

## **CORRELAÇÃO ENTRE O PMV E OS VOTOS DE SENSAÇÃO TÉRMICA OBTIDOS EM AMBIENTES INDUSTRIAIS.**

**Eder R. Voltani (1); Lucila C. Labaki (2)**

(1) Mestrando da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP – Campinas – SP; e-mail: edervoltani@gmail.com

(2) Prof<sup>a</sup>. Da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP – Campinas – SP; e-mail: lucila@fec.unicamp.br

### **RESUMO**

Para realizar uma avaliação de conforto térmico pode-se utilizar do método PMV – *Predicted Mean Vote* e o PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*. Em 1984 esse método foi adotado pela *International Organization for Standardization*, (ISO) 7730, para avaliação de conforto térmico, o qual passou por atualizações em 1994 e 2005. A partir da publicação deste método diversas pesquisas foram realizadas para testar o modelo adotado, uma vez que existiam dúvidas quanto à aplicabilidade deste método em campo e para diferentes regiões climáticas. O presente artigo tem por objetivo coletar informações que contribuam para a análise da aplicabilidade do método da ISO 7730. O local escolhido para desenvolver o trabalho foram algumas indústrias de calçados da região de Jaú – SP. Quanto à metodologia foi coletada parte dos dados ambientais (temperatura do globo e temperatura do ar) por meio do equipamento teste 175, com dois sensores, sendo que um deles conectado no globo. Para velocidade do ar foi utilizado o anemômetro multidirecional da marca teste modelo 405 V1. Para umidade relativa foi utilizado o equipamento da marca teste modelo 175-H1. Com relação aos parâmetros pessoais, a resistência térmica das vestimentas foi estimada por meio das tabelas da ISO 9920 (1995) e a taxa de metabolismo foi estimada por meio das tabelas da ISO 8996 (1990). Simultaneamente foi aplicado um questionário junto aos funcionários que visa relatar a sensação e preferências térmicas da população pesquisada. Foram coletados 790 conjuntos de dados os quais apresentaram diferenças significativas entre os resultados do PMV e os Votos de Sensação Térmica da população pesquisada no período de inverno.

Palavras-chave: conforto térmico, ISO 7730, ambientes industriais.

### **ABSTRACT**

To conduct an assessment of thermal comfort the method PMV - Predicted Mean Vote Predicted in PPD-Percentage of Dissatisfied can be used. In 1984 the method was adopted by International Organization for Standardization (ISO) 7730, for evaluation of thermal comfort, which went through updates in 1994 and 2005. Since the publication of the method several surveys were conducted to test the model adopted, since there were doubts about the applications in the field for different climatic regions. The aim of this work is to collect information that contribute to the analysis of the applicability of method ISO 7730. The place chosen to develop the work were some of shoe industry in the region of Jaú - SP. For this sake, some environmental parameters were collected (globe temperature and the air temperature) through the equipment teste 175, the air velocity was monitored by the anemometer teste 405 V1 model, air humidity was monitored by the equipment teste 175-H1 model. The personal parameters were monitored in the following way: the clothing insulation was estimated by tables ISO 9920 (1995) and metabolic rate was estimated by tables ISO 8996 (1990), simultaneously questionnaire application relative to thermal sensation and preferences. 790 votes were collected where showed significant differences between the results of PMV and the Votes of Thermal Sensation of population in the winter season.

Keywords: thermal comfort, ISO 7730, industrial environments

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 A norma ISO 7730.

A norma ISO 7730 foi criada em 1984 e levou o título de *Moderate Thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, sendo que o método de Fanger (1970) foi adotado como base para elaboração. Em 1994 a ISO 7730 foi atualizada, mantendo este método como base (GOUVÊA, 2004).

Seus estudos foram desenvolvidos com pessoas norte-americanas, européias e concorda com estudos desenvolvidos no Japão com pessoas expostas a ambientes termicamente moderados. Apesar dos resultados desta norma ter uma considerável aproximação em grande parte do mundo, alguns desvios causados pelas diferenças étnicas e geográficas chamaram a atenção de diversos pesquisadores (ISO 7730, 2005).

## 1.2 Pesquisas que utilizaram o PMV no Brasil.

No Brasil, alguns trabalhos trataram sobre o assunto avaliação de conforto térmico e confrontaram os resultados deste método com os obtidos em campo. Em particular, destacam-se os trabalhos de Araújo (1996), Xavier e Lamberts (1997), Gonçalves (2000), Xavier (2000), Vergara (2001), Carvalho et al.(2003), Lassarotto (2007), Pasquotto, Salcedo e Fontes (2007). Estes trabalhos foram desenvolvidos em ambientes de escritório, hospital e escolas.

Araújo desenvolveu um trabalho cujo objetivo foi determinar os parâmetros das variáveis ambientais que propiciam o conforto e comparou com os índices de PMV/PPD. Para isso utilizou 933 alunos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Como conclusão, constatou-se que os resultados da relação entre PMV e PPD obtidos nesta pesquisa foram significativamente diferentes e, conforme Araújo (1996), dessa maneira, inviabiliza a utilização deste método para a região de estudo.

O trabalho de Xavier e Lamberts (1997) teve por objetivo determinar a porcentagem de insatisfeitos em salas de aula da Escola Técnica Federal de Santa Catarina. Neste trabalho os alunos desenvolveram atividades de 1,2 met (taxa de metabolismo) e os votos de sensação térmica foram obtidos na escala descritiva de sete pontos.

A Equação 1.2 mostra a relação da porcentagem de insatisfeitos e a temperatura operativa que foi obtida por regressão linear com os dados da pesquisa de Xavier e Lamberts (1997):

$$PI = 1,4151.T_o^2 - 65,772.T_o + 784,22 \quad (\text{eq. 1.2})$$

A conclusão foi que a utilização do método através do gráfico para determinar a porcentagem de insatisfeitos pode dar uma noção clara de qual será a temperatura de neutralidade na prática.

Outro trabalho que comparou os índices de PMV/PPD com os obtidos em campo foi desenvolvido por Gonçalves (2000) em Belo Horizonte. O autor concluiu que este método é aplicável para população em questão, contudo o valor de PPD obtida para a condição de neutralidade foi aproximadamente 27%, valor significativamente maior do que 5% indicado pelo método.

Com os objetivos de desenvolver um algoritmo analítico para a determinação da sensação de conforto térmico por meio de dados obtidos em estudos de campo, aplicados em Florianópolis-SC, Brasília-DF e Recife-PE, verificar a influencia dos mecanismos físicos de troca de calor na sensação de conforto térmico e analisar a zona de conforto para pessoas em atividade sedentária, Xavier (2000) obteve uma similaridade de tendência entre o PMV e as sensações relatadas quando a taxa metabólica é determinada em função das características individuais.

O resultado da análise cujo variável efeito foi a sensação térmica e as variáveis causa foram os mecanismos de troca de calor e a taxa de metabolismo mostrou que mais de 60% dos efeitos sobre a sensação térmica são ocasionadas pela inter-relação entre os processos de troca de calor, 30% por efeito direto desses processos e 10% devido a outras causas. Como conclusão Xavier realçou a importância de se considerar a ação integrada dos processos de troca de calor nas pesquisas de conforto térmico.

O trabalho de Vergara (2001) relatou sobre as dificuldades relacionadas a estimativas de produção metabólica para as atividades. O objetivo deste trabalho foi estabelecer as condições de conforto térmico da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Universitário de Florianópolis. Dessa forma, foi demonstrado que as sensações térmicas obtidas são bem diferentes das calculadas por meio do método PMV, devido, principalmente, as taxas metabólicas fixas encontradas na norma ISO 7730 (1994).

O autor sugere, com base nas considerações relatadas em seu trabalho, uma análise detalhada das taxas metabólicas estimadas e propõe uma verificação das variáveis analisadas no método PMV.

Com objetivo de avaliar o conforto térmico de salas de aula, exposições e de estudos do Centro Universitário de Araraquara, Carvalho et al. (2003) utilizaram-se do método computacional de Fanger e, dessa maneira concluiu que na maioria dos períodos, as salas apresentaram situação de desconforto térmico.

O trabalho desenvolvido por Lassarotto (2007) procurou verificar a aplicabilidade dos modelos normalizados para avaliação de conforto térmico de crianças em atividade escolar.

Para isso foram escolhidos aleatoriamente cinco turmas de dois colégios da rede privada da cidade de Ijuí – RS, totalizando uma amostra de 115 alunos com idades entre oito a onze anos. A cada 15 dias dos meses de março, abril, maio, junho e agosto de 2006 foram realizadas as medições e aplicações dos questionários sobre sensação térmica. Como resultado foi obtido uma correlação 62,6% entre os valores médios de PMV calculado e as sensações médias relatadas.

Como conclusão, a autora relata que os valores de sensação obtidos que superaram os valores de PMV indicam que as crianças sentem-se levemente mais aquecida do que o modelo PMV estima. Conforme Lassarotto, essa diferença possivelmente ocorre devido às imprecisões nos valores de taxa de metabolismo envolvidos no cálculo do PMV.

O trabalho de Pasquotto, Salcedo e Fontes (2007) realça os possíveis erros na avaliação do conforto térmico devido à inclusão de dados incorretos do metabolismo e características culturais, principalmente para as crianças. Este trabalho foi realizado no Centro de convivência infantil (CCI), que pertence à Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” em Bauru. O objetivo principal foi comparar os resultados de conforto térmico real com os do conforto calculado para identificar semelhanças e diferenças entre os dois processos utilizados.

Pasquotto concluiu que para o inverno o conforto calculado dos funcionários foi muito próximo do real, contudo próximo à linha de conforto existe uma opinião diversa entre o desconforto por frio ou calor. Para o período de verão foi encontrada uma semelhança entre a sensação de desconforto calculada e a obtida em loco, pois ocorreu grande insatisfação dos funcionários pelo calor.

Na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, algumas pesquisas têm sido realizadas, com aplicação do método PMV, em ambientes industriais com atividade de leve a moderada. Destacam-se as pesquisas de Barbosa (2004), realizada em indústrias de móveis de Itatiba – SP, e a de Gouvêa (2004) na indústria de confecção de Amparo – SP.

Barbosa (2004) desenvolveu uma pesquisa sobre conforto térmico em indústrias de móveis de Itatiba – SP no período de março a agosto de 2003. Como conclusão a autora verificou que do total de 914 conjuntos de respostas obtidas pela aplicação dos questionários, apenas 39 respostas, ou seja 4,3% encontram-se dentro dos limites de PMV recomendados pela ISO 7730 (1994).

Na pesquisa de Gouvêa (2004) o objeto de estudo foi a indústria de confecção da cidade de Amparo – SP. Com objetivo em comum entre as pesquisas citadas, Gouvêa concluiu que houve uma concordância mediana entre o PMV e a sensação térmica indicada pelos indivíduos avaliados por meio da aplicação dos questionários.

Estas pesquisas fornecem subsídios para a análise de viabilidade do uso da norma ISO 7730, como meio de avaliação do conforto térmico nos ambientes industriais nas condições citadas. Portanto, é necessário que pesquisas deste tipo analisem a viabilidade do uso da norma sobretudo com outras taxas de metabolismo.

## **2 OBJETIVO**

O objetivo deste artigo é obter subsídios para a análise da aplicabilidade do modelo PMV da norma ISO 7730 como meio de avaliação do conforto térmico em ambientes de trabalhos industriais onde a atividade seja de leve a moderada.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Delimitação do campo de pesquisa**

Esta pesquisa foi desenvolvida em indústrias de calçados localizadas na região do município de Jaú – SP. Para garantir o sigilo das identidades das indústrias elas serão referidas com as letras A, B, C, D, E, F e G para identificá-las.

### **3.2 Equipamentos utilizados para mensurar as variáveis ambientais**

Para coletar as variáveis ambientais (temperaturas do ar e do globo) foram utilizados registradores de temperatura da marca testo de modelo 175 – T2 que possui sensor interno e entrada para sensor externo. Para coletar a temperatura de globo foi utilizado um sensor de temperatura da marca testo, conectado no registrador modelo 175 – T2, inserido no interior de uma esfera oca de cobre com aproximadamente 1 milímetro de espessura e diâmetro de 152,4 milímetros, pintado externamente de preto fosco, garantindo assim a emissividade de 0.95.

Para obter o valor da temperatura radiante média foi utilizado o *software* Conforto 2.03 (RUAS, 2002), inserindo o valor da temperatura do ar, velocidade do ar e características do globo utilizado. Para coletar a umidade foi utilizado o registrador de temperatura e umidade da marca testo modelo 175 – H1. Para mensurar a velocidade do ar foi utilizado o sensor de esfera quente de 3 milímetros da marca testo modelo 0635 1549 conectado no registrador multi-função da marca testo modelo 445.

### **3.3 Coleta das variáveis pessoais**

Para obter as variáveis pessoais foram aplicados os questionários sobre sensação e preferência térmica, juntamente com as medições das variáveis ambientais. Por meio dos questionários aplicados, foi possível registrar as informações como idade, sexo, altura, peso, vestimenta e atividades exercidas naquele momento. Contudo, os valores conferidos para taxa metabólica e isolamento térmico da vestimenta foram estimados por meio das tabelas da ISO 8996 (1990) e ISO 9920 (1995), respectivamente.

Existem três maneiras para estabelecer os valores das taxas de metabolismo, a primeira com maior exatidão dos valores é por meio da mensuração do consumo de oxigênio. A segunda, com menor exatidão do que a primeira é o registro da frequência cardíaca durante o desenvolvimento das atividades. Contudo o primeiro e o segundo método necessitam de equipamentos adequados que geralmente não estão disponíveis nas aplicações em campo. O terceiro método, o que foi utilizado neste trabalho é por meio de Tabelas com valores referenciais.

Conforme ISO 8996 (1990) e ISO 7730 (2005) para representar o ciclo de trabalho por meio da taxa de metabolismo é necessário observar as atividades desenvolvidas no mínimo durante uma hora que corresponda à condição de sobrecarga térmica mais desfavorável. O ciclo de exposição, conforme a Norma de Higiene Ocupacional (NHO 06) da Fundacentro (2002), é o conjunto de situações térmicas ao qual o indivíduo é submetido, conjugado a várias atividades físicas desenvolvidas, em uma sequência pré-definida, e que se repete de forma contínua no decorrer da jornada de trabalho.

Por meio da observação foi possível identificar as diferentes solicitações físicas e os descansos realizados nesse período para realizar uma cautelosa ponderação do metabolismo para cada atividade em relação ao tempo.

Para análise dos movimentos foram realizadas filmagens das atividades executadas pelos funcionários, sendo identificadas 6 atividades em comum nas indústrias, tais como:- Cortador (manual ou mecânico); - Preparador; - Pespontador; - Auxiliar de Montagem; - Montador; - Embalador.

O procedimento analítico, conforme ISO 8996 (1990), para estimar a taxa metabólica pelo somatório dos seguintes valores foram:

- Taxa metabólica basal;
- Componente devido à postura corporal;
- Componente devido ao tipo de tarefa;
- Componente devido à movimentação corporal relacionada à velocidade de trabalho.

A tabela 3.1 apresenta a determinação do metabolismo para as atividades em questão.

**Tabela 3.1** – Determinação do metabolismo para diversas atividades

Atividades	Basal W/m <sup>2</sup>	Postura W/m <sup>2</sup>	Tipo de tarefa W/m <sup>2</sup>	Mov. do corpo	Resultado
Cortador (Manual ou mecânico)	44	25 em pé	48 Trab. leve com 2 braços	0	154W/m <sup>2</sup> ou ± 2 met
Preparador	44	10 sentado	39,12 Trab. leve com 2 braços	0	93,12 W/m <sup>2</sup> ou ± 1,4 met
Pespontador	44	10 sentado	54,5 Trab. leve com 2 braços	0	139W/m <sup>2</sup> ou ± 1.8 met
Aux. Montador	44	25 em pé	12,5 Trab. leve com os braços	0	81.5 W/m <sup>2</sup> ou ± 1,4 met
Montador	44	10 sentado	62,4 Trab. moderado com 2 braços	0	159W/m <sup>2</sup> ou ± 2 met
Embalador	44	25 em pé	12,48 Trab. leve com braço	0	139W/m <sup>2</sup> ou ± 1,4 met

Os valores da resistência térmica da vestimenta foram obtidos pelo somatório dos isolamentos das peças que as compõem, por meio das tabelas encontradas na ISO 9920 (1995).

### 3.4 *Software Conforto 2.03*

Para obter os valores do PMV foi utilizado o *software* Conforto 2.03 que foi desenvolvido com base nas normas ISO 7730 (1994), ISO 8996 (1990), ISO 9920 (1995), ISO 7726 (1998) e ASHRAE 41.6 (1994).

### 3.5 Coleta dos dados de campo

Os dados coletados foram obtidos por meio de medições de inverno realizados em vários dias durante o período de 17 de julho a 02 de agosto de 2007.

Como a finalidade da escolha dos pontos é encontrar uma determinada condição térmica média do grupo avaliado foi realizado um levantamento da situação de conforto em um determinado ambiente, dividindo as áreas ocupadas pelos funcionários, em quadrados iguais e dessa forma foi mensurado as variáveis no centro desses quadrados. A exceção é para umidade relativa, que pode ser medida em qualquer ponto da área ocupada (RUAS, 2002 e FANGER, 1970).

Para medições das variáveis ambientais os equipamentos foram colocados na altura de 1,1 m do piso para grupo de pessoas sentadas e 1,7 m do piso para grupos de pessoas em pé.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterização das variáveis pessoais e ambientais da população pesquisada



Caracterização das variáveis pessoais e ambientais, pois é por meio delas que são obtidos os parâmetros do conforto térmico, importante realçá-los para melhor entendimento das 790 sensações coletadas, conforme Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** – Caracterização das variáveis ambientais e pessoais

Empresa		A	B	C	D	E	F	G	Todas
Tamanho da Amostra		183	145	117	118	111	44	72	790
Vestimenta (clo)	média	0,79	0,95	0,75	0,87	0,97	0,62	0,53	0,82
	desvio padrão	0,38	0,29	0,29	0,35	0,38	0,20	0,16	0,35
	mínimo	0,21	0,40	0,33	0,48	0,49	0,50	0,30	0,21
	máximo	1,57	1,82	1,67	1,80	1,89	1,40	1,10	1,89
Taxa de Metabolismo (met)	média	1,65	1,43	1,61	1,63	1,50	1,50	1,40	1,55
	desvio padrão	0,28	0,10	0,28	0,27	0,24	0,17	0,00	0,25
	mínimo	1,40	1,20	1,40	1,4	1,20	1,40	1,40	1,20
	máximo	2,00	1,80	2,00	2,00	2,00	1,80	1,40	2,00
Temperatura do ar (°C)	média	21,6	20,2	21,8	19,0	20,9	23,5	25,2	21,3
	desvio padrão	2,53	2,25	2,33	2,87	2,14	3,45	3,25	3,08
	mínimo	15,9	14,7	18,0	13,7	17,6	17,9	19,3	13,7
	máximo	25,0	23,0	24,8	23,2	25,0	27,0	28,4	28,4
Temperatura Radiante Média (°C)	média	21,7	20,5	22,0	20,2	20,9	24,1	25,4	21,7
	desvio padrão	2,37	2,06	2,25	2,59	1,94	3,65	2,78	2,90
	mínimo	16,1	15,1	18,0	14,7	18,2	18,1	20,7	14,7
	máximo	26,6	23,9	24,8	27,8	25,8	29,9	29,3	29,9
Velocidade do Ar (m/s)	média	0,20	0,16	0,12	0,19	0,15	0,15	0,34	0,19
	desvio padrão	0,07	0,04	0,04	0,09	0,04	0,08	0,13	0,09
	mínimo	0,07	0,07	0,09	0,10	0,10	0,09	0,10	0,07
	máximo	0,40	0,28	0,30	0,50	0,28	0,50	1,00	1,00
Umidade (%)	média	75,9	70,1	53,9	53,5	53,0	51,9	50,5	61,4
	desvio padrão	11,7	18,1	6,27	5,87	2,20	9,70	11,5	15,0
	mínimo	44,4	43,7	44,0	43,5	44,0	35,0	38,0	35,0
	máximo	95,9	96,0	67,0	63,6	56,0	67,0	70,0	96,0
Temperatura Operante (°C)	média	20,9	20,4	21,9	19,5	20,9	23,8	25,3	21,5
	desvio padrão	2,00	2,13	2,28	2,69	2,00	3,51	3,02	2,94
	mínimo	17,9	15,0	18,0	14,2	17,9	18,0	19,9	14,2
	máximo	24,2	23,2	24,8	24,3	24,2	28,4	28,3	28,4

Em relação as variáveis ambientais, a temperatura média verificada nos dias de medições foi 21,3 °C (desvio padrão = 3,08), a mínima temperatura do ar foi 13,7 °C e a máxima 28,4 °C, durante o decorrer dos dias das medições foram observados grandes variações da temperatura do ar. Já a umidade média ficou próxima 61,4 % (desvio padrão = 15), a velocidade do ar obteve média de 0,19 m/s (desvio padrão = 0,09 m/s), e a temperatura radiante média por volta dos 21,7 °C (desvio padrão = 2,9). Para as variáveis pessoais a média da taxa de metabolismo foi de 1,55 met (desvio padrão = 0,25) e a média do isolamento térmico das vestimentas foi de 0,82 clo (desvio padrão 0,35).

#### 4.2 Dados antropométricos e individuais da população avaliada

Conforme dados coletados a amostra pesquisada no inverno encontrou uma idade média de 28 anos (desvio padrão = 9), estatura média 1,68 m (desvio padrão = 0,09) e massa corporal média de 68,4 Kg (desvio padrão = 14,8) como mostra a Tabela 4.2.

**Tabela 4.2** – Caracterização da população pesquisada

Empresa		A	B	C	D	E	F	G	Todas
Tamanho da Amostra		183	145	117	118	111	44	72	790
Idade (anos)	média	32	29	29	28	25	30	23	28
	desvio padrão	8	11	8	8	7	8	5	9
	mínimo	18	17	17	16	16	17	16	16
	máximo	52	54	56	45	46	48	34	56
Altura (m)	média	1,69	1,64	1,68	1,70	1,65	1,64	1,69	1,68
	desvio padrão	0,08	0,08	0,06	0,09	0,07	0,07	0,08	0,09
	mínimo	1,50	1,49	1,52	1,52	1,49	1,52	1,55	1,49
	máximo	1,90	1,89	1,88	1,93	1,81	1,76	1,85	1,93
Peso (°C)	média	74,9	59,8	67,7	73,5	63,9	70,8	66,8	68,4
	desvio padrão	15,9	10,0	12,5	12,4	15,2	16,6	14,2	14,8
	mínimo	42,0	43,0	47,0	50,0	43,0	45,0	44,0	42,0
	máximo	120	85,0	107	99,0	108	110	95,0	120

### 4.3 Análise de regressão simples

O modelo de Regressão Linear Simples é uma equação matemática que expressa a estrutura de correlação existente entre duas variáveis: a variável de interesse, chamada variável resposta, e a variável explicativa, chamada preditora. Dessa forma, o modelo é dado pela Equação 4.3:

$$Y = \alpha + X\beta + \varepsilon \quad (\text{eq. 4.3})$$

$Y$  – Variável resposta;

$X$  – Variável preditora;

$\alpha$  – Intercepto;

$\beta$  – Coeficiente angular;

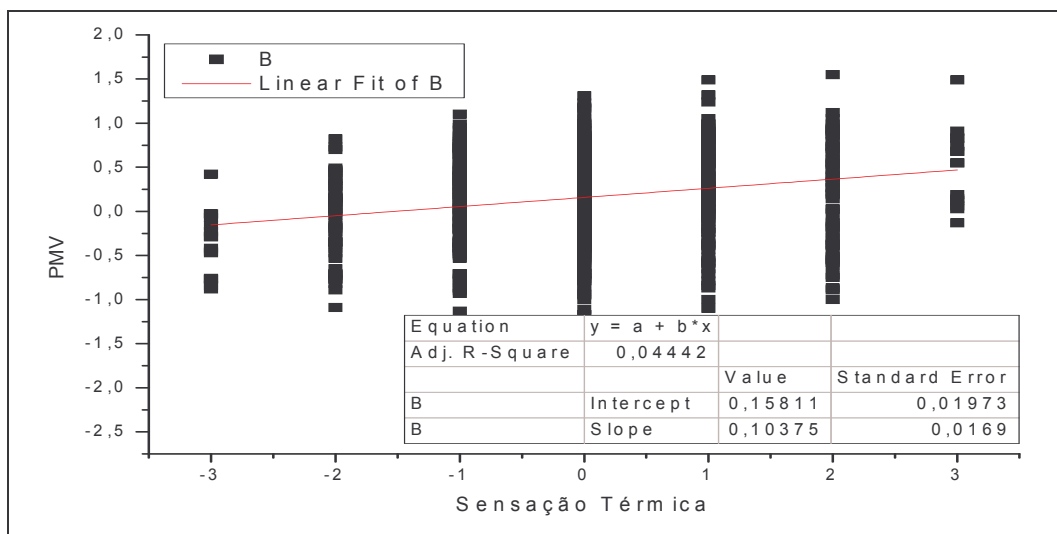
$\varepsilon$  – Erro (resíduo).

Na presente análise foi ajustado o modelo de PMV x Sensação térmica, que tem como objetivo verificar a relação existente entre o *Predicted Mean Vote* (variável resposta) e os votos das sensações térmicas (variável preditora), identificando qual a porcentagem dos resultados dos votos da sensação térmica, obtida por meio da aplicação do questionário, correlacionam com os resultados dos cálculos de PMV.

Conforme resultados da regressão simples a indústria A obteve 0,6% de correlação entre os votos de sensação térmica e os resultados do PMV calculados, para a indústria B foram 2,9%, para indústria C foram 4,9%, para indústria D foram 1,5%, para indústria E foram 1,4%, para indústria F foram 30,3% e para a indústria G foram 19,4%. Para quatro indústrias a porcentagem de correlação não ultrapassou os 5 % e para duas indústrias foram obtidas uma porcentagem maior.

A análise de regressão simples entre os votos de sensação térmica e os resultados obtidos pelos cálculos de PMV separados por taxa de metabolismo obtiveram os seguintes resultados: para taxa de metabolismo de 2 met foi encontrada uma porcentagem de correlação de 9,4%, para a taxa de metabolismo de 1,8 met a correlação foi de 7,4%, para 1,6 met foram 2%, para 1,4 met foi de 4% e para taxa de metabolismo de 1,2 met a correlação foi de 25,7%.

Utilizando os dados de todas as empresas a regressão simples apresentou uma correlação de 4,4%, conforme Figura 4.1.



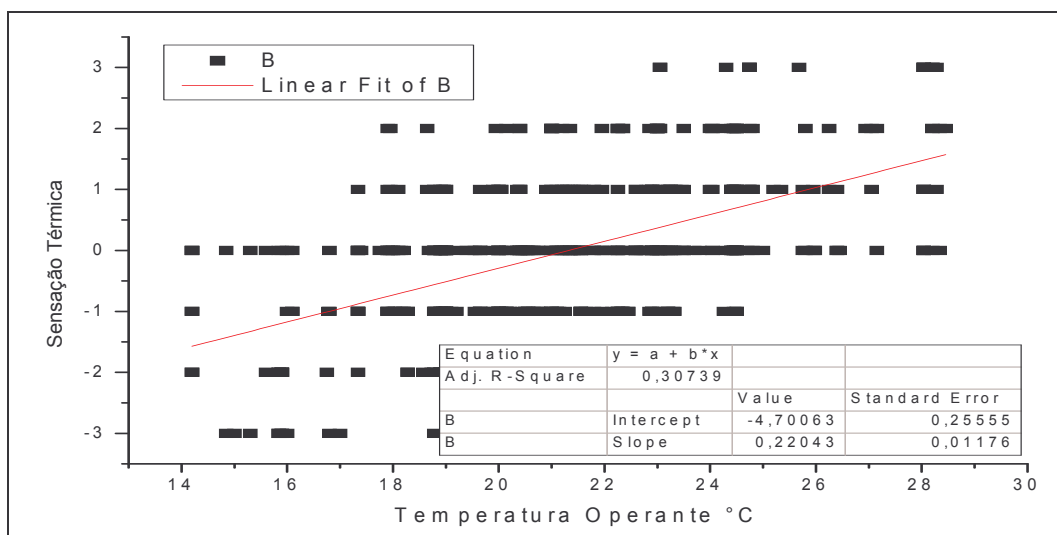
**Figura 4.1** – Análise de Regressão Simples (todas as indústrias) – PMV x Sensação Térmica

A partir da Figura 4.1 é possível notar que, caso a correlação entre a sensação térmica e o PMV fosse perfeita, encontrar-se-ia uma reta inclinada a 45° passando pela origem. Contudo a ausência desta situação pode ser atribuída as diferenças provenientes das respectivas escalas, pois o voto de sensação térmica obtida por meio do questionário tem uma escala com variação unitária, enquanto os resultados do PMV calculados variam continuamente no intervalo de -3 a +3.

#### 4.4 Obtenção de intervalos de temperaturas de conforto para a população avaliada

Para melhor abrangência da compreensão dos resultados foi realizada a determinação dos intervalos de temperatura de conforto para a população em questão.

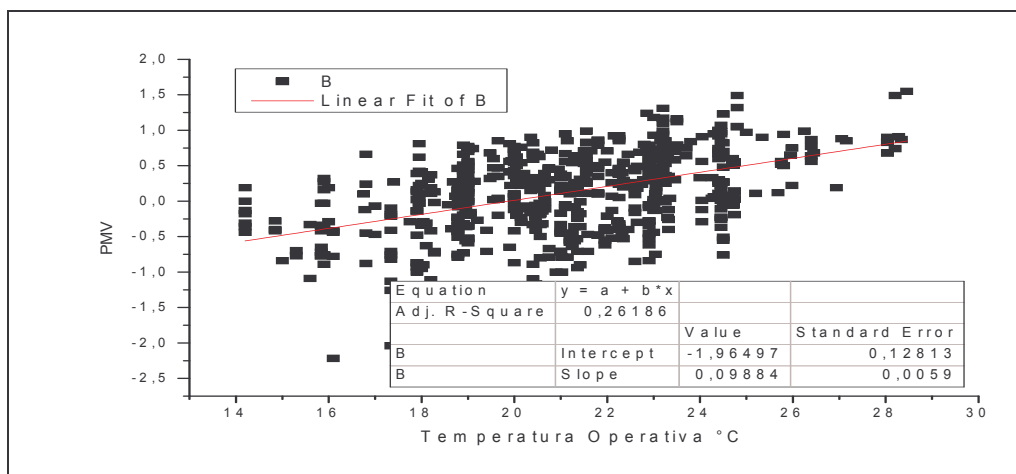
Por meio do critério adotado pela ISO 7730 (1994) onde a condição de conforto térmico se encontra entre 0,5 e -0,5 PMV, é possível obter um intervalo de temperatura de conforto entre 19,05 °C e 23,59 °C, aproximadamente (Figura 4.1). Esse intervalo é válido especificamente para a população avaliada.



**Figura 4.2** – Análise de Regressão Simples (todas as indústrias) – PMV x Temperatura Operativa

Através do mesmo critério citado acima, procurou-se a relação entre o PMV com a Temperatura Operativa, por meio de regressão simples (Figura 4.3). Neste caso, o intervalo de temperatura de conforto obtido está entre 14,08 °C e 24,9 °C





**Figura 4.3** – Análise de Regressão Simples (todas as Indústrias) – Sensação Térmica x Temperatura Operativa

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como considerações finais, são apresentados os aspectos mais importantes da pesquisa desenvolvida.

Na análise de regressão simples, que correlacionou o que as pessoas diziam sentir (sensação térmica obtida por meio dos questionários) com o que era estabelecido pelo método PMV para uma mesma condição térmica, indicou maior porcentagem de correlação para atividades leves do que para atividades moderadas e apresentou uma correlação consideravelmente baixa para os dados obtidos no período de inverno, tendo uma concordância mediana com os resultados obtidos por Barbosa (2004).

Os desvios encontrados entre os resultados podem ser devido à soma de diversos fatores:

- Os experimentos que serviram de base para o método PMV foram realizados em ambientes controlados com indivíduos treinados, enquanto esta pesquisa foi realizada em ambientes reais com indivíduos não treinados, que receberam orientações no momento da coleta de dados. Dessa maneira, a interpretação da escala de sensações por parte das pessoas questionadas é um fator de difícil controle.
- Os valores referenciais do isolamento térmico da vestimenta encontrada na ISO 9920 (1995) foram obtidos com vestimentas produzidas em outros países e conforme a norma ISO 8996 (1990), o uso de tabelas para estimar a taxa de metabolismo pode oferecer um risco de erro de 15%, estes itens têm grande importância no cálculo do PMV e podem ser uma fonte de possíveis erros na interpretação das variáveis pessoais.
- Os resultados dos cálculos do PMV são obtidos em uma escala contínua de -3 a +3 enquanto que a escala de questionamento tem variação unitária. Dessa forma, estabeleceu-se uma tolerância de  $\pm 0,5$  nos votos extraídos dos questionários, sendo assim outra fonte de possíveis desvios na correlação dos resultados.

Para finalizar, foram encontradas diferenças significativas entre os resultados do PMV e os Votos de Sensação Térmica da população pesquisada no período de inverno.

## 6 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS,. **ASHRAE 41.6**; Method for measurement of moist air properties. Atlanta, 1994.

ARAÚJO, V.M.D.; **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. Tese (Doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1996.

BARBOSA, M.M.P. **Avaliação de conforto térmico na indústria moveleira de Itatiba- SP**. Dissertação (Mestrado), UNICAMP, Campinas, 2004.

CARVALHO, T.C.P.; FONTOLAN, F.R.; MICELI, S.M.; EVANGELISTI, I.G. Avaliação do conforto térmico em salas de aula de uma escola de arquitetura em Araraquara/SP. In: ENCAC/COTEDI 2003 - III Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 2003, Curitiba/PR. **Anais...** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2003, p. 433-440.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort** – Analysis and Application in Engineering. Copenhagen, 1970.

GONÇALVES, W.B. **Estudo de índices de conforto térmico avaliado com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

GOUVÊA, T. C.; **Avaliação do conforto térmico: Uma experiência na indústria da confecção**, Campinas: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, 146p. 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 7730 (1984)** “Moderate thermal environments-determination o the PMV and PPD indices and specification of conditions for thermal comfort”. Geneva.

\_\_\_\_\_. **ISO 7730 (1994)** “Moderate thermal environments-determination o the PMV and PPD indices and specification of conditions for thermal comfort”. Geneva

\_\_\_\_\_. **ISO 7730 (2005)** “Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria”. Geneva

\_\_\_\_\_. **ISO 7726 (1998)** “Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. International Organization for Standardization”. Switzerland.

\_\_\_\_\_. **ISO 8996 (1990)** “Ergonomics – Determination of metabolic heat production thermal environments – resistance of clothing ensemble”. Geneva.

\_\_\_\_\_. **ISO 9920 (1995)** “Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble”. Geneva.

LASSAROTTO, N.; SANTOS, J. C. P.; Avaliação do Conforto Térmico de Estudantes do Ensino Fundamental na região do nordeste do RS. In: ENCAC 2007 – IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto/MG. **Anais...** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2007, p. 1038-1046.

PASQUOTTO, G. B.; SALCEDO, R. F. B.; FONTES, M. S. G. C.; Conforto Térmico em Ambientes Escolares nos períodos de verão e inverno: uma análise qualitativa e quantitativa do Centro de Convivência Infantil da UNESP-Bauru. In: ENCAC 2007 – IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto/MG. **Anais...** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2007, p. 1376-1384.

RUAS, A. C.; **Sistematização da avaliação do conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. Campinas: Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, 182p. 2002.

VERGARA, L.G.L. **Análise das condições de conforto térmico de trabalhadores da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Universitário de Florianópolis**. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado), UFSC, 2001.

XAVIER, A.A.P., LAMBERTS, R. Temperatura interna de conforto e porcentagem de insatisfeitos para atividade escolar: Diferenças entre a teoria e a prática. In: ENCAC 1997 – IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1997, Salvador/BA. **Anais...** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), p.189-204. 1997.

XAVIER, A.A.P. Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividade sedentária. Teoria física aliada a estudos de campo. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. 251 p. Florianópolis, 2000.

## 7 AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pela bolsa de estudos – Processo 2006/023734-8, as indústrias de calçados que disponibilizaram o ambiente, incluindo os funcionários que colaboraram com a pesquisa, a Profª Lucila Chebel Labaki pela orientação nos momentos mais importantes e o Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada – LACAF.