ZONA DE CONFORTO: COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODO PROBIT E MÉTODO FANGER[1]

CRISTELI, P., Universidade Federal de Ouro Preto, e-mail: paycristeli@hotmail.com; SOUZA, H., Universidade Federal de Ouro Preto, e-mail: henorster@gmail.com; RESENDE, B., Universidade Federal de Ouro Preto, e-mail: brunacresende@yahoo.com.br

ABSTRACT

The growing concern for human well-being within buildings has resulted in the development of adaptive comfort methods that contribute to the assessment of thermal comfort that is directly related to the performance and productivity of building users, especially in school buildings. In this context, several thermal comfort indices were developed for different realities, including some appropriate for the Brazilian climatic conditions. Considering the adaptive capacity of the populations to the climate, it is necessary to study the applicability of indices of comfort to the national context. Thus, in this work the thermal comfort zone for the climatic conditions of the city of Ouro Preto, Minas Gerais, is obtained by means of the Probit Regression method, in order to prove the adequacy to the Brazilian reality and the level of comfort experienced by the Users of the buildings studied. As a result, a thermal comfort zone is obtained from the limits of neutrality in relation to the air temperature and the wet bulb temperature, since the measured data of the relative humidity of the air did not obtain sufficient amplitude; With a maximum of 92,1% satisfied when the air temperature is 21°C.

***Keywords**: Thermal comfort zone. Adaptive comfort models. Brazilian field studies.*

1 INTRODUÇÃO

Estudos em conforto térmico visam analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupações humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente (DUARTE et al., 2016). Com a finalidade de garantir a uniformidade e a coerência dos métodos e resultados obtidos foram criadas normas e zonas de conforto térmico específicas para cada região de estudo.

Condições térmicas adequadas ou de neutralidade são difíceis de serem alcançadas em diversas cidades brasileiras, principalmente as que possuem climas severos em alguma época do ano, como é o caso da cidade de Ouro Preto (MG), região onde foi desenvolvido o trabalho.

A cidade de Ouro Preto (MG), possui clima tropical de altitude, com chuvas durante os meses de outubro a abril e geadas ocasionais em junho e julho. Essas características dificultam o bem-estar dos habitantes e, em particular, dos estudantes da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) - Campus Morro do Cruzeiro.

Pesquisas anteriores sobre o conforto térmico no interior de edificações deste ambiente escolar, como a de Fontanella (2009), Faria (2013) e Nascimento

[1] CRISTELI, P.; SOUZA, H.; RESENDE, B. Zona de Conforto: Comparação entre método Probit e método Fanger. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

(2016), apontaram grande desconforto por parte dos usuários, com resultados que mostraram insatisfação com o ambiente e queda de aprendizado e concentração, principalmente durante os meses mais frios do ano.

O modelo de conforto térmico de maior representatividade da abordagem do balanço térmico humano é o modelo do Voto Médio Estimado (Predicted Mean Vote – PMV), desenvolvido por Fanger (1970), a partir de estudos realizados em câmaras climatizadas. Por ser considerado o mais completo, o modelo é utilizado pela norma ISO 7730 (ISO, 2006) e pela norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013) para os estudos de conforto térmico.

No presente trabalho comparou-se as curvas de porcentagem de pessoas insatisfeitas obtidas por meio do Método de Regressão Probit e do Método PMV/PPD de Fanger. Para isso se utilizou dados climáticos e questionários respondidos por usuários de edificações escolares da Universidade Federal de Ouro Preto – Campus Morro do Cruzeiro. A partir desta análise verificou-se a viabilidade de utilização do Método Probit para as condições climáticas de Ouro Preto.

2 MÉTODO

Definiu-se a zona de conforto para a cidade de Ouro Preto (MG) utilizando a metodologia Probit a partir de dados coletados em salas de aula entre o período de julho de 2013 e setembro de 2014 e comparou-se a porcentagem de pessoas insatisfeitas com método de Fanger.

2.1 Descrição da amostra e análise de dados

A pesquisa foi realizada na população universitária que frequenta os prédios da UFOP no Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, MG. A coleta de dados consistiu em se obter, ao mesmo tempo, o valor das variáveis ambientais internas e externas que influenciam no conforto térmico dos usuários das salas de aula dessas edificações (temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar e temperatura de globo). Simultaneamente, foram aplicados questionários para se levantar a resposta dos usuários principalmente em termos de sensações térmicas, além de condições como iluminação e ruído.

Os ensaios de campo foram realizados ao longo de todos os meses no período de julho de 2013 a setembro de 2014, em datas escolhidas em função do calendário escolar da universidade, totalizando 44 ensaios de campo com aplicação de questionários a mais de 1200 entrevistados e medições das variáveis climáticas internas e externas.

Os dados coletados foram analisados e caracterizados segundo sexo, idade, peso, altura, vestimenta, aceitabilidade, sensações térmicas, sensações subjetivas e satisfação com o ambiente. As sensações térmicas foram avaliadas segundo a escala de 7 pontos (ASHRAE, 2013), que representam muito frio (-3), frio (-2), ligeiramente frio (-1), neutralidade (0), ligeiramente

quente (+1), quente (+2) e muito quente (+3).

2.2 Método de Regressão Probit

O Método de Análise Probit teve sua metodologia desenvolvida por McFadden (1973 apud GUJARATI 1988). O método é utilizado para determinar as probabilidades de duas situações de variáveis binárias, do tipo sim ou não, falha ou sucesso em relação a outras variáveis envolvidas. Para utilizá-lo é necessário caracterizar a medição de cada variável climática e seus respectivos votos de sensação térmica e, a partir de então, aplicar a análise Probit para encontrar os limites de valores de cada variável climática que garantem o conforto térmico (FISHER; YATES, 1971).

2.3 Análise da zona de conforto obtida

Para realizar a análise dos resultados gerados pelo método de conforto adaptativo utilizado neste trabalho, realizou-se uma adaptação da equação de PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas) proposta por Fanger (1970). Ambas as curvas foram plotadas e comparadas de forma gráfica/visual.

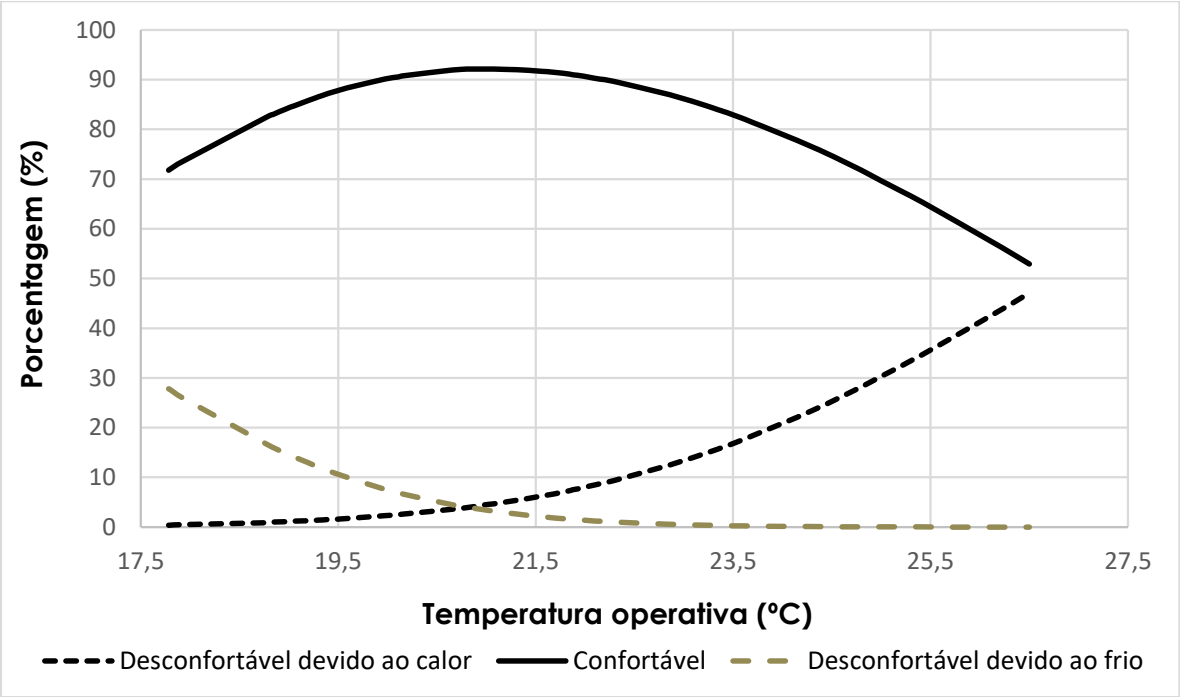
3 RESULTADOS

A temperatura do ar média interna obtida foi de 21,7°C e a temperatura do ar média externa de 17,4 °C. As médias da umidade relativa do ar foram interna de 65% e externa de 75%. A temperatura de globo média interna registrada foi de 22,1°C.

As percentagens das frequências estimadas relativas aos graus de satisfação desconfortável devido ao calor, confortável e desconfortável devido ao frio para a temperatura operativa (Figura 1) mostraram que o máximo da categoria confortável corresponde a uma temperatura operativa de 21,0°C que prevê um estimado de 92,1% de pessoas confortáveis (satisfeitas) contra uma percentagem de insatisfeitos de 7,9%.

As curvas de frequências estimadas com relação à sensação térmica permitem ainda encontrar os limites de conforto térmico segundo o Método Probit para qualquer porcentagem de aceitabilidade. Esses limites de conforto térmico para as porcentagens de 30% e 10% são mostrados na Tabela 1.

Figura 1 – Frequências estimadas por regressão Probit *versus* temperatura operativa



Fonte: Os autores

Tabela 1 – Faixas de conforto térmico em função da temperatura operativa segundo o Método Probit para a cidade de Ouro Preto (MG)

Porcentagem de pessoas insatisfeitas	Intervalo de conforto térmico (°C)
30%	17,7 a 24,9
10%	19,6 a 22,4

Fonte: Os autores

Dando continuidade ao estudo comparativo, analisou-se o método proposto por Fanger (1970), com grande aceitação e recomendação no país. De acordo com os resultados obtidos por meio do Método de Regressão Probit nesta pesquisa, verificou-se que a percentagem de pessoas insatisfeitas estimadas para o caso em estudo em função da temperatura operativa é de 7,9%, consequentemente a percentagem de satisfeitos é de 92,1%.

Substituindo-se o valor de 95% proposto por Fanger (1970) no Método de PMV e PPD para o cálculo do percentual de pessoas insatisfeitas na Equação (1) pelo valor encontrado neste trabalho obtém-se a Equação (2) para o Método de Regressão Probit.

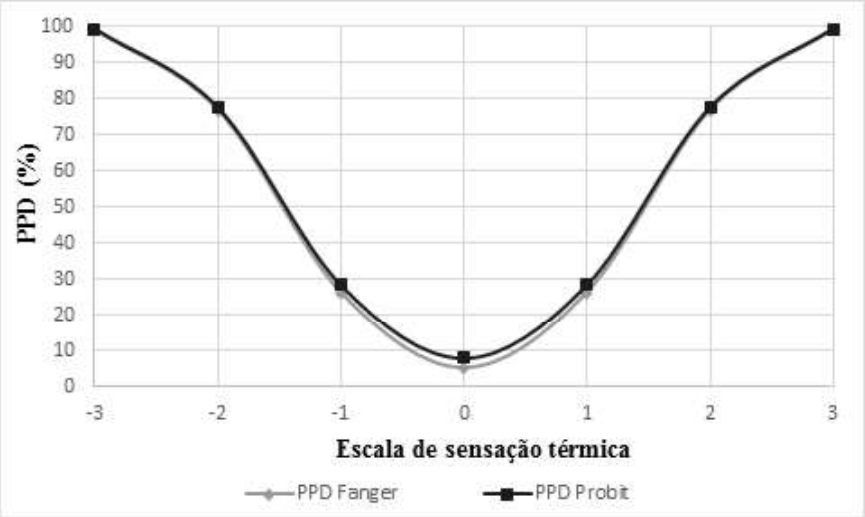
$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0{,}03353 PMV^4 + 0{,}2179 PMV^2)} \quad (1)$$

$$PPD = 100 - 92{,}1 \times e^{-(0{,}03353 PMV^4 + 0{,}2179 PMV^2)} \quad (2)$$

Na Figura 2 apresenta-se a curva resultante com a aplicação da Equação (1) proposta por Fanger (1970) plotada juntamente com a curva resultante

aplicando-se a Equação (2), obtida nesta pesquisa por meio dos dados estimados pelo Método de Regressão Probit.

Figura 2– Comparação entre o modelo de Fanger e os dados experimentais levantados para a região em estudo



Fonte: Os autores

Com base nesta comparação, a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) no voto médio estimado (PMV) igual a zero tem valor de 7,9%, valor este muito próximo aos 5% de pessoas insatisfeitas nas condições confortáveis propostas por Fanger (1970). Além disso, à medida que se afasta da condição de neutralidade na escala de sensação térmica, as duas curvas coincidem completamente, o que permite afirmar que, a princípio, este instrumento de avaliação é aplicável para a obtenção da zona de conforto para a população e região em estudo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho se estabeleceu a comparação das curvas de porcentagens de pessoas insatisfeitas obtidas por meio do Método de Regressão Probit e do Método PMV e PPD proposto por Fanger (1970) para as condições climáticas da cidade de Ouro Preto (MG), considerando a população universitária.

Uma vantagem do Método de Regressão Probit é que, após a determinação das curvas de frequências estimadas relativas às pessoas confortáveis, desconfortáveis devido ao frio e desconfortáveis devido ao calor, é possível encontrar os limites para qualquer porcentagem de aceitabilidade de pessoas insatisfeitas.

Com relação aos resultados deste trabalho, os limites de conforto térmico determinados prevêem 70% de pessoas satisfeitas termicamente, limite este alcançado durante a maior parte do ano.

Quando comparado com os resultados propostos por Fanger (1970) no Método de PMV e PPD, os resultados mostraram-se bastante satisfatórios. A

curva obtida por meio dos resultados do Método de Regressão Probit coincide quase que em sua totalidade com os resultados de Fanger (1970), sendo as divergências detectadas apenas próximo ao voto de sensação térmica de neutralidade.

A análise possibilita verificar que o Método de Regressão Probit possui viabilidade de utilização por demonstrar resultados compatíveis com os encontrados ao realizar a análise utilizando o Método Fanger de PMV e PPD, considerado atualmente o método de maior abordagem na análise do balanço térmico humano, em ambiente controlados.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS.**ASHRAE 55:** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta. 2013.

CRISTELI, P. S; SOUZA, H. A. Obtenção de zona de conforto utilizando o Método de Regressão Probit e o Método das Médias Associadas para as condições climáticas de Ouro Preto. In: **XIV ENCAC**, Balneário Camboriú, Santa Catarina, 2017.

DUARTE, V. C. P. *et al.* **Desempenho térmico de Edificações**. Apostila - Laboratório de Eficiência Energética e Edificações, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2016.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**, Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill Book Company, New York, 1970.

FARIA, M. A. **Avaliação das condições de conforto térmico nas salas de aula do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP**. 2013. 158 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2013.

FISHER, R. A; YATES, F. **Tabelas estatísticas: para pesquisa em biologia, medicina e agricultura**. Tradução de Salvador Licco Haim. São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo e Ed. Polígono, 1971.

FONTANELLA, M. S. **Percepção do Ambiente Térmico: preferências subjetivas e conforto térmico**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 162. 2009.

GUJARATI, D. N. **Basic Econometrics**. New York, McGraw-Hill Book Company, 1988. Cap. 15: Regression on Dummy Dependent Variable: The LPM, LOGIT and PROBIT Models.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.**ISO 7730:** Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Germany, 2006.

MCFADDEN, D. **Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior**. Frontiers in Econometrics, Academic Press, New York, 1973 apud GUJARATI, D. N. **Basic Econometrics**. New York, McGraw-Hill Book Company, 1988. Cap. 15: Regression on Dummy Dependent Variable: The LPM, LOGIT and PROBIT Models.

NASCIMENTO, D. **Zona de conforto para edificações escolares** - Cidade de Ouro Preto. 2016. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2016.

XAVIER, A. A. P. **Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2° Grau na Região de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Univerisdade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 209. 1999.