

Relações entre Preferências Térmicas Humanas no Interior de Edificações e as Temperaturas Externas: Um Estudo sobre o Método Adotado na Norma ASHRAE 55-2004

Adriana Dias Gomes (1); Maurício Roriz (2)

(1) Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPG-CIV – Universidade Federal de São Carlos – UFSCar – Rodovia Washington Luís, km 235, São Carlos, SP – Brasil.

e-mail: drdiasgomes@hotmail.com

(2) Universidade Federal de São Carlos – UFSCar – Rodovia Washington Luís, km 235, São Carlos, SP – Brasil.

RESUMO

O termo “conforto térmico” abrange muitos fatores do comportamento térmico subjetivo na relação com o clima interno e externo. A aceitabilidade térmica do homem aos efeitos do clima depende de vários aspectos, não só das condições climáticas do local, mas também de fatores pessoais que podem interferir significativamente nas suas preferências térmicas, bem como no rendimento físico e mental do seu organismo. Quanto maior a variação destas condições, maior será a porcentagem de insatisfeitos em um ambiente, devido às exigências pessoais de cada indivíduo. Assim, atender as expectativas do homem em relação ao conforto térmico, considerando suas necessidades e limitações, tem sido um dos focos de estudos nesta área, que destaca a importância do tema no planejamento, projeto e execução de edificações. A metodologia utilizada por Richard De Dear (1997) no projeto *ASHRAE RP-884* foi o procedimento Probit no software SAS, versão 8 (SAS Institute, Cary, NC, USA, 1999) para as temperaturas preferidas obtidas, e de regressão linear para os limites de conforto aceitáveis pela população avaliada. O objetivo geral desta pesquisa é interpretar o método adotado por De Dear (1997) e aplicá-lo nos dados obtidos da ampla Base de Dados da *ASHRAE* (2004), como fim de entender como foram obtidas as temperaturas de conforto (temperaturas preferidas) e a aceitabilidade térmica de pessoas submetidas a determinadas condições térmicas internas, em ambientes naturalmente ventilados. Os resultados da análise Probit mostram que a temperatura preferida é aproximadamente 25°C, a exatamente 0,5 de probabilidade de respostas, ou seja, 50% dos entrevistados. Diante dos resultados obtidos, verificou-se a aplicabilidade da análise Probit, como um método de grande eficácia para o estudo e a determinação de probabilidades de variáveis binárias, as quais apontam duas situações de interesse para a pesquisa.

ABSTRACT

The expression “thermal comfort” embraces many subjects to thermal behavior in response to both indoor and outdoor climate. Human thermal acceptability to climate changes and its effects depend on several aspects, it relies not only on local climatic conditions, but also on personal traits which can interfere seriously with thermal preferences as well as with someone’s mental and physical performance of his organism. As bigger the variation these conditions, higher will the dissatisfied percentage in an environment, due to personal requirements of each person. Thus, to serve the man’s expectations in relation of thermal comfort, considering people’s needs and limitations, has been an important subject of studies in this field, highlighting its importance in planning, designing, and constructing a building. The methodology used by Richard De Dear (1997) in the RP-884 *ASHRAE*’s project was the Probit procedure using SAS software, release 8 (SAS Institute, Cary, NC, USA, 1999) to the optimum temperatures

obtained, and linear regression to the acceptable comfort limits of the population studied. The general aim of this research is to interpret the method adopted by Richard De Dear (1997) and apply it to the data resulting from the large *ASHRAE* (2004) Database to understand how the comfort temperatures (optimum temperatures) and the thermal acceptability were obtained for a group of people under predetermined indoor thermal conditions, in well-ventilated buildings. The results Probit analysis indicates the optimum temperature is 25°C approximated, exactly 0,5 probability responses, that is, 50% interviewees. In the face the obtained results, it's succeeded the Probit analysis applicability has a great efficacy method to binary variable probability study and determination, which points out two interesting situations to research.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Meio Ambiente, Arquitetura e Homem

As condições térmicas do meio exercem grande importância nas edificações. Os parâmetros físico-químicos variam de acordo com a função de cada espaço ou do local em que está inserido o edifício. Soluções arquitetônicas de climas totalmente diferentes em quase nada se assemelham, resultado das condições térmicas específicas de cada meio urbano. O condicionamento térmico natural estuda métodos para que o espaço apresente as condições térmicas adequadas ao organismo humano. O meio, o homem e a envolvente representam os três primeiros elementos principais neste processo, cujas inter-relações entre si se dão pelos princípios da transferência de calor. A orientação, a forma e a disposição dos volumes, bem como a utilização racional dos materiais de construção facilitam o processo de transferência de calor, atribuindo à envolvente grande influência na obtenção do conforto térmico do homem através do controle das variações físicas e químicas do meio (RIVERO, 1986). O termo “conforto térmico” abrange muitos aspectos do comportamento térmico subjetivo, ou seja, de cada indivíduo, na sua relação com os climas interno e externo, e outros fatores contextuais. O conhecimento das sensações e preferências térmicas humanas, que são avaliadas pela forma como o homem se sente em relação ao clima de determinado ambiente, e como gostaria de se sentir, respectivamente, é de significativa importância ao alcance de estratégias para a melhoria térmica dos ambientes, de forma a adequá-los às necessidades do homem, visto que a intensidade e o rigor das condições climáticas podem causar desconforto no seu organismo. Desta forma, determinar as relações entre temperaturas do ar exterior e temperaturas de conforto do usuário representa uma necessidade ao processo de otimização do conforto térmico em edificações. Para isto é preciso, antes de tudo, conhecer os parâmetros considerados na determinação das sensações e preferências térmicas humanas. Existem duas correntes de pensamento para a avaliação e definição das condições de conforto – analítica (também denominada racional) e adaptativa, cujas diferenciações são descritas a seguir:

- A corrente analítica ou racional considera que pessoas de qualquer localidade devem ter as mesmas preferências térmicas, por serem biologicamente iguais, considerando a influência que os parâmetros individuais (tipo físico, vestimenta e taxa metabólica) e os parâmetros ambientais (temperatura radiante média, temperatura, umidade e velocidade do ar) exercem na preferência térmica das pessoas. P. O. Fanger¹ é o principal representante desta linha, com pesquisas aprofundadas, na Dinamarca e nos Estados Unidos, acerca da avaliação das sensações térmicas e do equacionamento para sua quantificação.
- O pressuposto de que o homem não é passivo diante das condições térmicas do ambiente, mas utiliza mecanismos para buscar o conforto térmico, de acordo com resultados de pesquisas experimentais, é uma das razões que contribuíram para o surgimento da corrente chamada adaptativa. “Se uma mudança ocorre de forma a produzir o desconforto, as pessoas reagem de maneira a tentar restaurar o conforto” (NICOL & HUMPHREYS, 2001). A corrente adaptativa baseia-se na teoria de que, na ocorrência de uma condição ambiental qualquer que provoque algum desconforto, as pessoas tendem a tomar providências capazes de restabelecer as condições confortáveis. Essas medidas vão de mudanças no comportamento (agasalhar-se ou despir-se), ao uso de equipamentos elétricos que possam reverter o quadro de desconforto térmico.

¹ P. O. Fanger, pesquisador dinamarquês, autor de estudos em conforto térmico. Autor do método PMV (Predicted Mean Vote) ou VME (Voto Médio Estimado) para a avaliação das sensações térmicas do homem.

1.2 Conforto Térmico

O Conforto Térmico tem sido definido como “a condição mental que expressa a satisfação do indivíduo com o seu ambiente térmico” (ASHRAE, 2001). Fora do senso comum, o Conforto Térmico não está relacionado apenas à Temperatura. Outras variáveis estabelecem relações com a Temperatura, fazendo com que haja uma gama de resultados que possam interferir em condições térmicas satisfatórias para o homem. Dentre as variáveis climáticas ou ambientais que intercambiam em maior proporção com a Temperatura destacam-se a Radiação Solar, a Temperatura Radiante, a Umidade e a Velocidade do Ar. Dentre as variáveis individuais ou pessoais incluem-se a Taxa metabólica e a Resistência térmica da vestimenta. Todos estes fatores podem variar com o tempo, local e outros fatores culturais. Por esta razão, a relação dos parâmetros físicos com as sensações humanas de conforto térmico não é de fácil compreensão. O Conforto Térmico é uma sensação complexa que sofre influência de fatores de ordem física, fisiológica e psicológica e que, do ponto de vista puramente térmico, as condições ambientais confortáveis são aquelas que permitem ao ser humano manter constante a temperatura do corpo sem acionar, de forma perceptível, seus mecanismos termo-reguladores (ARAÚJO, 2001). “O conforto térmico, então, não deve ser visto como um problema fisiológico fruto da regulação do calor ou da vestimenta utilizada, mas preferencialmente como uma larga faixa de respostas comportamentais interligadas ao clima, ou seja, o desconforto é causado pelo desgaste excessivo do corpo nos processos de escolha e ajuste da própria temperatura com o clima exterior” (HUMPHREYS, 2001).

1.3 Sensação Térmica

Sensação² térmica pode ser conceituada como o grau de conforto ou desconforto térmico de uma pessoa quando submetida a determinado ambiente térmico. As sensações térmicas não são definidas apenas pela temperatura do ar, mas com base no intercâmbio das variáveis ambientais e pessoais, ou seja, o efeito combinado das variáveis climáticas com as variáveis individuais determina a sensação de conforto ou desconforto térmico do homem. Dentre as variáveis ambientais mais intervenientes nas sensações térmicas, destacam-se, além da temperatura do ar, a umidade relativa, que exerce muita influência, devido às trocas de calor entre o corpo e o meio (em ambientes com menor taxa de umidade há maior facilidade para perder calor, pela evaporação do suor); a velocidade do ar, cuja influência neste processo se deve às trocas de calor por convecção. Fanger (1970) propôs uma escala sensorial de sete pontos que facilita a tradução das sensações térmicas humanas em relação a um ambiente térmico. Para o uso desta escala, se faz necessária a pergunta: *Como você classifica este ambiente térmico neste momento?* (que significa “esta condição é confortável ou desconfortável?”) (Tabela 1).

Tabela 1: Escala Sensorial de sete pontos. Fonte: Adaptada de FANGER, 1970.

Sensação Térmica	Pontos
Muito Quente	+3
Quente	+2
Leve sensação de calor	+1
Confortável (Neutralidade Térmica)	0
Leve sensação de frio	-1
Frio	-2
Muito Frio	-3

1.4 Preferência Térmica

Preferência térmica pode ser descrita como a condição ambiental que as pessoas desejam para se sentirem confortáveis, quando submetidas a determinadas condições térmicas. As preferências térmicas variam entre as pessoas e podem ser analisadas com o auxílio de uma escala de sete pontos semelhante à escala de avaliação das sensações térmicas. A pergunta usual para o uso desta escala é: *Como você gostaria de se*

² O Dicionário Aurélio. Aurélio Buarque de Holanda, 6^a edição, 2004 diz: **Sensação Fisiol.** Impressão causada num órgão receptor por um estímulo e que, por via aferente (aquele que leva ou conduz), é levada ao sistema nervoso central.

sentir neste momento? (que significa “deseja alguma mudança térmica?”). Esta escala traduz a preferência térmica de uma pessoa submetida a determinado ambiente térmico (Tabela 2).

Tabela 2: Escala de sete pontos – Preferência Térmica.
Fonte: Adaptada da ISO 10551, 1995 (Subjective Judgement Scales).

Preferência Térmica	Votos
Muito mais aquecido	+3
Mais aquecido	+2
Um pouco mais aquecido	+1
Sem alterações	0
Um pouco mais refrescante	-1
Mais refrescante	-2
Muito mais refrescante	-3

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é interpretar o método adotado por De Dear (1997) e aplicá-lo nos dados obtidos da ampla Base de Dados da *ASHRAE* (2004), a fim de entender como foram obtidas as temperaturas de conforto (temperaturas preferidas) e a aceitabilidade térmica de pessoas submetidas a determinadas condições térmicas internas, em ambientes naturalmente ventilados.

3. METODOLOGIA

3.1 Amostragem

O objeto de estudo desta pesquisa consiste na ampla Base de Dados da *ASHRAE* (1997) resultante do projeto *ASHRAE RP-884*. Este projeto foi baseado na abordagem adaptativa – relações adaptativas entre conforto interno humano e clima externo e foi desenvolvido por De Dear, Brager e Cooper (1997) e financiado pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE*. O projeto RP-884, atualmente a Norma ANSI/ASHRAE 55-2004, “Condições Térmicas Ambientais para Ocupação Humana”, é uma revisão da Norma ANSI/ASHRAE 55-1992. O projeto *ASHRAE RP-884* padronizou os dados experimentais de diferentes pesquisas realizadas em 160 edificações (a grande maioria em prédios de escritório, com atividades sedentárias – metabolismo entre 1,1 e 1,4 met) situadas em diferentes zonas climáticas do mundo: América, Ásia, Oceania e Europa. Para esta padronização, os dados foram ordenados de acordo com o sistema de condicionamento de ar do edifício: Naturalmente Ventilados (NV) e Artificialmente Refrigerados (HVAC), e da estação do ano em que foi realizado o experimento: Verão ou Inverno. A presente pesquisa realizou a análise dos dados dos ambientes naturalmente ventilados.

3.2 Metodologia de Richard De Dear

3.2.1 Temperaturas preferidas: A temperatura preferida (MCI) foi estimada diretamente de um conjunto de edifícios da base de dados RP-884. A pergunta do questionário específico foi a seguinte: “*Neste momento, você preferiria se sentir mais aquecido, refrescante ou sob nenhuma alteração?*” Como a análise probit requer respostas binárias, considerando que a pergunta do questionário descrito aqui tem três possíveis respostas, a solução foi dividir as respostas “nenhuma alteração” (voto 2) 50:50 dentro das duas categorias restantes. Desta forma, as respostas do voto 2 se dividiram entre as categorias do voto 1 e do voto 3, igualmente. Um software estatístico foi aplicado para a tarefa de registrar o número de observações com MCI=1 (“prefere mais frio”) e MCI=3 (“prefere mais quente”) para cada grau de temperatura. A interseção das curvas de probabilidade de insatisfação por frio e de insatisfação por calor, representa a temperatura preferida obtida na Base de Dados da *ASHRAE*, para cada edifício analisado.

3.2.2 Método de Análise Probit: A análise Probit é utilizada para determinar as probabilidades de duas situações de variáveis binárias, do tipo sim ou não, falha ou sucesso em relação a outras variáveis

envolvidas. Estas probabilidades variam entre 0 e 1. As variáveis analisadas são definidas como explicativas (independentes) e respostas (dependentes). A situação (ou situações) de interesse da análise é chamada Variável Resposta ou Variável Dependente. A outra variável é usada para explicar a variável resposta e é chamada Variável Explicativa ou Variável Independente. Segundo os autores, o modelo de análise Probit pode ser definido com uma regressão não-linear que analisa variáveis de interesse, a partir de variáveis preditas que servem para modelar, explicar ou dar significância estatística à probabilidade destas respostas. O modelo de análise Probit é representado pela equação:

$$\pi (X) = \phi (\alpha + \beta X) \quad [\text{Eq. 1}]$$

Sendo:

$\pi (\chi)$ = probabilidades acumuladas da variável resposta

X = variável explicativa

ϕ = função que transforma a distribuição dos dados na curva Normal acumulada (0,1)

α = intercepto; ponto onde os dados tocam o eixo Y

β = coeficiente angular

Para obter o valor da função ϕ usa-se a seguinte equação:

$$\phi (X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} \bullet \text{função exponencial} \left\{ \frac{-(X - \mu)^2}{2\delta^2} \right\} \quad [\text{Eq. 2}]$$

Sendo:

ϕ = função que transforma a distribuição dos dados na curva Normal acumulada (0,1)

X = variável independente

$\pi = 3,14$

δ = desvio-padrão da amostra

μ = média da distribuição da amostra

δ^2 = variância da amostra

No modelo de análise Probit, os coeficientes estimados analisam a probabilidade da variável dependente, sob influência da variável independente, assumir o valor 1. Então, estes efeitos são constantes, e à medida em que X_i aumenta, a probabilidade p continua a aumentar (quando a probabilidade acumulada é positiva $\rightarrow p = \pi (X_i)$; quando é negativa $\rightarrow 1 - p = \pi (X_i)$, à medida em que X_i aumenta, a probabilidade p continua a diminuir, a uma razão constante). Especificamente nesta pesquisa, a análise Probit avalia dois tipos de situação: a probabilidade de insatisfeitos por calor (MCI = 1) e a probabilidade de insatisfeitos por frio (MCI = 3). Portanto, aplicando a equação da análise Probit para MCI = 1, tem-se:

$$\pi (X_i) = \phi_i (\alpha + \beta X_i) \quad [\text{Eq. 3}]$$

Sendo:

$\pi (X_i)$ = probabilidade de insatisfeitos por calor (MCI = 1) para cada temperatura observada

X_i = temperatura observada

ϕ_i = função que transforma a distribuição dos dados na curva Normal acumulada (0,1)

α = coeficiente linear; intercepto; ponto onde a reta ajustada aos dados corta o eixo Y

β = coeficiente angular

3.2.3 Curva de Gauss e Curvas de insatisfeitos por frio e insatisfeitos por calor no procedimento Probit

1. Com os dados obtidos estima-se uma reta: $\pi (X) = \phi (\alpha + \beta X)$.

2. Transforma-se a reta em curva Normal padronizada através da função descrita da equação 2,

considerando que quando se tem $\mu = 0$ e $\delta = 1$, é igual a $f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \text{exponencial}^{\frac{-1}{2}x^2}$ que é uma função gaussiana (Curva de Gauss). Logo, a função ϕ é sempre uma gaussiana.

3. Calcula-se uma média (μ) e um desvio-padrão (δ) e constrói-se a curva de Gauss. Através de uma integração numérica, é calculada a integral da curva (que é a área entre o ponto mais alto da curva e o eixo das abscissas. A partir da construção da curva de Gauss, constrói-se as curvas de probabilidades acumuladas (insatisfeitos por calor e insatisfeitos por frio, necessárias à pesquisa). A Curva de Gauss

representa uma função par: $f(X) = f(-X)$, ou seja, é simétrica ao eixo Y. A função $f = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} \cdot$

$\text{exponencial}^{\frac{-1}{2}x^2}$ tem a forma de um sino e é muito utilizada em procedimentos estatísticos. A área entre esta curva e o eixo das abscissas vale 1, ou 100%, e por isto, é chamada de Integral e é utilizada para cálculo de probabilidades em variáveis normalmente distribuídas. A curva de Gauss é muito utilizada em controle de estatísticas e controle de qualidade (uso da média e do desvio-padrão). É uma curva assintótica, ou seja, aquela que se aproxima cada vez mais do eixo X (reta $x = 0$).

4. Na obtenção da Curva de Gauss, a área situada entre o ponto da curva e o eixo das abscissas se divide em pequenos trapézios. A área de cada trapézio que se perde fora da curva é compensada pela que se ganha dentro da curva (Figura 3.1).

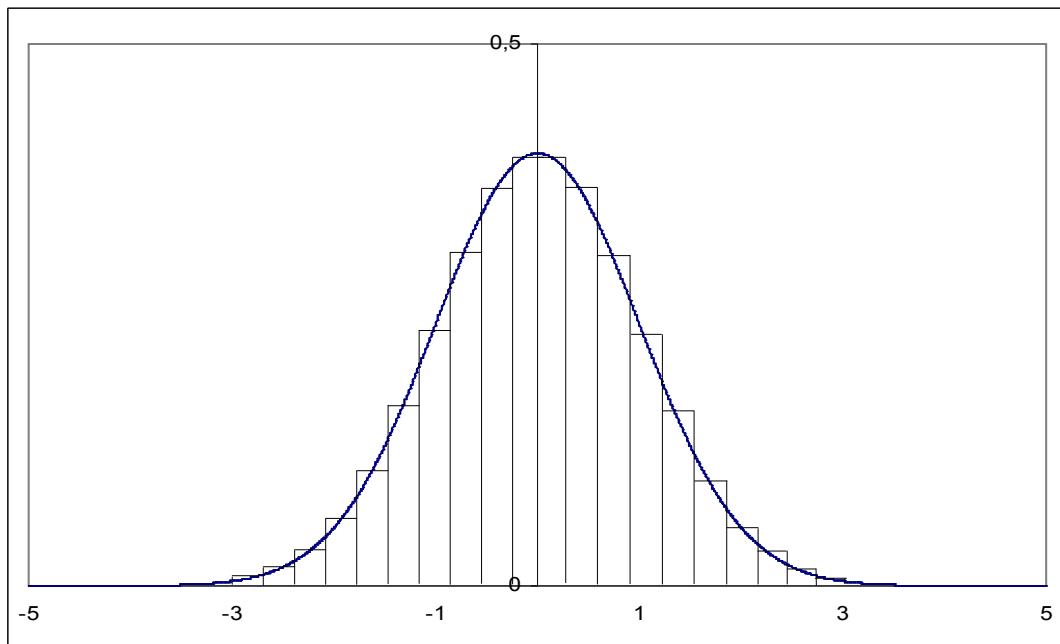


Figura 3.1: Área da Curva de Gauss dividida em trapézios.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Encontradas estas áreas, constroem-se as curvas de probabilidade acumulada e probabilidade acumulada inversa. O trecho que na curva de Gauss representa uma área, nas curvas de insatisfeitos por calor e por frio representa uma altura, onde são marcadas as temperaturas, que são marcadas da seguinte maneira: o 1º ponto de temperatura é marcado na curva tomando-se a área do 1º trapézio da curva de Gauss (à esquerda). A curva de insatisfeitos por frio é o complemento da curva de insatisfeitos por calor, então, se a de insatisfeitos por calor começa em 0,1, e a área total da curva de Gauss é 1, têm-se: $1 - 0,1 = 0,9$,

portanto a curva de insatisfeitos por frio começará em 0,9, que é marcado na curva acumulada inversa e assim sucessivamente. O ponto de interseção das curvas representa a temperatura operativa interna de conforto (Figura 3.2). Na figura abaixo, se encontram sobrepostas as curvas de insatisfeitos por calor e por frio e a curva de Gauss. Percebe-se que à medida que se altera a média (μ), os intervalos de temperatura e o ponto de interseção também mudam e as curvas de insatisfeitos por calor e por frio, bem como a curva de Gauss, consequentemente se deslocam. Quando se altera o valor do desvio-padrão (δ), as curvas de insatisfeitos por calor e por frio vão mudando sua configuração. Aumentando-se o desvio-padrão, as curvas de insatisfeitos por calor e por frio e a curva de Gauss tende a se espalhar, e a curva de Gauss tende a ficar paralela ao eixo X, aumentando por consequência, os limites de temperatura obtidos. Diminuindo-se o desvio-padrão, as curvas de insatisfeitos por calor e por frio e a curva de Gauss tendem a estreitar-se, diminuindo os limites de temperatura obtidos.

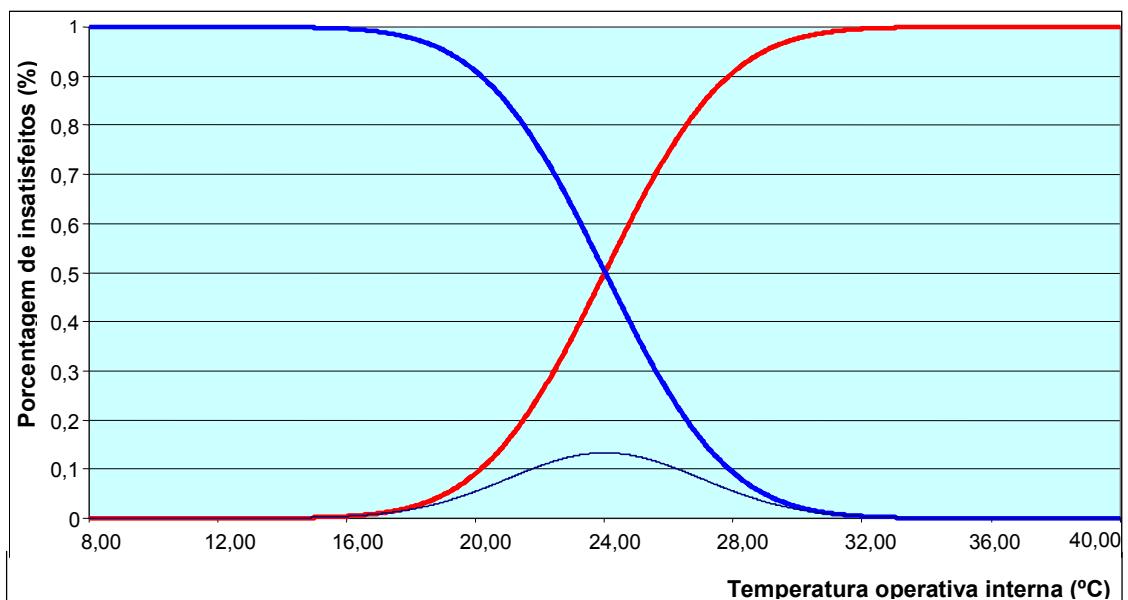


Figura 3.2: Curvas de insatisfeitos por calor e por frio.

A amostra avaliada nesta pesquisa é representada por um total de 7933 dados, distribuídos em 30 edifícios naturalmente ventilados (NV). As variáveis utilizadas foram a Preferência Térmica (denominada MCI no projeto RP-884) e a Temperatura Operativa (TOP). Os modelos probit foram realizados no sentido de encontrar a temperatura de conforto (temperatura preferida), através da obtenção das curvas de insatisfeitos por calor e por frio, curva acumulada crescente e curva acumulada decrescente, respectivamente. A temperatura interna de conforto foi representada pela interseção das duas curvas (Figura 3.3). Na figura 3.3 representa-se um dos 30 edifícios naturalmente ventilados avaliados pelo modelo de análise probit na pesquisa realizada. A amostra pertence a um grupo de pessoas entrevistadas em um edifício de escritório localizado em Karachi, Paquistão. As medições foram feitas no Inverno, com temperaturas máximas de 29,1°C e mínimas de 19,4°C. Observa-se que a temperatura encontrada como temperatura preferida é aproximadamente 25°C, a exatamente 0,5 de probabilidade de respostas, ou seja, 50% dos entrevistados.

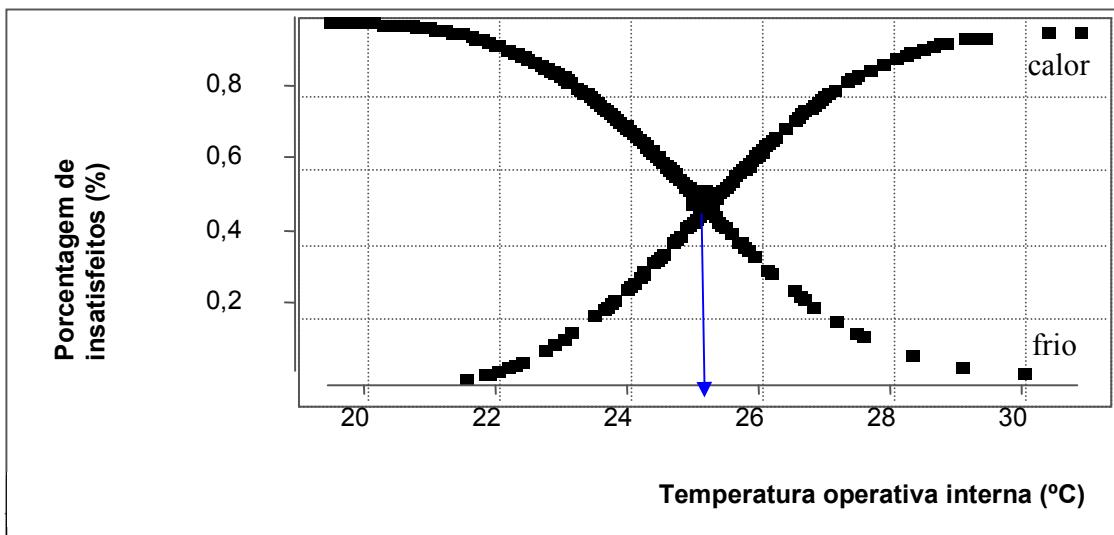


Figura 3.3: Curvas de insatisfeitos por calor e por frio obtidas no modelo probit.

4.1 Regressão Linear das temperaturas de conforto e temperaturas efetivas médias externas diárias

A partir da obtenção das temperaturas preferidas, pôde-se efetuar uma regressão linear com as temperaturas preferidas obtidas nesta pesquisa e as médias diárias da temperatura efetiva, obtidas nas medições do projeto *ASHRAE RP-884* para cada zona climática avaliada e respectivo edifício (Figura 4.1). As temperaturas externas diárias foram coletadas a cada hora no período das 6 às 15 horas de um dia típico, com o objetivo de obter maior acurácia possível na coleta das variáveis analisadas. É neste intervalo do dia que há maior incidência da radiação solar, e consequentemente, maior exposição do homem ao sol. Um dia típico é definido com um dia real, caracterizado pelos valores médios horários das condições climáticas, ou seja, das variáveis analisadas na pesquisa. Para a determinação dos dias típicos de projeto, recomenda-se um período de 10 a 15 anos de dados registrados, cujos registros são feitos por meio de um tratamento estatístico dos valores das médias, máximas e mínimas diárias dos parâmetros climáticos locais (Akutsu e Vittorino, 1998). De posse das temperaturas externas diárias, obteve-se a Temperatura Efetiva Média Externa, através de uma média aritmética. Para efetuar a regressão linear, foi necessário calcular a média destas temperaturas, com a finalidade de obter os 30 pontos correspondentes (Temperatura de conforto X Temperatura efetiva média diária externa). Na Figura 4.1 mostra-se a regressão linear resultante dos dados obtidos nesta pesquisa, com coeficiente de correlação 0,984, o que representa uma correlação significativa da amostra. Quanto mais o coeficiente de correlação se aproxima de 1, mais baixo é o desvio-padrão, o que aumenta a possibilidade de maior ajuste dos dados à reta de regressão. O coeficiente angular da regressão linear desta pesquisa foi 0,433, o que mostra uma relativa dependência da temperatura de conforto em relação à temperatura externa. O coeficiente linear foi 15,977, ponto em que a reta corta o eixo Y. Nota-se que os pontos extremos (mínimo e máximo) da regressão linear apresentam temperaturas externas aproximadamente em torno de 8°C e 32°C, medidas no inverno de Quetta (Paquistão) e no verão de Peshawar (Paquistão), respectivamente. Isto significa que abaixo do valor mínimo e acima do valor máximo, se torna impossível se ter condições de conforto térmico. Por meio da coleta dos dados necessários às análises desta pesquisa, foi efetuada uma regressão linear das temperaturas de conforto encontradas por De Dear e as temperaturas efetivas médias diárias externas (Figura 4.2). Para efetuar esta regressão linear, correlacionaram-se as temperaturas efetivas médias diárias externas encontradas nesta pesquisa com as temperaturas de conforto (aproximadas) obtidas da análise probit feita pelo pesquisador. O coeficiente angular da regressão linear foi 0,233, o que representa uma dependência mais baixa da temperatura de conforto em relação à temperatura externa. A regressão linear

resultante teve coeficiente de correlação 0,975, representando uma correlação significativa da amostra. O coeficiente linear foi 18,999, ponto em que a reta corta o eixo Y. A Figura 4.1 mostra a regressão linear resultante dos dados obtidos nesta pesquisa, com coeficiente de correlação 0,984, o que representa uma correlação significativa da amostra.

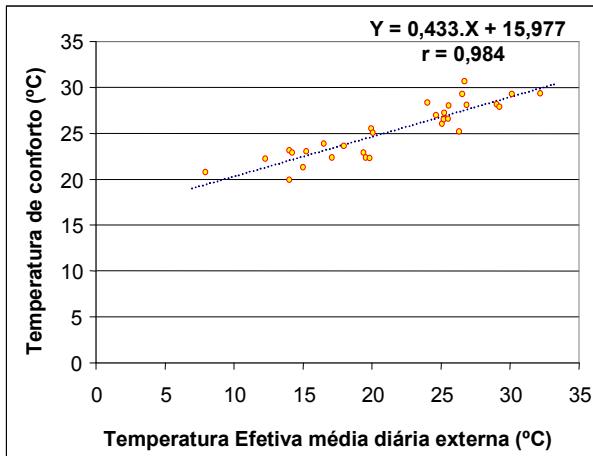


Figura 4.1: Regressão Linear entre as Temperaturas preferidas obtidas na pesquisa e a Temperatura Efetiva média diária externa.

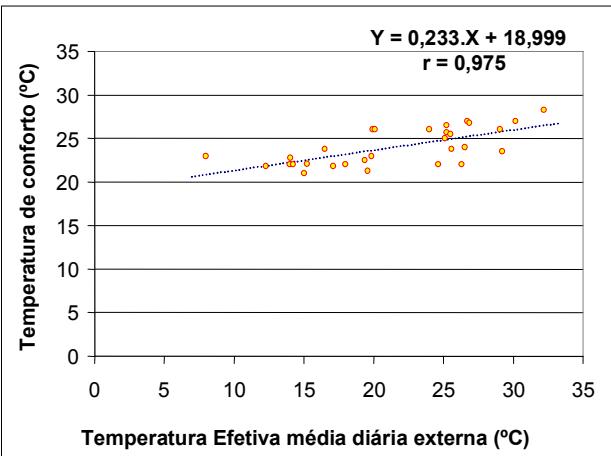


Figura 4.2: Regressão Linear entre as Temperaturas preferidas obtidas por Richard De Dear (1997) e a Temperatura Efetiva média diária externa.

A Figura 4.3 representa a comparação entre a regressão linear encontrada nesta pesquisa e a regressão linear encontrada por Richard De Dear, através da sobreposição das duas retas para melhor observação das diferenças encontradas. As duas retas de regressão linear se cruzam, aproximadamente, à temperatura 15°C. A diferença na dispersão dos dados se dá em função dos fatores relacionados acima. Pela inclinação das retas, nota-se que a temperatura de conforto da regressão linear dos dados encontrados pela pesquisa é mais dependente da temperatura externa do que a temperatura de conforto encontrada nas análises de De Dear (menor coeficiente angular).

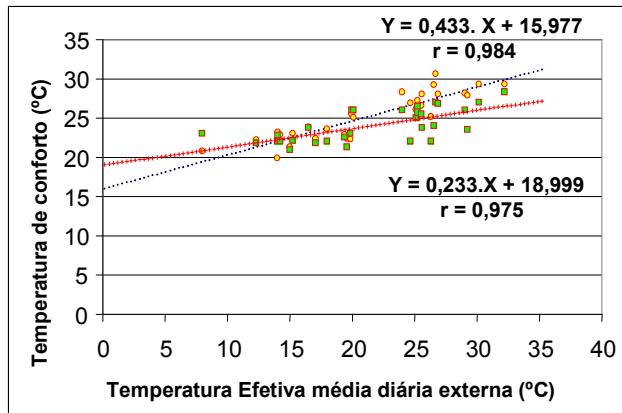


Figura 4.3: Comparação entre a regressão linear obtida na pesquisa e a regressão linear obtida pelo pesquisador Richard De Dear (1997).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se com esta pesquisa, que a interpretação da obtenção das temperaturas de conforto da pesquisa de De Dear (1997) pelo procedimento probit no software SAS possibilitou, através dos conceitos utilizados pela análise probit, a obtenção de temperaturas de conforto por freqüência acumulada no software Excel, representando o entendimento do processo e a aplicação do conceito em outros procedimentos estatísticos. Além disso, constatou-se a aplicabilidade do método de análise probit em grandes amostras de variáveis binárias, permitindo a análise de probabilidades em diferentes situações. Diante das análises feitas por Richard De Dear (1997), é razoável supor que seja difícil obter em um ambiente uma combinação das variáveis de conforto que satisfaça plenamente a todos os integrantes de um grupo de pessoas. À medida que as condições das variáveis envolvidas aumentam, reduz

significativamente a faixa de aceitabilidade térmica das pessoas. Isto porque quanto maior a variabilidade térmica de um meio, a probabilidade de haver pessoas plenamente satisfeitas diminui. Quando esta variação é menor, favorece maior aceitabilidade térmica a um determinado grupo de pessoas. Percebe-se com a pesquisa realizada por De Dear (1997) no Projeto RP-884, que um novo paradigma para estabelecimento das condições de conforto térmico adequadas ao desempenho do homem não se produz da noite para o dia. Da realização do projeto até a edição da Norma ANSI/ASHRAE 55-2004 alguns anos se passaram, de modo que o resultado de pesquisas de grande importância dentro dos estudos em questão pode levar décadas, desde a sua realização até a disseminação e utilização das diretrizes obtidas, em concepções de projetos ou adequações de edifícios já construídos. A interpretação das análises feitas por De Dear (1997) foi feita no intuito de observar a configuração das sensações e preferências quando correlacionadas aos valores de temperatura operativa medidos. Observou-se nesta pesquisa que a temperatura preferida se apresentou aproximadamente em torno de 25°C. Considerando a variedade de zonas climáticas em que o estudo foi feito, conclui-se que a variação entre os valores obtidos se deve ao clima em que as respostas foram obtidas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKUTSU, M., VITTORINO, F. **Tratamento de dados climáticos para a avaliação do desempenho térmico de edificações Manual de Procedimentos (Aplicação à Cidade de São Paulo)** - Anexo I. São Paulo, 1998.
- ASHRAE Fundamentals Handbook. Cap. 8 – Thermal Comfort. Atlanta, 1997.
- ASHRAE 55-2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2004.
- DE DEAR, R.J.; AULICIEMS, A. **Validation of the Predicted Mean Vote model of thermal comfort in six Australian field studies**. In: ASHRAE Transactions, Vol. 91 (2B), 1985.
- DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S.; COOPER, D. J. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference** – Final Report on ASHRAE RP 884. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1997.
- FANGER, P.O. **Thermal Comfort – Analysis and Applications in Environmental Engineering**. McGraw-Hill Book Company. USA, 1970.
- NICOL, J.F.; HUMPHREYS, M.A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. In: Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, 2001, Windsor, UK. Proceedings... Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.
- RIVERO, R. **Arquitetura e Clima – Acondicionamento Térmico Natural**. 2^a. Ed. revisada e ampliada. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores: Ed. Da Universidade, UFRGS, 1986.
- RORIZ, M. **Flutuações Horárias dos Limites de Conforto Térmico: uma hipótese de modelo adaptativo**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHOS ENERGÉTICOS DE EDIFICAÇÕES, 2003. Anais. Curitiba, 2003.