

DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE FORMA PARA RADIAÇÃO ENTRE O HOMEM E AS SUPERFÍCIES CIRCUNDANTES DE UM AMBIENTE ATRAVÉS DE UM MÉTODO PROBABILÍSTICO

Wagner I. Simioni

Carlos A. Clezar

Universidade do Vale do Itajaí, Curso de Engenharia Civil, Cx.P. 360 – 88302-202 – Itajaí, SC,
Brasil

e-mail: w.simioni@bol.com.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta computacional capaz de simular um ambiente na forma de um paralelepípedo com aberturas ou painéis radiantes em quaisquer superfícies. O modelo determina os fatores de forma para a radiação entre o homem e as superfícies circundantes de um ambiente, para tal utilizou-se um método probabilístico de tiros aleatórios. Resultados obtidos pelo modelo computacional são comparados com dados apresentados por FANGER (1970).

ABSTRACT

A computational model was developed to calculate the shape factors between the human body and surrounding surfaces. Numerical results are presented and compared with examples presented in FANGER (1970).

1. INTRODUÇÃO

O ambiente térmico é um fator importante na qualidade do ar interno e tem um forte impacto no consumo de energia de um edifício.

Muitas pessoas acreditam que o conforto térmico possa ser avaliado medindo-se somente a temperatura do ar interno (temperatura de bulbo seco). Esta crença é responsável pela falta de conforto térmico em muitos edifícios, mesmo quando dotados de climatização artificial.

Um parâmetro normalmente esquecido é a temperatura média de radiação, função das temperaturas das superfícies limites de um ambiente, que podem atingir valores extremamente elevados dadas a forte radiação solar a que estão sujeitos nossos edifícios e as baixas resistências térmicas dos fechamentos.

No entanto, surgem dificuldades na determinação da Temperatura Média de Radiação (TMR) e da Temperatura Plana de Radiação (TPR). O problema reside na determinação dos fatores de

forma para a radiação entre o homem e as superfícies circundantes, tanto os métodos analíticos como a álgebra dos fatores de forma são bastante trabalhosos.

2. MODELO COMPUTACIONAL

2.1 Avaliação da Temperatura Média de Radiação

A temperatura média de radiação é definida como uma temperatura imaginária na qual estaria a superfície de uma cavidade negra, e que produziria a mesma troca de calor por radiação com o homem que o ambiente considerado.

Uma forma de se obter a temperatura média de radiação para o corpo humano e determiná-la a partir de três outros valores de temperatura média de radiação pela Eq. 1.

$$TMR = \sqrt[4]{\sum_{k=1}^3 P_k \cdot TMR_k^4} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Nesta equação, TMR_k são as temperaturas médias de radiação para a esfera preta colocada em três alturas, e P_k são frações da área corporal correspondentes às três alturas.

Para o cálculo das temperaturas TMR_k , utiliza-se a equação 2.

$$TMR_k = \sqrt[4]{\frac{1}{\sigma} \sum_{j=1}^N B_j FP_j} \quad [\text{Eq. 2}]$$

Nesta equação, FP_j são os fatores de forma entre a esfera preta e as diversas superfícies circundantes, B_j são as radiosidades dessas superfícies e σ é a constante de Stefan-Boltzmann. As radiosidades são obtidas resolvendo o sistema linear [Eq 3].

$$\sum_{j=1}^N A_{ij} B_j = \sigma T_j^4 \quad [\text{Eq. 3}]$$

No qual

$$A_{ij} = \frac{\delta_{ij} - (1 - \varepsilon) F_{ij}}{\varepsilon_i} \quad [\text{Eq. 4}]$$

O símbolo δ_{ij} na equação [Eq.4] é o delta de Kronecker, que assume o valor 1 quando $i=j$ e o valor 0 quando $i \neq j$. nesta equação F_{ij} são os fatores de forma de cada superfície circundante em relação as demais e ε_i são as emissividades dessas superfícies.

Para Fanger (1970), a maioria dos materiais de construção civil, possuem altas emissividades, muito próximas a 1.

Isto ocorre em função da maioria dos materiais como tijolo, reboco, concreto, entre outros possuem um acabamento relativamente rugoso, apresentando características de superfícies

difusas, ao passo que superfícies polidas têm um acabamento menos irregular, aproximando de superfícies especulares. Portanto obtém-se resultados práticos satisfatórios, para o caso de análises térmicas de ambientes construídos (residências, escritórios) assumindo-se as superfícies de uma cavidade como sendo negras. Com esta consideração a equação [Eq.2] reduz-se a:

$$TMR_k = \sqrt[4]{\sum_{j=1}^N FP_j T_j^4} \quad [\text{Eq.5}]$$

Existem valores de FP_j catalogados para superfícies simples, porém para casos de análise de ambientes térmicos, surgem dificuldades em determinar os fatores de forma para diferentes geometrias de faces e de aberturas ou painéis radiantes.

Para o desenvolvimento de um modelo computacional capaz de simular um ambiente com n painéis em diferentes posições nas seis faces circundantes e qualquer posição do ocupante, optou-se por uma nova metodologia para a determinação dos fatores de forma, o *método dos tiros aleatórios*. O método dos tiros aleatórios é uma técnica probabilística, consiste em gerar um determinado número de tiros aleatórios, a partir de um atirador situado na estação de avaliação.

Para a modelagem do ambiente, informam-se as dimensões do ambiente na forma de coordenadas espaciais x , y e z , em relação à origem. Os possíveis painéis, janelas ou portas são informados como coordenadas cartesianas, dependendo do plano considerado.

Para a geração dos tiros, imagina-se um ponto de coordenadas x , y e z no interior do ambiente (ponto de avaliação). São gerados automaticamente e aleatoriamente pelo programa, dois co-senos diretores, e um terceiro que é complemento. Com estes co-senos diretores são calculadas as coordenadas da interseção da reta definida por estes co-senos com os planos coordenados, e faz-se uma avaliação se as coordenadas calculadas estão nos limites do plano considerado, ou nos limites de algum painel (janela ou porta) localizado neste mesmo plano. Por último faz-se a contagem dos coordenadas (tiros) que “atingem” uma superfície considerada. O fator de forma é calculado através da relação de tiros que “atingem” a superfície considerada e o total de tiros gerados. A figura 1, mostra uma superfície considerada (plano x, z) e as coordenadas limites de um painel localizado nesta superfície

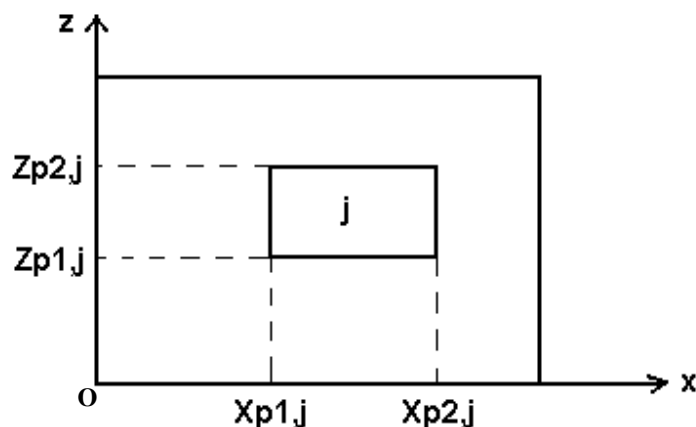


Figura 1: Painel localizado em uma superfície (plano $x,0,z$) e suas coordenadas limites.

Com esta técnica é possível, avaliar ambientes com n painéis (janelas ou portas) nas seis superfícies do ambiente, apresentando grande simplicidade algébrica quando comparada à teoria da Álgebra dos fatores de forma, qualidade desejável para algoritmos computacionais.

2.2 Avaliação do Conforto Térmico Global

Para avaliar o conforto térmico global foi usada a metodologia de Fanger, que define o índice PMV (Predicted Mean Vote). A escala de PMV varia entre -3 (muito frio) e +3 (muito quente), o zero da escala corresponde a situações neutras.

Na metodologia de Fanger também é usado o parâmetro PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), que indica a percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico.

O PMV e o PPD são funções de dois parâmetros relativos ao homem (resistência térmica das roupas e metabolismo) e quatro parâmetros relativos ao ambiente (temperatura do ar, velocidade relativa do ar, temperatura média radiante e pressão parcial do vapor d'água).

Esta metodologia está proposta na norma ISO 7730.

3. APLICAÇÃO DO MODELO

3.1 Teste de Exatidão do Modelo

Primeiramente efetuou-se um teste de exatidão do modelo computacional. Para tal, imaginou-se um ambiente cúbico com 10m de lado, temperatura das faces igual a 30°C e a estação de avaliação centrada. Neste caso o fator de forma entre o corpo e qualquer uma das faces resultaria em 0.1667, o somatório de todos os fatores de forma teria que ser igual a 1 e a temperatura média radiante (TMR) igual a 30°C. Os resultados obtidos com os mesmos dados de entrada em três execuções do programa estão apresentados na tabela 1.

	<i>Simulação 1</i>	<i>Simulação 2</i>	<i>Simulação 3</i>
FP₁	0.16900	0.16640	0.16230
FP₂	0.16760	0.16665	0.17265
FP₃	0.17110	0.16470	0.16635
FP₄	0.16585	0.16505	0.16385
FP₅	0.16925	0.17055	0.16375
FP₆	0.16460	0.16100	0.16840
Soma	1.00740	0.99435	0.99730
TMR (°C)	30.55899	29.57111	29.79526

Tabela 1: Teste de exatidão do programa

3.2 Aplicação do Modelo Computacional em um Caso Prático

Aplicou-se o programa computacional em um caso prático, onde utilizou-se um exemplo apresentado no livro *Thermal Comfort - analysis and applications in environmental engineering*, página 182, do Professor Fanger. Os resultados obtidos pelo programa computacional referentes aos fatores de forma corpo-faces e corpo-painéis estão mostrados na tabela 2.

	<i>Fanger</i>	<i>Modelo Computacional</i>
Face 1	0.343	0.39335
Face 2	0.038	0.04700
Painel na face 2	0.112	0.11050
Face 3	0.167	0.16990
Face 4	0.033	0.01810
Face 5	0.152	0.11380
Face 6	0.070	0.06975
Painel na face 6	0.085	0.07990
Somatório	1.000	1.00195

Tabela 2: Resultados de uma aplicação do programa

O desvio nos resultados do programa em relação aos apresentados por Fanger deve-se principalmente ao fato de que na avaliação de Fanger foi considerada uma pessoa sentada, ao passo que no programa foi considerado um ponto emissor nas mesmas coordenadas x e y do exemplo de Fanger e a uma altura de 0.60m.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que as avaliações feitas pelo programa apresentam uma exatidão satisfatória do ponto de vista da prática de engenharia. No teste de exatidão do modelo, os resultados calculados apresentaram oscilações entre as simulações, estas oscilações são decorrentes do método aleatório empregado.

Quanto a aplicação do modelo em um exemplo de Fanger, os resultados apresentados também são satisfatórios do ponto de vista de engenharia.

Com o modelo desenvolvido, a determinação dos fatores de forma entre o ocupante e as superfícies circundantes são calculadas de forma rápida e para um grande número de aplicações com geometrias e posições de ocupante variadas.

5. BIBLIOGRAFIA

CLEZAR, C. SIMIONI, W. (2001) *Desconforto provocado pela assimetria de radiação térmica*. VII CONBRAVA. São Paulo.

FANGER, P. O. (1970) *Thermal Comfort. Analysis and application in environmental engineering*. New York. McGraw-Hill, 1970.

KREITH,F. BLACK,W. (1980) *Basic heat transfer*. New York. Harper & Row.

SIMIONI, W. I. (2002) *Determinação dos fatores de forma para radiação por um método probabilístico - Relatório*. UNIVALI.

SIMIONI, W.I. (2002) *Software TiroBeta*. Itajaí,SC.