ambiente é verificar se as condições internas atendem ou não a um conjunto pré-fixado de exigências do usuário. Estas condições internas são o resultado de decisões de projeto - variáveis controláveis - interagindo com as variáveis climáticas do local - *variáveis não controláveis*.

Autores como Givoni, Fanger e Rivero, dentre outros, desenvolveram estados visando estabelecer índices nos quais intervêm intercâmbios de *variáveis ambientais* (temperatura, velocidade e umidade do ar e radiação) - e individuais (metabolismo humano e índice de vestimenta). A conjugação de todas estas variáveis resultou no desenvolvimento de métodos que permitem quantificar o nível de conforto térmico dos ambientes, em compatibilidade com exigências dos indivíduos.

A Norma ISO 7730 (ISO, 1984) apresenta métodos de previsão da sensação térmica (PMV) e do grau de desconforto (M) de pessoas expostas a ambientes térmicos moderados e especifica condições térmicas aceitáveis para o conforto nestas condições. As sensações térmicas do indivíduo de boa saúde estão relacionadas principalmente ao estado térmico de seu corpo. Este estado é influenciado por sua atividade física e vestimenta, bem como pelos parâmetros do ambiente em que ele está posicionado: temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade e umidade do ar.

O PMV(Predict Mean Vote) é um índice que fornece a média de um grupo importante de pessoas exprimindo um voto de sensação térmica, relacionado a uma escala psicofísica com os seguintes níveis:

- + 3 = quente
- + 2 = cálido
- + 1 = levemente cálido
- 0 = neutro
- 1 = levemente fresco
- 2 = fresco
- 3 = frio

O índice PPD (Predict Percentage of Dissatisfied), fornece informações sobre o desconforto térmico ou a insatisfação térmica, por meio da estimativa do percentual de pessoas suscetíveis de sentir muito calor ou muito frio no ambiente dado. O PPD pode ser determinado a partir do PMV. Este índice estabelece uma previsão quantitativa do número de pessoas insatisfeitas, que votam de acordo com os sete níveis da escala psicofísica acima descrita.

Exigências de conforto térmico são recomendados como sendo aceitáveis quando o nível PPD é menor que 10%. Isto corresponde aos seguintes limites para o PMV: $-0.5 < PMV < + 0.5$.

Uma outra forma de avaliar a sensação térmica é através das diferenças de temperaturas superficiais dos fechamentos do ambiente, uma vez que o deslocamento do ar pode ser influenciado por correntes convectivas provenientes dessas diferenças nas diversas superfícies da edificação.

Desta forma, objetiva-se neste trabalho analisar o desempenho térmico de protótipo escolar em argamassa armada, a partir da sistematização de estudos do protótipo, desenvolvidos por alunos do Mestrado em Construção Civil - NORIE/UFRGS, durante distintas estações do ano.

O protótipo, localizado em Porto Alegre, à Rua Felipe de Oliveira, 52, foi desenvolvido pela Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul - CIENTEC, como proposta para viabilizar a ampliação da capacidade da rede escolar estadual, de uma forma ágil e racionalizada. Consiste em um prédio composto de circulação aberta e de duas salas de aula, conforme planta baixa da Figura 1. O sistema construtivo utilizado conjuga estrutura metálica e painéis de argamassa armada. As paredes externas são duplas, constituídas de dois painéis, que formam camada interna de ar de 5 cm. A parede divisória e o forro são formados por painéis e placas simples, respectivamente. A cobertura foi executada com telhas de fibrocimento, 8mm, tipo kalhetão, com ático permanentemente ventilado. As esquadrias são do tipo basculante de metalon, com vidros transparentes. As portas são de madeira com marcos de ferro. O piso das salas é revestido com placas vinílicas e na área de circulação revestido com cimento desempenado.

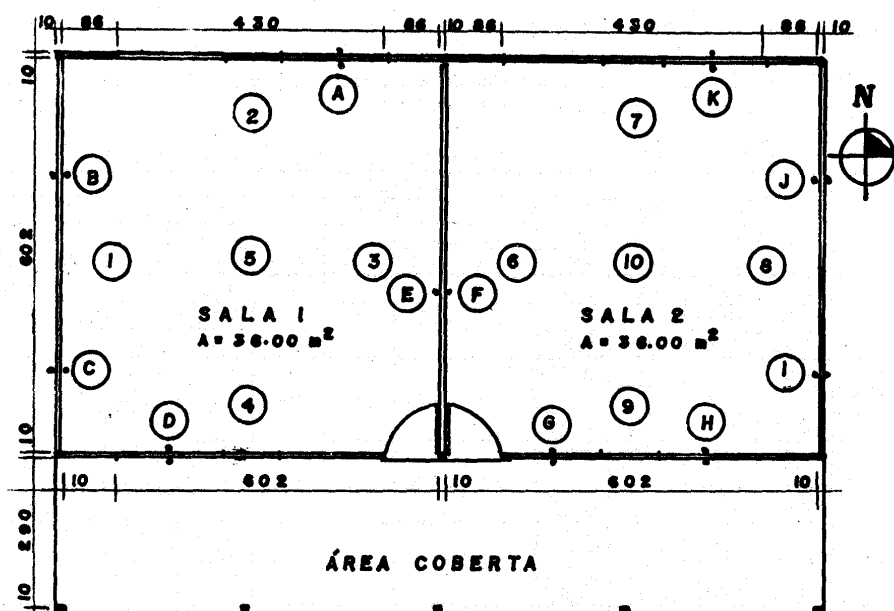


Figura 1. Croqui do protótipo de escola em argamassa armada com os pontos de medição.

METODOLOGIA

Considerando os dois parâmetros de avaliação do conforto térmico do protótipo adotados neste trabalho, as temperaturas superficiais das paredes, piso e teto e os índices de FANGER (PPD e PMV), procurou-se obter tais informações em diversas condições climáticas. Desta forma, este trabalho apresenta dados referentes a seis situações de medida e determinação de dados, a partir dos estudos desenvolvidos, que representam informações sobre três estações do ano - inverno, verão e outono - nos períodos da manhã e tarde. Três medições referem-se ao *inverno* (8, 9 e 13, de setembro de 1994), uma ao *verão* (29 de dezembro de 1992) e duas ao *outono* (27 e 30 de abril de 1993). Ressalta-se que para o outono foram realizadas medições somente na sala 1, (vide figura 1).

Cada medição e conseqüente determinação de índices compreende no levantamento dos diversos dados climáticos tomados em diferentes pontos do protótipo, conforme mostra a figura 1 acima. Com o auxílio do equipamento *Indoor Climate Analyser Type 1213* determinou-se a temperatura superficial interna (paredes, piso e forro) e externa (paredes) nos pontos assinalados (pontos com letras, na figura 1). Também foram levantadas a temperatura e velocidade do ar, a umidade relativa e a energia radiante plana, nos seis planos circundantes em cada ponto de medição, a fim de determinar o PMV e o PPD (pontos numerados na figura 1).

Para a determinação do PMV e PPD foi necessário identificar a temperatura média radiante nos pontos de medição, para uma pessoa que se encontrava sentada, posicionada de frente para o quadro negro. Esta temperatura radiante média é obtida através das energias radiantes planas que são determinadas para os seis planos circundantes, convertidas em temperaturas radiantes planas.

Foram determinados os índices PMV e PPD através do programa computacional de Aktuso/IPT (Aktuso, 1987), estabelecendo a vestimenta e o nível de atividade desenvolvido pelas pessoas ocupantes das salas. Como nível de atividade considera-se que os possíveis ocupantes deste protótipo dispenderão a mesma energia equivalente a um trabalho em escritório, que corresponde a 70 W/m^2 . As vestimentas consideradas representam as vestimentas trajadas nos dias das medições, quantificadas como 1 *clo* para as medições do inverno e outono e 0.5 *clo* para o verão. Os dados referentes às temperaturas superficiais de piso, forro e faces interna e externa de paredes são apresentados neste trabalho através dos diferenciais de temperatura em cada unia destas superfícies (Δt), que ocorrem no decorrer do período de medição, isto é, entre manhã e tarde ($\Delta t = t_{\text{tarde}} - t_{\text{manhã}}$). Também são mostradas as variações de temperaturas superficiais entre forro e piso ($t_{\text{forro}} - t_{\text{piso}}$) e os percentuais da variação das temperaturas superficiais das faces interna e externa com relação à temperatura externa ($(t_{\text{ex}} - t_{\text{int}}) / t_{\text{face externa}}$).

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os índices PMV e PPD calculados para cada ponto, são apresentados a seguir (Quadro 1), juntamente com os dados das variações de temperaturas superficiais (Quadros 2 e 3).

QUADRO 1 - Resultados de PMV e PPD.- Campos hachurados = situações de conforto (ISO 7730/84)

P T O		ESTACÃO											
		INVERNO				VERÃO				OUTONO			
		MANHÃ		TARDE		MANHÃ		TARDE		MANHÃ		TARDE	
		PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD	PMV	PPD
S	1	-0.90	18.70	0.42	10.70					0.11	3.10	0.71	18.90
		0.71	19.00	-	-	0.92	27.22	3	100	0.15	6.70	2.03	82.10
		0.25	5.60	0.30	5.80					-	-	-	-
A	2	-0.68	12.10	0.91	26.90					0.63	16.30	0.81	22.70
		0.72	19.20	-	-	1.20	41.40	3	100	0.81	22.60	2.50	100.0
		0.32	6.00	0.44	10.20					-	-	-	-
L	3	-0.76	14.30	0.05	5.10					0.05	5.10	0.74	19.90
		0.68	17.90	-	-	0.87	25.20	3	100	0.46	11.50	1.94	77.80
		-0.53	8.90	0.25	7.20					-	-	-	-
A	4	-0.85	17.30	0.00	5.70					0.39	6.80	0.70	18.70
		0.72	19.40	-	-	0.85	24.50	3	100	0.10	3.20	1.85	73.40
		0.32	6.00	0.35	9.20					-	-	-	-
I	5	-1.08	26.10	0.02	5.70					0	5.20	0.82	22.80
		-	-	-	-	0.66	17.40	3	100	0.21	7.00	1.92	76.80
		-0.57	9.70	0.22	7.20					-	-	-	-
S	6	-0.60	10.30	0.13	6.60					-	-	-	-
		0.75	20.50	1.04	33.3	1.08	35.40	3	100	-	-	-	-
		-0.73	13.50	0.10	5.80					-	-	-	-
A	7	0.84	23.80	1.21	41.80	1.78	70.00	3	100	-	-	-	-
		-0.68	12.20	0.31	8.60					-	-	-	-
		-0.73	13.40	0.16	6.40					-	-	-	-
L	8	0.78	21.60	1.07	34.80	1.66	64.20	3	100	-	-	-	-
		-0.81	15.90	0.14	6.20					-	-	-	-
		-0.79	15.10	0.11	5.00					-	-	-	-
A	9	0.80	22.30	1.11	37.00	1.11	36.80	3	100	-	-	-	-
		-0.84	16.70	0.05	5.40					-	-	-	-
		-0.85	15.10	0.05	5.00					-	-	-	-
2	10	0.74	20.20	-	-	1.56	59.40	3	100	-	-	-	-
		-0.86	17.30	0.05	5.00					-	-	-	-

QUADRO 2 - Variações de temperaturas superficiais entre piso e forro nos pontos centrais das salas

PONTO		ESTACÃO											
		INVERNO				VERÃO				OUTONO			
		Var. Temp. Sup. Δt (°C)		Var. Temp. Sup. forro e piso (°C)		Var. Temp. Sup. Δt (°C)		Var. Temp. Sup. forro e piso (°C)		Var. Temp. Sup. Δt (°C)		Var. Temp. Sup. forro e piso (°C)	
		forro	piso	1ª	2ª	forro	piso	1ª	2ª	forro	piso	1ª	2ª
Sala 1	5	4.0	2.1	-0.3	1.6	14.3	5.2	1.5	10.6	4.2	2.6	-0.5	1.1
		0.0	-	0.0	-					10.5	4.1	-0.7	5.7
		3.6	1.9	0.3	2.0					-	-	-	-
Sala 2	10	5.2	2.3	-1.1	1.8	13.3	5.2	1.9	10.2	-	-	-	-
		1.2	0.5	0.4	1.1					-	-	-	-
		4.8	2.5	-0.7	3.2					-	-	-	-

QUADRO 3 - VARIAÇÕES DE TEMPERATURAS SUPERFICIAIS ENTRE PAREDES - Três medições no inverno, uma medição no verão e duas medições no outono (1ª l.= leitura da manhã; 2ª l.= leitura da tarde)

Ponto			ESTACÃO												
			INVERNO				VERÃO				OUTONO				
			Var. Temp. Sup. Δt (°C)		Var. Temp. Sup. faces (%)		Var. Temp. Sup. Δt (°C)		Var. Temp. Sup. faces (%)		Var. Temp. Sup. Δt (°C)		Var. Temp. Sup. faces (%)		
			Int.	Ext.	1ª	2ª	Int.	Ext.	1ª	2ª	Int.	Ext.	1ª	2ª	
SALA 1	A	N	4.2	3.9	23.6	17.5	11.7	13.9	5.6	9.3	2.9	-1.7	11.5	-5.3	
			2.6	3.3	0.5	3.4					11.5	7.2	27.4	13.5	
			5.1	3.3	10.9	0.5					-	-	-	-	
	A	B	O	4.1	5.9	0.6	8.6	11.4	12.9	6.4	8.1	-	-	-	-
				2.7	3.2	0	2.1					12.7	7.6	-16.5	10.6
				4.9	3.6	3.1	-4.1					-	-	-	-
	L	C	O	4.3	5.4	-3.5	3.1	10.2	12.2	3.7	7.7	2.6	0.8	2.1	-5.3
				2.8	3.3	0	2.1					9.9	10.4	32.8	12.3
				4.3	4.0	-0.7	-2.1					-	-	-	-
	A	D	S	2.6	2.3	-2.9	-4.4	9.5	11.4	1.5	6.1	2.9	1.8	0.9	-3.7
				2.4	2.1	-0.5	-1.8					7.0	6.7	2.8	-1.3
				3.4	2.6	-5.4	-9.3					-	-	-	-
1	E	Div	2.9	-	-	-	7.8	-	-	-	-	-	-	-	
			1.5	1.5	-	-					17.9	5.2	-10.8	-19.5	
			3.3	-	-	-					-	-	-	-	
SALA 2	F	Div	3.9	2.3	6.2	4.2	7.8	-	-	-	-	-	-	-	
			1.0	1.0	-	-					-	-	-	-	
			3.6	-	-	-					-	-	-	-	
SALA 2	G	S	3.7	2.5	-0.8	-5.1	7.6	10.0	3.8	3.8	-	-	-	-	
			1.3	1.7	-2.0	0.0					-	-	-	-	
			3.4	2.3	4.1	-2.9					-	-	-	-	
A	H	S	3.5	2.4	0.0	-6.9	9.9	6.6	14.6	3.0	-	-	-	-	
			1.3	2.0	-2.0	1.4					-	-	-	-	
			3.9	2.3	6.2	-4.2					-	-	-	-	
L	I	L	1.6	-3.6	22.1	-4.9	10.5	9.8	7.1	3.4	-	-	-	-	
			1.5	2.3	-1.5	2.2					-	-	-	-	
			3.6	0.9	10.2	-6.6					-	-	-	-	
A	J	L	3.3	1.3	8.7	-7.5	5.1	-5.4	26.1	2.4	-	-	-	-	
			1.9	2.6	-1.0	2.2					-	-	-	-	
			4.1	1.8	8.9	-5.2					-	-	-	-	
2	K	N	4.6	2.7	25.0	14.9	10.7	13.5	2.3	8.5	-	-	-	-	
			1.6	3.0	0	6.0					-	-	-	-	
			5.9	1.7	22.1	-0.5					-	-	-	-	

CONCLUSÕES

Considerando a escala psicofísica, pode-se constatar que a escola, nas condições de inverno, apresenta características de ambiente neutro, com pequenas variações no decorrer do dia, ou seja, apresenta-se como ambiente levemente fresco (PMV entre 0 e -1) - no período da manhã - e chega a caracterizar-se como ambiente levemente cálido (PMV entre 0 e +1) - no período da tarde.

Para a sala 1, no decorrer do dia e em condições avaliadas no outono, o protótipo caracteriza-se como neutro a quente, apresentando índices de PMV que oscilam entre 0 e 3.

No verão, pelos valores de PMV e PPD a edificação mostra-se extremamente desconfortável à tarde, porém no período da manhã, este ambiente classifica-se como neutro a cálido (PMV entre 0 e 2).

Comparação entre salas 1 e 2. No verão, tanto a sala 1 quanto a sala 2 apresentam-se desconfortáveis. No inverno, ambas as salas mostram-se desconfortáveis no período da manhã e confortáveis no período da tarde. Porém, na sala 2, registra-se um maior número de pontos em tal situação, o que pode ser atribuído a sua orientação e posição em relação aos prédios adjacentes.

Considerações complementares. A partir do estudo do protótipo escolar, baseado nas especificações da norma ISO 7730/1984 e considerando as medições locais, conclui-se que, nos períodos avaliados, a edificação apresentou níveis razoáveis de desconforto para inverno e outono e níveis extremos para verão.

Estes resultados indicam a necessidade de reavaliar o projeto tendo em vista a adequação aos limites recomendados de conforto, sem lançar mão de dispositivos mecânicos de aquecimento e refrigeração. Mas, tais considerações só se justificam se for o caso de uso permanente da edificação, e não para a forma como o projeto foi concebido, ou seja, para uso emergencial.

Mesmo assim, para fins de aprimoramento da tecnologia, sugere-se que no caso de uma reavaliação seja considerada a necessidade de diminuir a transmitância e melhorar a capacidade de amortecimento dos fechamentos verticais e horizontais da edificação. Desta forma, estaria se buscando uma solução para contornar a constatada facilidade de ganhos e perdas de calor entre as superfícies externa e interna, e a influência das temperaturas média radiante no desconforto interno das salas.

Atenção especial deve ser dedicada ao forro e cobertura, pois verificou-se que este plano tem importante contribuição nas mudanças de temperaturas internas no decorrer do período, e que o detalhe construtivo de ventilação entre forro e telhado não se mostrou eficiente para situações de baixa movimentação do ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKUTSO, M., SATO, N. M. N., PEDROSO, N. G. *Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais e Escolares. Manual de Procedimentos para Avaliação.* São Paulo, IPT. Divisão de Edificações, Publicação 1732, 1987. 74p.
2. ARAÚJO, George. A., BICCA, Ismael da Silva, FERNANDES JR., Humberto, FONSECA, Newton. *Análise de Desempenho Térmico Pós-ocupação de Edificações - Projeto Escola em Argamassa Armada.* Porto Alegre. Trabalho da Disciplina CIVP 60. CPGEC/UFRGS, 1993. 18p.
3. ARRUDA, Andrea V., POUÉY, Maria Tereza. *Análise de Desempenho Térmico de um Protótipo Escolar.* Trabalho da Disciplina CIVP 60, CPGEC/ UFRGS, Porto Alegre, 1994. 3 1p.
4. BOEMEKE, Agia Maria da Silva, SABALSAGARAY, Blanca Stela, SCHIMITT, Nara Medina. *Avaliação do Comportamento Térmico de Protótipo Escolar em Argamassa Armada.* Porto Alegre. Trabalho da Disciplina CIVP 60, CPGEC/UFRGS, 1994. 63p.

5. BRÜEL, KJAER. Instruction Manual, Indoor Climate Analyzer Type 1213, Nacrum Offset, Denmark.
6. CANTO, Diana I. Schossler do, GEYER, André, RECENA, Fernando Antonio. *Análise de Desempenho Térmico Pós-ocupação de Edificações - Projeto Escola em Argamassa Armada*. Porto Alegre, Trabalho da Disciplina CIVP 60, CPGEC/UFRGS, 1992. 27p.
7. FERREIRA, A M., SILVA, D.A., SILVA, L.B. *Análise de Desempenho Térmico de um Protótipo Escolar*. Porto Alegre. Trabalho da Disciplina CIVP 60, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil/ UFRGS, 1991.
8. GEYER, André L, RECENA, Fernando Antonio. *Análise de Desempenho Térmico Pós-ocupação de Edificações - Projeto Escola em Argamassa Armada*. Porto Alegre, Trabalho da Disciplina CIVP 60, CPGEC/UFRGS, 1993. 27p.
9. GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. London, Applied Sciences Publishers Ltd., 1981. 483p.
10. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD) indices and specification of the conditions for thermal comfort: ISO 7730, 1984. 19p.
11. RIVERO, Roberto. *Arquitetura e Clima: Acondicionamento Térmico Natural*. Porto Alegre D.C. Luzzatto Editores, 1986. 240p.
12. SANTOS, Aguinaldo dos, MALHEMOS, Margô R., SILVEIRA, Adriana A., SCARDOELLI, Lisiane S. *Análise de Desempenho Térmico Pós-ocupação de Edificações - Projeto Escola em Argamassa Armada*. Porto Alegre. Trabalho da Disciplina CIVP 60, CPGEC/UFRGS, 1993.18p.
13. SCHULER, Andrea, FARIA, Marion. *Avaliação do Desempenho Térmico de uma Edificação Protótipo do "Projeto Escola em Argamassa Armada"*. Porto Alegre. Trabalho da Disciplina CIVP 60, CPGEC/UFRGS, 1994. 56p.
14. UBER, L. L. A. *Climatologia Aplicada ao Ambiente Construído: Uma Contribuição à Caracterização Climática de Porto Alegre/RS*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Engenharia, CPGEC/UFRGS, 1992.