

Implementation of a code to obtain globe and wet-bulb temperatures for application of the WBGT index in the evaluation of the thermal performance of industrial sheds via computational simulations

Bruno Camargos¹; Henor Souza; Adriano Gomes; Artur Ladeira; Reinaldo Reis; Lidianne Mapa

¹*Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Universitário s/n, Morro do Cruzeiro, 35400-000, Ouro Preto, MG – Brasil, brunolourencocamargos@gmail.com.*

Abstract. For the analysis of the occurrence of overload or thermal discomfort in an industrial environment subject to extreme temperatures, it is necessary to know the environmental conditions of the site. Extreme temperatures are understood as those that cause serious health risks to workers. In this paper, an algorithm is implemented for obtaining the hourly globe and internal wet bulb temperatures necessary to determine the WBGT index. The WBGT index consists of a thermal overload index, defined by a mathematical equation that correlates the globe temperature and wet-bulb temperature measured in the workplace. An industrial building equipped with a high-intensity internal heat source and with longitudinal and/or transversal ridge vents is used as the object of study. The internal environmental conditions of the shed are obtained through computer simulation using the EnergyPlus[®] software (version 8.7.0), in three configurations of the devices that provide natural ventilation. The globe temperature and wet-bulb temperature are not possible outputs to be obtained directly from the EnergyPlus software and, for this reason, they are found through the algorithms formulated from iterative techniques. Basically, three variables related to the environment are of interest: temperature, air speed, and relative humidity. The proposed algorithms converge properly and, when comparing the final annual results of the WBGT index with the limits provided for in the Brazilian regulatory standard NR-15, it is observed that the shed equipped with longitudinal and transversal ridge vents has better thermal performance, thus providing less time of discomfort due to the heat.

Keywords: thermal performance; simulation thermal; WBGT index, iterative methods.

1 Introdução

O trabalho em um ambiente desconfortável termicamente, especialmente em ambientes quentes, além do desconforto geral causado pelo esforço do coração que baterá mais rapidamente e do aumento da circulação do sangue, tem-se que as pessoas podem sentir náuseas, enjoos e até desmaiar, sintomas esses que são indicativos da necessidade de se suspender o trabalho [1]. Em alguns casos esses sintomas podem não ser tão óbvios e os indivíduos podem não perceber o estresse a que estão sendo submetidos, o que aumenta substancialmente o risco de acidentes.

Neste artigo implementa-se um algoritmo para a obtenção da temperatura de globo e bulbo úmido interna horárias necessárias na determinação do índice IBUTG (WBGT – *wet-bulb globe temperature*) que permite avaliar as condições de trabalho em um ambiente industrial sujeito a temperaturas elevadas.

2 Avaliação da exposição ocupacional ao calor

O estresse térmico é definido como o resultado de condições microclimáticas desfavoráveis que requerem a intervenção do sistema termorregulador, uma vez que, para o bom funcionamento do organismo humano, a temperatura do corpo deve ser mantida em torno de 37°C. A Norma Regulamentadora de Segurança e Higiene do Trabalho NR-15 [2] – Atividades e Operações Insalubres, por meio da Portaria MTb n° 3.214, de 08 de junho de 1978, em seu anexo 03, prevê o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo – IBUTG, como índice técnico legal brasileiro para a avaliação das condições de trabalho em ambientes sob temperaturas elevadas. Esse índice combina a temperatura do ar (temperatura de bulbo seco), T_{bs} ; temperatura de bulbo úmido natural (ambiente naturalmente ventilado), T_{bu} ; e a temperatura de globo, T_g ; e representa a média ponderada destas medidas. A

obtenção deste índice se dá, para ambientes internos ou externos sem carga solar por meio da Eq. (1):

$$IBUTG = 0,7T_{bu} + 0,3T_g \quad (1)$$

O IBUTG é um índice utilizado na indústria para a especificação de níveis de exposição a ambientes quentes, seguros para o trabalhador. O T_{bu} é um tipo de medida de temperatura que reflete as propriedades físicas de um sistema constituído pela evaporação da água no ar e têm a função de simular a pele do trabalhador, molhada pelo suor. Já T_g é a temperatura de um local, eficaz para diversas finalidades, sendo a maioria para fins de controle da temperatura do meio.

A norma NR-15 [2], Anexo 03, estabelece os limites de tolerância que o valor do IBUTG dado pela Eq. (1) para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores limites de IBUTG (°C) – Descanso no próprio local de trabalho

Regime de Trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora)	Tipo de Atividade		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	até 30,0	até 26,7	até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,5	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle	Acima de 32,2	Acima de 31,1	Acima de 30,0

Fonte: NR-15 – Anexo 03 [2].

3 Metodologia

A metodologia de investigação utilizada se dá a partir da realização de variações paramétricas com o uso da ferramenta de simulação computacional *EnergyPlus* por meio de um modelo computacional base de um galpão industrial. Estuda-se um galpão industrial equipado com uma fonte interna liberadora de calor de alta intensidade por meio de um modelo computacional, situado no contexto climático brasileiro na região da cidade de Belo Horizonte (Tabela 2), dotado de lanternins longitudinal e/ou transversais.

Tabela 2 – Localização geográfica da cidade de Belo Horizonte/MG/Brasil

UF	Zona Bioclimática	Cidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)
MG	ZB3	Belo Horizonte	19,93S	43,93W	850

Fonte: NBR 15575 [3]

3.1 Sobre o galpão industrial simulado

Na Figura 1 mostra-se os 3 modelos do galpão industrial simulado. As diferenças atribuídas aos galpões são decorrentes do aumento da ventilação natural devido ao aumento da altura do lanternim longitudinal e à inclusão dos lanternins transversais.

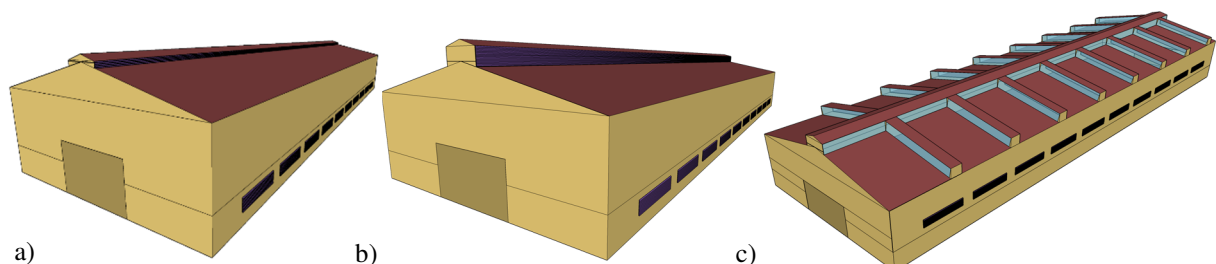


Figura 1 – Modelo computacional do galpão industrial simulado: a) modelo base - lanternim com 0,5m de altura; b) galpão com lanternim longitudinal de 1m; c) galpão com lanternim longitudinal e transversais

Tabela 3 – Características termofísicas e absorvência dos materiais de construção do galpão industrial.

Material	Rugosidade	Espessura (cm)	Condutividade κ (W/m.K)	Densidade ρ (kg/m ³)	Calor específico c (J/kg.K)	Absorvência		
						α_t Térmica	α_s Solar	α_v Visível
<i>Parede de alvenaria (até 3 metros de altura)</i>								
Bloco de concreto furado	Médio rugoso	20,0	0,57	1.040,0	830,0	0,90	0,60	0,60
Argamassa de Reboco	Médio rugoso	2,0	0,72	1.860,0	830,0	0,90	0,50	0,50
<i>Piso</i>								
Concreto	Rugoso	10,0	1,75	2.400,0	1.000,0	0,90	0,70	0,70
<i>Cobertura, Fechamento metálico e Lanternim</i>								
Chapa em aço galvanizada	Liso	0,2	55,0	7.800,0	460,0	0,90	0,25	0,25

Fonte: NBR 15220 [4].

Na Tabela 3 mostra-se os materiais de construção constituintes da envoltória do galpão analisado. Já na Tabela 4 apresenta-se as informações adicionais relativas à caracterização das cargas térmicas internas deste galpão industrial proposto e analisado. Adota-se uma fonte de calor com potência nominal de 1MW, caracterizando uma indústria de médio porte e para a iluminação artificial um nível de 500lux, ou seja, 30W/m², que resulta num calor total liberado de 89.938,8W e uma ocupação com 45 funcionários em atividades moderadas com uma taxa metabólica individual de 175W.

Tabela 4 – Cargas térmicas assumidas para o galpão industrial (Autoria própria)

Fonte interna geradora de calor (W)	Iluminação (W)	Pessoas (W)
1.000.000,0	89.939,8	7.875,0

3.2 Abordagem computacional

O programa *EnergyPlus* [5], é utilizado para as variações paramétricas dos elementos físicos, ventilação natural e para o cálculo das horas de desconforto obtidas pós simulações computacionais. No *software*, o modelo de cálculo do fluxo de ar utilizado é o *AirflowNetwork*. Os coeficientes de pressão são calculados automaticamente pelo programa, uma vez que se trata de uma edificação com geometria retangular, condição essa limitante para tal. As simulações são configuradas para se realizar com a situação de ventilação constante e fator de abertura 1 (100%) para todas as aberturas de entrada de ar e lanternim, sendo os portões de acesso considerados sempre fechados (fator de abertura 0). Devido à utilização dos aparatos de entrada de luz e proteção contra chuva, do tipo venezianas industriais, presentes em todas as aberturas, o coeficiente de vazão de cada área é igual a 0,40 conforme recomenda Idel'cik (1969) *apud* Clezar e Nogueira [6].

3.3 Obtenção do índice IBUTG

Conforme já mencionado anteriormente a avaliação da exposição ao calor ocorre mediante comparação com os limites estabelecidos pela norma NR-15 [2] que prevê o índice IBUTG – Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo – (Eq.1) como padrão técnico legal brasileiro para a avaliação das condições de trabalho em ambientes sob temperaturas elevadas. Esse índice combina a temperatura de bulbo úmido natural (ambiente naturalmente ventilado), T_{bu} , e a temperatura de globo, T_g . Contudo, as temperaturas T_{bu} e T_g não são *outputs* possíveis de serem obtidos diretamente pelo *software* de simulação termoenergética *EnergyPlus*, por isso, elas são obtidas a partir dos algoritmos confeccionados e mostrados a seguir.

Na Tabela 5 mostra-se o algoritmo para a obtenção da temperatura de bulbo úmido interna horária para o total de horas trabalhadas no ano tipo ($t = 8760$ horas). A T_{bu} é obtida de maneira iterativa, conhecendo-se a temperatura de bulbo seco (T_{bs}) e a umidade relativa (UR) de um determinado ponto de estado. Nesse caso, a temperatura de bulbo seco é progressivamente decrementada, mantendo-se constante o valor de entalpia, até se alcançar um ponto de estado cujo valor de umidade relativa seja igual ou bem próximo a 100%. A cada iteração é calculada o valor da razão de mistura, pressão de saturação, pressão parcial de vapor e umidade relativa, considerando-se uma temperatura de bulbo molhado igual à temperatura usada na iteração anterior decrementada de um valor escolhido previamente pelo usuário [7]. Uma vez que esse método é realizado com o emprego de programas computacionais, tanto o decremento inicial quanto a condição de parada devem ser valores bem pequenos, o que possibilita a obtenção de resultados mais exatos demandando maiores números de iteração (custo computacional). É considerado neste algoritmo um decremento inicial de 0,001°C e a condição de parada ocorre quando a diferença

for menor ou igual a 0,1°C.

Tabela 5 – Metodologia iterativa para obtenção da temperatura de bulbo úmido – T_{bu}

1. **LÊ** os vetores T_{bs} e UR que irão armazenar os resultados da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa, respectivamente, para cada hora de trabalho;
2. **SOLUÇÃO:** $t = 1, 2, \dots, 8760$
 - 2a. Calcule p_{vs} (pressão de vapor saturado) para a temperatura de bulbo seco: $p_{vs} = 0,6108 \cdot \exp(p_{ar}^0)$; sendo $p_{ar} = (17,3 \cdot T_{bs}) / (237,3 + T_{bs})$
 - 2b. Calcule p_v (pressão de vapor): $p_v = UR \cdot p_{vs} / 100$
 - 2c. Calcule a razão de mistura (w) para a temperatura de bulbo seco: $w = 0,622 \cdot p_v / (Pa - p_v)$, sendo Pa = pressão atmosférica em kPa.
 - 2d. Calcule a entalpia (h) para a temperatura de bulbo seco: $h = 1,006 \cdot T_{bs} + w(2501 + 1,775 \cdot T_{bs})$
3. **PROCESSO ITERATIVO:** para $k = 1, 2, 3, \dots$
 Se $k = 1$ então $T_{bu} = T_{bs}^k - 0,001$ Senão $T_{bu}^k = T_{bu}^{(k-1)} - 0,001$
 - 3a. Calcule a razão de mistura para T_{bs} : $w^k = (h - 1,006 \cdot T_{bu}^{(k)}) / (2501 + 1,775 \cdot T_{bu}^{(k)})$
 - 3b. Calcule p_v para T_{bs} : $p_v^k = (w^k \cdot Pa) / (0,622 + w^k)$
 - 3c. Calcule p_{vs} para T_{bs} : $p_{ar}^k = (17,3 \cdot T_{bu}^{(k)}) / (237,3 + T_{bu}^{(k)})$ sendo $p_{vs}^k = 0,6108 \cdot \exp(p_{ar}^k)$
 - 3d. Calcule UR para T_{bs} : $UR_k = (100 \cdot p_v^k) / p_{vs}^k$
 - 3e. Se $100 - UR_k$ for $\leq 0,1$ pare e imprima T_{bu}^k senão continue até que tal condição seja satisfeita (retorne ao passo 3).
4. **FAÇA:** Retorne ao passo 2 até que $t = 8760$.

Na Tabela 6 mostra-se o algoritmo para a obtenção da temperatura de globo interna anual. A T_g é obtida a partir da Eq. (2) isolando-se essa variável por meio da Eq. (3) que determina a temperatura radiante média. Dessa equação, a única variável que não é um *output* possível de ser extraída do *EnergyPlus* é a temperatura de globo. Assim, a Eq. (2) é reescrita da seguinte forma:

$$f = -T_{rm}^4 - 1092T_{rm}^3 - 4,4718 \cdot 10^5 T_{rm}^2 - 8,1386 \cdot 10^7 T_{rm} + T_g^4 + 1092T_g^3 + 4,4718 \cdot 10^5 T_g^2 + 8,1386 \cdot 10^7 T_g + 2,50 \cdot 10^8 v^3 T_g - 2,50 \cdot 10^8 v^3 T_{bs} \quad (2)$$

A Eq. (2) é definida como uma equação fortemente não linear.

$$T_{rm} = \left[(T_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v^{0,6} \cdot (T_g - T_{bs}) \right]^{1/4} - 273 \quad (3)$$

onde T_{rm} é a temperatura radiante média (°C); T_g é a temperatura de globo (°C); T_{bs} é a temperatura do ar (°C); v é a velocidade do ar (m/s).

O método de *Newton-Raphson* é definido como um método iterativo que utiliza a propriedade da convergência das sequências para garantir uma convergência rápida para a solução, a partir do instante que x_{n+1} se aproxima de uma vizinhança suficientemente próxima de x^* . Portanto, a premissa do método é determinar uma função $\gamma(x)$ tal que a primeira derivada da função f seja $f'(x^*) = 0$ e assim garantir que, em uma vizinhança próxima de x^* , a função f é tal que $|f| \ll 1$. Basicamente, o método de *Newton-Raphson* é dado pela Eq. (4):

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (4)$$

Logo, é escolhido o método iterativo de *Newton-Raphson* para encontrar as raízes reais positivas possíveis da Eq. (2). Tem-se que solucionando essa equação, encontra-se o valor de T_g horária para o total de 8760 horas do ano tipo da cidade simulada. É considerado nesse algoritmo o palpite inicial para o valor de T_g igual a 30,0°C e o valor máximo de tolerância aceita para encontrar a raiz da equação sendo igual a 10^{-7} . Isso como forma de garantir uma boa convergência. A primeira derivada da Eq. (2) em função de T_g é dada pela Eq. (5):

$$f' = 4T_g^3 + 3276T_g^2 + 8,9436 \cdot 10^5 T_g + 8,1386 \cdot 10^7 + 2,5 \cdot 10^8 v^{0,6} \quad (5)$$

Tabela 6 – Metodologia incremental iterativa para obtenção da temperatura de globo – T_g **1. DADOS INICIAIS DA ANÁLISE:**

1a. Lê-se matrizes T_{rm} , v e T_{bs} que irão armazenar, respectivamente os valores da temperatura radiante média, velocidade do ar e da temperatura de bulbo seco a cada hora.

1b. Define-se, arbitrariamente, uma estimativa inicial para solução, 0T_g .

2. SOLUÇÃO: $t = 1, 2, 3, \dots, 8760$ **3. PROCESSO ITERATIVO DE NEWTON RAPHSON:** $k = 1, 2, 3, \dots$

3a. Calcula o valor da função objetivo e de sua derivada:

$$f = -{}^tT_{rm}^4 - 1092{}^tT_{rm}^3 - 4,4718 \cdot 10^5 {}^tT_{rm}^2 - 8,1386 \cdot 10^7 {}^tT_{rm} + ({}^{k-1}T_g)^4 + 1092 ({}^{k-1}T_g)^3 + 4,4718 \cdot 10^5 ({}^{k-1}T_g)^2 + 8,1386 \cdot 10^7 ({}^{k-1}T_g) + 2,50 \cdot 10^8 {}^t v^{3/5} ({}^{k-1}T_g) - 2,50 \cdot 10^8 {}^t v^{3/5} T_{bs}$$

$$f' = 4 ({}^{k-1}T_g)^3 + 3276 ({}^{k-1}T_g)^2 + 8,9436 \cdot 10^5 ({}^{k-1}T_g) + 8,1386 \cdot 10^7 + 2,50 \cdot 10^8 {}^t v^{3/5}$$

3b. Faça: $T_g^k = T_g^{(k-1)} - f/f'$

3c. Se $f/f' < \text{tol}$, vá para o passo **3d**.

Senão, calcule f e f' calculados no passo **3a**. com T_g^k calculado no passo **3b**. (retorne ao passo **3**).

3d. ${}^tT_g = T_g^k$

4. IMPRIME os valores da tolerância e o número de iterações necessárias para a convergência.

5. RETORNA ao passo **2** até que $t = 8760$.

4 Resultados

Visando-se confrontar os valores da temperatura interna do galpão industrial com os limites e recomendações estabelecidos na norma NR-15 [2], faz-se a simulação computacional extraíndo como *outputs* as variáveis necessárias para aplicação na Eq. (1), a saber: a temperatura de bulbo seco interna (T_{bs}), temperatura radiante média (T_{rm}) e a umidade relativa (UR).

À vista disso, assumindo para o galpão industrial aqui estudado que os trabalhadores estariam desenvolvendo atividade do tipo moderada e adotando um regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora), visando o desprendimento do trabalho continuamente durante o dia, tem-se como limite previsto pela norma NR-15 [2] a partir de seu anexo 03, o valor máximo para o índice IBUTG igual a **26,7°C** conforme mostrado na Tabela 1.

4.1 Avaliação anual – Índice IBUTG

Na Figura 2 apresenta-se a evolução anual do índice IBUTG do galpão modelo base. Tomando o limite estabelecido pela norma NR-15 [2] para esse índice, percebe-se que, nesta configuração, a temperatura interna ultrapassa o recomendável para o regime de trabalho contínuo na maior parte do ano.

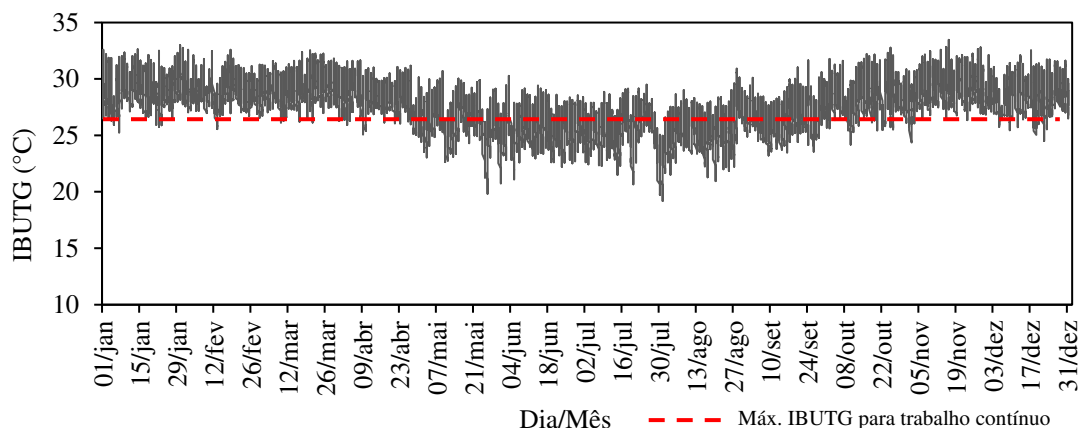


Figura 2 – Evolução anual do IBUTG para o galpão modelo base

Pelo gráfico acima tem-se que o valor máximo de IBUTG obtido é 33,5°C registrado no dia 16/11, e o valor mínimo é 19,2°C registrado no dia 31/07. Nota-se que a umidade relativa (UR) influencia diretamente no IBUTG, uma vez que T_{bu} é explicitamente dependente de UR, e no cálculo a T_{bu} representa 70% do valor desse índice.

Logo, apesar do pico de temperatura de bulbo seco externa para Belo Horizonte ser dia 24/09, para esse mesmo dia, tem-se os menores picos de umidade relativa interna do galpão o que contribui para a diminuição do índice IBUTG do dia.

Na Figura 3 apresenta-se a evolução anual do índice IBUTG do galpão equipado com o lanternim longitudinal com 1,50m de altura. Tomando o limite estabelecido pela norma NR-15 [2] para esse índice percebe-se que, nesta configuração, a temperatura interna também ultrapassa o recomendável para o regime de trabalho contínuo na maior parte do ano. Pelo gráfico tem-se que o valor máximo de IBUTG obtido é 32,5°C registrado no dia 16/11, e o valor mínimo é 18,6°C registrado no dia 31/07. Nota-se que, para os dias extremos de IBUTG nessa configuração, há uma redução de até 1°C para o dia 16/11 e uma redução de até 0,6°C para o dia 31/07 frente ao modelo base.

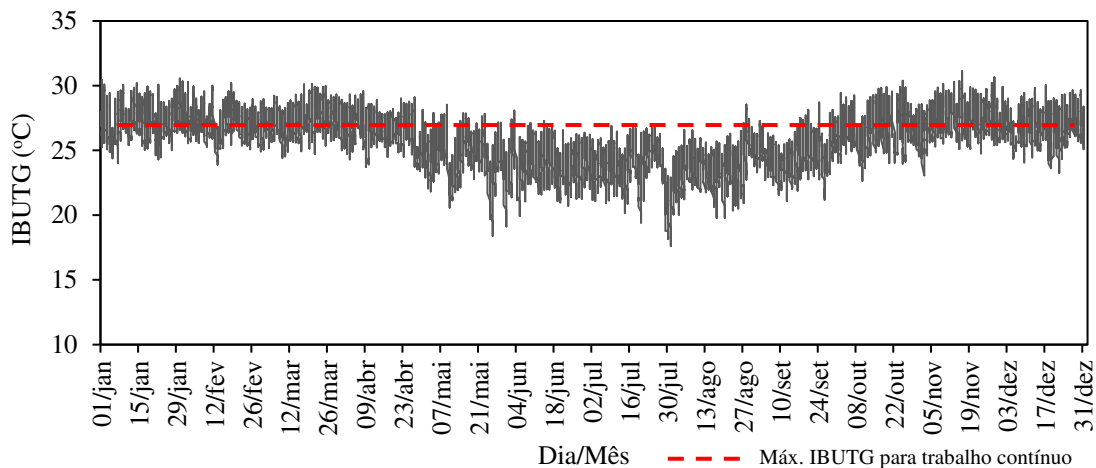


Figura 3 – Evolução anual do IBUTG para o galpão equipado com o lanternim longitudinal

Na Figura 4 mostra-se o caso do galpão equipado com lanternim longitudinal e transversais. Constata-se que o valor máximo de IBUTG obtido é 29,1°C registrado no dia 18/02, e o valor mínimo é 13,8°C registrado no dia 30/07. Os dias extremos para o índice IBUTG diferem daqueles registrados nas demais configurações avaliadas e isso deve-se a inclusão dos lanternins transversais. Esses inferem diretamente nas variáveis ambientais temperatura de bulbo úmido e umidade relativa, uma vez que por meio desses aparelhos, tem-se um aumento considerável das taxas de renovação do ar interno e volume de infiltração de ar para o interior do galpão.

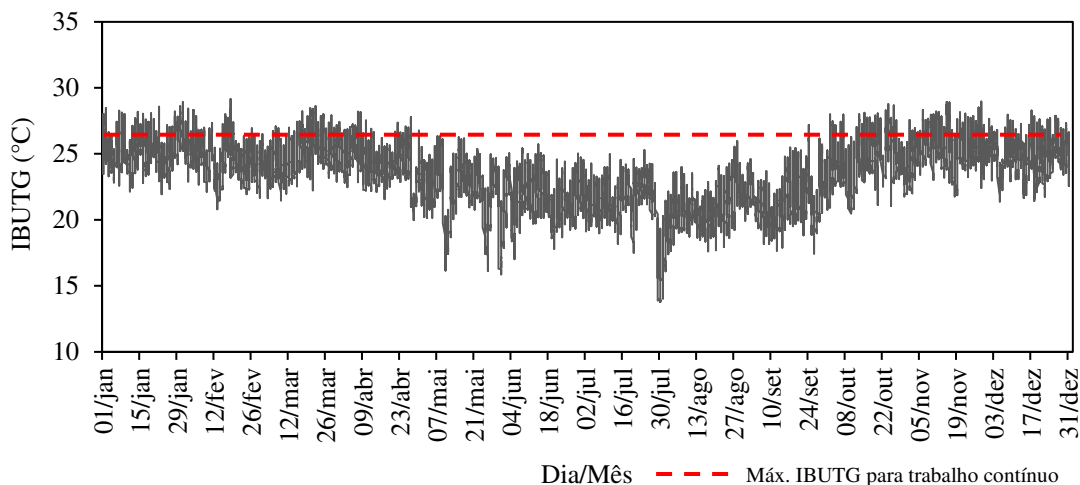


Figura 4 – Evolução anual do IBUTG do galpão equipado com lanternim longitudinal e transversais

4.2 Análise das horas de desconforto

Nas Figuras 5 e 6 apresentam-se, respectivamente, o total e a porcentagem das horas de desconforto para as três configurações do galpão industrial. Comparando-as percebe-se que há uma diferença de até 5411 horas a menos de desconforto local sentido pelos trabalhadores no desenvolvimento de atividades moderadas neste mesmo ambiente laboral, correspondente a apenas 8,25% do total de horas acima do limite estipulado de IBUTG pela NR-

15 [2] se tratando do galpão com lanternins longitudinal e transversais frente as demais configurações do galpão.

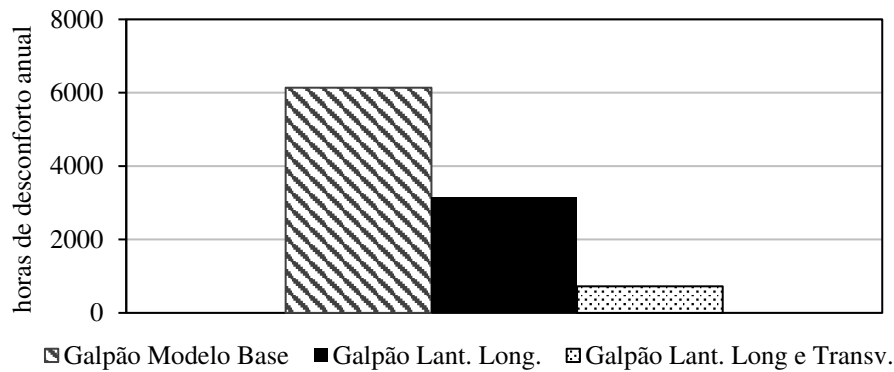


Figura 5 – Total de horas de desconforto anual

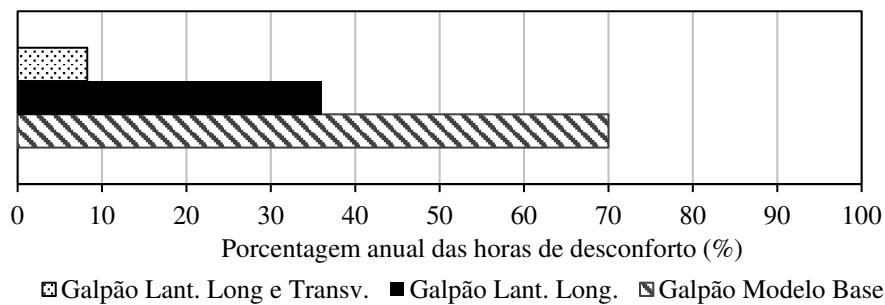


Figura 6 – Porcentagem anual das horas de desconforto

5 CONCLUSÃO

Os resultados finais corroboram com a prerrogativa levantada acerca da importante relação entre o total da área de saída do ar e o desempenho térmico, se tratando de galpões dotados de fontes internas. Nota-se, com esse conjunto de resultados, que os algoritmos obtiveram boas convergências uma vez que os resultados foram coerentes com os resultados avindos da simulação com o *EnergyPlus*. Tais resultados demonstram que as intervenções de construção sugeridas neste trabalho contribuem diretamente para melhorar o desempenho térmico global da edificação industrial estudada, por meio do aumento da ventilação natural (provenientes do uso dos lanternins), e tendem a colaborar para a melhoria das condições de trabalho, bem como no aumento da sensação de bem-estar e na produtividade de todos os envolvidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, UFOP/PROPEC, CAPES e CNPq pelo auxílio financeiro.

Referências

- [1] SCIGLIANO, S.; HOLLO, V. *IVN - Índice de ventilação natural*. São Paulo: Pini, 2001. 279 p.
- [2] BRASIL, *NORMA REGULAMENTADORA NR-15*, de 08 de julho de 1978. Atividades e Operações insalubres. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-15-atividades-e-operacoes-insalubres>. Acesso em: 18 mar. 2020.
- [3] ABNT. *NBR 15575: Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 1 – Requisitos gerais*, Rio de Janeiro, 2013.
- [4] ABNT. *NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 2 – Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações*, Rio de Janeiro, 2005.
- [5] DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Building energy software tools directory*. 2018. Disponível em: http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm. Acesso em: 24 abr. 2018a.
- [6] CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R. *Ventilação Industrial*. 2. ed. rev., Florianópolis: Editora da UFSC, 2009. 240 p.
- [7] MIRANDA, J. H. *et al.* Aplicação de métodos numéricos para estimativa de variáveis psicrométricas. *Eng. Agríc.*, 26(3): 686-694, set./dez. 2006.