

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

TANISE FUCKNER DE OLIVEIRA GALVAN

CONDIÇÕES DE ESTRESSE E CONFORTO TÉRMICO EM FÁBRICA
DE PRÉ-MOLDADO EM PONTA GROSSA - PR

DISSERTAÇÃO

PONTA GROSSA

2018

TANISE FUCKNER DE OLIVEIRA GALVAN

**CONDIÇÕES DE ESTRESSE E CONFORTO TÉRMICO EM FÁBRICA
DE PRÉ-MOLDADO EM PONTA GROSSA - PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier

Coorientador: Prof. Dr. Evandro Eduardo Broday

PONTA GROSSA

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa
n.24/18

G182 Galvan, Tanise Fuckner de Oliveira

Condições de estresse e conforto térmico em fábrica de pré-moldado em Ponta Grossa - PR. / Tanise Fuckner de Oliveira Galvan. 2018.
89 f.; il. 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier
Coorientador: Prof. Dr. Evandro Eduardo Broday

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

1. Concreto pré-moldado - Indústria. 2. Ambiente de trabalho. 3. Conforto humano. 4. Temperatura atmosférica - Efeito fisiológico. 5. Engenharia civil. I. Xavier, Antonio Augusto de Paula. II. Broday, Evandro Eduardo. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 670.42

Elson Heraldo Ribeiro Junior. CRB-9/1413. 26/04/2018.



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação Nº 317/2018

**CONDIÇÕES DE ESTRESSE E CONFORTO TÉRMICO EM FÁBRICA DE PRÉ-
MOLDADO EM PONTA GROSSA - PR**

por

Tanise Fuckner de Oliveira Galvan

Esta dissertação foi apresentada às 14:00 horas de 28 de fevereiro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, linha de pesquisa em Ergonomia em Processos Produtivos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O(a) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Eduardo Leite Kruger (UTFPR)

Prof. Dr. Aldo Braghini Junior (UTFPR)

Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski (UTFPR)

Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier
(UTFPR) - *Orientador*

Prof. Dr. Antônio Carlos de Francisco
(UTFPR)
Coordenador do PPGEP

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NO DEPARTAMENTO DE
REGISTROS ACADÊMICOS DA UTFPR -CÂMPUS PONTA GROSSA

Dedico este trabalho ao meu filho Alan,
por se tornar a motivação para eu concluir
esta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço a Deus, que apesar da Sua grandiosidade, concedeu tanto a alguém tão pequena como eu.

Agradeço ao meu esposo Adrian, por seu apoio e compreensão em cada momento de ausência, na falta de tempo, nas férias perdidas; por seu companheirismo em tantas madrugadas em claro. E ao meu filho Alan, que chegou em meio a esta pesquisa, e mesmo sem entender ainda, se tornou a razão pela qual eu consegui concluir esta pesquisa.

Quero também agradecer meus pais, Teresa e Manoel, por sempre serem tão exigentes nos meus estudos, o que com certeza me trouxe até aqui. Também pelo cuidado com meu filho para que eu pudesse desenvolver esta pesquisa.

Agradeço aos meus sogros, Marlene e Ademir, pelo cuidado com meu filho nas muitas vezes que precisei.

Aos meus familiares que sempre me motivaram e apoiaram, e também ajudaram com meu filho, minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Xavier, por me mostrar outras possibilidades, quando eu não conseguia ver nada além, e pelo exemplo como professor em sala de aula.

Agradeço ao meu coorientador Prof. Dr. Evandro, pela ajuda e orientação imprescindíveis, pela empatia e compreensão.

Aos professores da UTFPR que contribuíram para minha formação, especialmente ao Prof. Dr. Ariel, que não mediu esforços para conseguir os equipamentos de medição utilizados, e por todo apoio.

À secretaria do PPGEF, pela cooperação.

Aos meus colegas e amigos da UTFPR, com quem convivi e aprendi muito.

Agradeço também a empresa que disponibilizou o local da realização desta pesquisa, e aos funcionários que voluntariamente participaram da mesma.

Certamente estes parágrafos não são suficientes para agradecer a todos que participaram e contribuíram para esta pesquisa, mesmo àqueles que não são citados aqui, minha sincera gratidão.

RESUMO

GALVAN, Tanise Fuckner de Oliveira. **Condições de estresse e conforto térmico em fábrica de pré-moldado em Ponta Grossa - PR.** 2018. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

O estresse térmico é um risco reconhecido a que os trabalhadores de várias indústrias estão expostos. De forma a verificar a condição de estresse e também conforto térmico na fábrica de pré-moldado em concreto, foi realizada uma pesquisa na qual as variáveis ambientais e pessoais foram obtidas através de medições e questionários. A avaliação preliminar do estresse térmico foi realizada pela escala HSSI, a qual indicou a não existência do mesmo nessa fábrica. Foi efetuada a avaliação do ambiente, através dos índices IBUTG e PHS, que ratificaram a não existência do estresse térmico. Como não houve a incidência do estresse térmico, o ambiente foi avaliado com relação ao conforto térmico, nas medições em que o índice PMV era aplicável, e foi calculado o índice PET. Através do cálculo do índice do PMV, verificou-se que em apenas uma medição o ambiente pode ser considerado confortável, nas demais o ambiente é considerado desconfortável termicamente. Os resultados do índice PET, demonstram que na maioria das medições também ficou caracterizada o desconforto térmico.

Palavras-chave: Estresse térmico. Conforto térmico. Fábrica de pré-moldado em concreto.

ABSTRACT

GALVAN, Tanise Fuckner de Oliveira. **Conditions of heat stress and thermal comfort in precast industry in Ponta Grossa - PR.** 2018. 89 p. Dissertation (Master Degree in Production Engineering) - Federal University Technology of Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Heat stress is a recognized risk that workers in various industries are exposed. In order to verify the stress condition and also thermal comfort in the precast concrete factory, a research was carried out in which the environmental and personal variables were obtained through measurements and questionnaires. The preliminary evaluation of the heat stress was performed by the HSSI scale, which indicated the absence of heat stress in this factory. To confirm this conclusion, the evaluation of the environment was carried out through the IBUTG and PHS indices, which confirmed the absence of heat stress. As there was no incidence of heat stress, the environment was evaluated with respect to thermal comfort, in the measurements in which the PMV index was applicable and the PET index was calculated. Through the calculation of the PMV index, it was verified that in only one measurement the environment can be considered comfortable, in the others the environment is considered to be thermally uncomfortable. Through the calculation of the PMV index, it was verified that in only one measurement the environment can be considered comfortable, in the others the environment is considered to be thermally uncomfortable. The results of the PET index show that thermal discomfort was also characterized in most of the measurements.

Keywords: Heat stress. Thermal comfort. Precast concrete factory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Instalações da fábrica de pré-moldados	33
Figura 2 - Características construtivas da fábrica	34
Figura 3 - Confortímetro Sensus	36
Figura 4 - Árvore de IBUTG e termo higrômetro	37
Figura 5 - Tela principal do software Analysis CST	41
Figura 6 - Entrada de dados na ferramenta web Human Heat Balance	41
Figura 7 - Apresentação da tela de entrada dos dados do software RayMan	42
Figura 8 - Saída dos dados do software Analysis CST	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala de sensação térmica	26
Quadro 2 - Classificação de acordo com o tipo de atividade	39
Quadro 3 - Atividade de cada trabalhador e respectiva Taxa Metabólica	40
Quadro 4 - Teste de normalidade Kolmogorov-Simrnov	47
Quadro 5 - Taxa de metabolismo por tipo de atividade	49
Quadro 6 - Limites de IBUTG e tipo de atividade	49
Quadro 7 - Interpretação do IBUTG de acordo com a NR 15	50
Quadro 8 - Classificação de acordo com o tipo de atividade	51
Quadro 9 - Limites de IBUTG segundo ISO 7243	52
Quadro 10 - Interpretação do IBUTG de acordo com a ISO 7243.....	53
Quadro 11 - Interpretação dos índices W_{req}	55
Quadro 12 - Interpretação dos índices SW_{req}	56
Quadro 13 - Categorias do ambiente térmico.....	59
Quadro 14 - Índice PET e sua interpretação	60
Quadro 15 - Comparação da sensação do PET, PMV e sensação real dos trabalhadores	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo do HSSI	43
Tabela 2 - Variáveis ambientais	45
Tabela 3 - Variáveis pessoais	46
Tabela 4 - Cálculo do IBUTG	48
Tabela 5 - Índices PMV e PPD e sensação e preferência térmica	58
Tabela 6 - Sensação térmica e nível de estresse térmico para o índice PET	61
Tabela 7 - Sensação térmica e nível de estresse térmico para os índices PMV e PET	62

LISTA DE SIGLAS

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
ABCIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
HRI	<i>Heat-related Illness</i>
PET	<i>Physiological equivalent temperature</i>
WBGT	<i>Wet-bulb Globe Temperature</i>
PHS	<i>Predicted Heat Strain</i>
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Predicted Percentage Dissatisfied</i>
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NR	Norma Regulamentadora
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
WBGT	<i>Wet-bulb Globe Temperature</i>

LISTA DE ABREVIATURAS

M	Taxa metabólica de produção de calor
W	Taxa de eficiência mecânica
C_{res}	Perda de calor sensível pela respiração, por convecção
E_{res}	Perda de calor latente pela respiração, por evaporação
C	Perda de calor latente pela pele, através da condução
R	Perda de calor latente pela pele, através da radiação
E_{sk}	Perda de calor latente pela pele, através da evaporação
K_{cl}	Troca de calor da pele por condução
I_{cl}	Isolamento térmico da roupa
f_{cl}	Razão entre a área superficial do corpo vestido, pela área do corpo nu
t_{ar}	Temperatura do ar
t_{rm}	Temperatura radiante média
v_{ar}	Velocidade do ar
p_a	Pressão parcial do vapor de água
h_c	Coefficiente de transferência de calor por convecção
t_{cl}	Temperatura superficial da roupa
t_{bu}	Temperatura de bulbo úmido
t_g	Temperatura de globo negro
t_a	Temperatura de bulbo seco
W_{req}	Fração requerida de pele molhada
E_{req}	Taxa requerida de evaporação
$E_{máx}$	Taxa máxima de evaporação
SW_{req}	Taxa requerida de suor
r_{req}	Eficiência da evaporação do suor
E_{sw}	perda de calor pela evaporação do suor
Fcs	Fluxo de calor do interior do corpo para a pele
Fsc	Fluxo de calor
v_b	Fluxo sanguíneo do centro do corpo para a pele
ρ_b	Densidade do sangue
c_b	Calor específico
T_c	Temperatura central
T_{sk}	Temperatura média da pele

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 BALANÇO TÉRMICO	18
2.1.1 Equação do Balanço Térmico	19
2.2 ESTRESSE TÉRMICO	21
2.2.1 Introdução ao Estresse Térmico	21
2.2.2 Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo - IBUTG	22
2.2.3 <i>Predicted Heat Strain</i> - PHS	23
2.3 CONFORTO TÉRMICO	25
2.3.1 Introdução ao Conforto Térmico	25
2.3.2 ISO 7730 (2005) - Voto Médio Estimado	25
2.3.3 Temperatura Fisiológica Equivalente - PET	28
2.4 INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS EM CONCRETO	30
3 METODOLOGIA	32
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	32
3.2 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE COLETA DE DADOS	32
3.3 COLETA DE DADOS	34
3.3.1 Questionário HSSI - <i>Heat Strain Score Index</i>	35
3.3.2 Coleta de Dados Ambientais	36
3.3.3 Coleta dos Dados Pessoais	38
3.4 CÁLCULO DOS ÍNDICES	40
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
4.1 APRESENTAÇÃO DA PONTUAÇÃO DO HSSI	43

4.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS	44
4.3 ANÁLISE DO ESTRESSE TÉRMICO	47
4.3.1 Análise do Índice IBUTG	47
4.3.1.1 Análise do índice IBUTG segundo a NR 15	49
4.3.1.2 Análise do índice IBUTG segundo a ISO 7243	51
4.3.2 Análise do índice PHS segundo a ISO 7933 (2004)	53
4.3.3 Comparação entre os Índices de Estresse Térmico	57
4.4 ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO	58
4.4.1 Análise do Índice PMV e PPD	58
4.4.2 Análise do Índice PET	59
4.4.3 Comparação entre os Índices de Conforto Térmico	61
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO	65
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE A - Setorização da fábrica	75
APÊNDICE B - Layout do Setor de Concretagem	77
APÊNDICE C - Questionário Preliminar de Estresse Térmico - HSSI	79
APÊNDICE D - Questionário de Pesquisa da Variável Isolamento da Vestimenta	86
APÊNDICE E - Questionário de Sensação e Preferência Térmica	88

1 INTRODUÇÃO

Ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem, abrangendo o relacionamento entre o homem e uma atividade produtiva. A ergonomia busca proporcionar segurança, satisfação e saúde aos trabalhadores no seu relacionamento com sistemas produtivos. As condições desfavoráveis do ambiente de trabalho, como temperatura elevada, ruídos e vibrações, causam desconforto, aumentam o risco de acidentes e podem provocar danos à saúde do trabalhador (Lida, 2005).

Ainda de acordo com Lida (2005), os seres humanos tem uma grande capacidade de tolerar a variação térmica, porém nem todas as condições climáticas são consideradas confortáveis ou adequadas à realização do trabalho. Ao realizar-se uma avaliação térmica do ambiente de trabalho podem ser encontradas basicamente, duas situações: conforto/desconforto térmico ou estresse térmico.

A norma ISO 7730 (2005) define conforto térmico como sendo a “condição mental que expressa a satisfação com o ambiente térmico”. Já de acordo com Ruas (2001), o conforto térmico “pode ser definido como a sensação de bem estar experimentada por uma pessoa como resultado da combinação satisfatória” da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura do ar e velocidade relativa do ar com taxa metabólica e isolamento térmico da vestimenta, em um determinado ambiente.

Já o estresse térmico pode ser considerado como sendo a combinação dos mesmos fatores ambientais e pessoais considerados no conforto térmico, porém essa combinação tem como resultado o estado em que o sistema psicológico e fisiológico do trabalhador são afetados. O estresse térmico apresenta sintomas como irritabilidade, aumento de agressividade, distração, erros, desconforto devido à transpiração e tremores, aceleração ou desaceleração da pulsação. Também causa danos à saúde do trabalhador, podendo causar a morte do mesmo em condições extremas (PÉREZ-ALONSO et al., 2011).

Dentre as variáveis que devem ser verificadas num ambiente de trabalho, esta pesquisa está voltada especificamente para a avaliação térmica em uma fábrica de estruturas pré-moldada em concreto na cidade de Ponta Grossa, Paraná.

1.1 PROBLEMA

Quais condições térmicas estão expostos os trabalhadores da fábrica de pré-moldados em concreto?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar as condições térmicas sob as quais os trabalhadores em fábrica de pré-moldados em concreto estão expostos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Consonante com o objetivo geral proposto, esta pesquisa tem os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as condições ambientais através da medição das variáveis ambientais;
- Verificar a existência de estresse térmico;
- Verificar a existência de conforto térmico;
- Observar a adequabilidade térmica do ambiente em relação à atividade desempenhada pelos trabalhadores;
- Comparar as condições térmicas do ambiente com os parâmetros normalizados;
- Comparar os índices de estresse térmico e os índices de conforto térmico entre si, e comparar a sensação térmica dos índices de conforto térmico com a sensação real dos trabalhadores.

1.3 JUSTIFICATIVA

A indústria de pré-moldados em concreto difere em muito da indústria da construção civil tradicional, a começar pela Classificação Nacional de Atividades

Econômicas - CNAE (IBGE, 2007). Enquanto a construção tradicional possui uma seção própria denominada Construção, que é subdividida em construção de edifícios, obras de infra-estrutura e serviços especializados para construção; a indústria de pré-moldados em concreto faz parte da seção de Indústrias de Transformação, divisão de fabricação de produtos minerais não metálicos, grupo de fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes.

Apesar de haver muitos trabalhadores com as mesmas funções em ambas indústrias, o ambiente e as condições de trabalho diferem muito. O ambiente da indústria de pré-moldados em concreto se assemelha muito mais ao de fábricas comuns, já que o processo de fabricação se encontra em ambiente fixo, seguindo uma “linha de produção”, e sob condições de controle de qualidade.

Apesar da indústria de pré-moldados em concreto não fazer parte diretamente da indústria da construção civil, corriqueiramente, ambas estão relacionadas. Mesmo individualmente, a indústria de pré-moldados em concreto tem significativa importância no cenário sócio-econômico como demonstram os dados a seguir.

A Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto - ABCIC (2015), aponta que a produção de pré-fabricados no ano de 2014, atingiu 1.035.628 m³ de volume de concreto. Sendo que o segmento de fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes (CNAE 233) registrou um total de 128.660 empregados em 2014, e nesse mesmo período, as empresas de pré-fabricados de concreto associadas da ABCIC indicaram um total de 11.295 empregados, o que representa 8,8% do segmento de fabricação de artefatos, e 1,3% do contingente do segmento da indústria de materiais de construção.

Além da relevância econômica deste ramo industrial, destaca-se a relação entre o estresse térmico por calor e as doenças ocupacionais que podem acometer os trabalhadores expostos à esse risco. Entre as doenças ocupacionais levantadas, é apontada a Doença Relacionada ao Calor ou *Heat-related Illness* - HRI, que consiste em vários distúrbios relacionados ao calor, que podem ocorrer em pessoas saudáveis, porém com alta taxa metabólica e especialmente em ambientes quentes e úmidos (MIRABELLI et al., 2010; TAWATSUPA et al., 2013; TRAN et al., 2013; ARBURY et al., 2014; BETHEL, HARGER, 2014; DANG; DOWELL, 2014;

SPECTOR et al., 2014; ARCURY et al., 2015; XIANG et al., 2016; THIEN MAC et al., 2017).

Também, são apontadas as doenças renais (TAWATSUPA et al., 2012; SINGH et al., 2016), incluindo a Nefropatia Mesoamericana (RAINES et al., 2014; TRABANINO et al., 2015; WESSELING et al., 2016; WIJKSTRÖM et al., 2017), doença renal crônica (BODIN et al., 2016; LAWS et al. 2016) e diminuição da função renal (PERAZA et al., 2012).

É importante citar que estudos apontam o estresse térmico como possível causa, ou causa associada a outros fatores para a consequência mais grave do estresse térmico que é o óbito do trabalhador (MIRABELLI; RICHARDSON, 2005; BITENCOURT et al., 2012; ARBURY et al., 2014).

O estresse térmico por calor é um perigo reconhecido entre os trabalhadores da construção civil (YI;CHAN, 2015), já que o trabalho na construção é caracterizado como trabalho físico pesado, que submete os trabalhadores ao esforço físico, bem como induz ao aumento da taxa metabólica (ROWLINSON et al., 2013). Vários estudos foram realizados nos últimos anos sobre o estresse térmico nesse ramo da indústria (WONG et al., 2014; RAHMAN, 2016; YI et al., 2016; LI et al., 2016; CHAN et al., 2017). Pesquisas relacionando o estresse térmico a outros tipos de indústria também foram levantados como na indústria siderúrgica (HAMEREZAEI et al., 2017; KRISHNAMURTHY et al.; 2017), fábrica de roupas (RAHMAN, 2016; CHOUDHURY; HAMADA; AHMED, 2017), fabricação de vidro (MORGADO; TALAIA; TEIXEIRA, 2017), fundição (HOLM et al., 2016). Porém, a princípio, não foram encontrados estudos relacionando o estresse térmico e conforto térmico com a indústria específica de pré-moldados em concreto.

Os trabalhadores em diferentes indústrias podem ter diferentes graus de susceptibilidade ao estresse térmico, em razão disso Yi e Chan (2015) sugerem que seja feito um estudo específico em cada tipo de indústria. Dessa forma, o presente estudo busca analisar as condições térmicas no ramo da indústria de pré-moldados em concreto, e mais especificamente em uma fábrica de estruturas pré-moldadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Muitos índices para avaliação da adequabilidade térmica dos ambientes ao ser humano foram desenvolvidos. Freitas e Grigorieva (2015), procederam uma revisão, na qual encontraram 162 diferentes índices. O índice mais antigo documentado data de 1905, *Wet-bulb temperature* (Tw), desenvolvido por Haldane.

Dentre os índices levantados na pesquisa destacam-se: Temperatura Efetiva (*Effective Temperature* - ET), Índice de estresse térmico por calor (Heat stress index - HSI), Índice de taxa de suor prevista para quatro horas (*Predicted 4-h sweat rate* - P4SR) e Temperatura Fisiológica Equivalente (*Physiological equivalent temperature* - PET). Ainda ressaltam-se os índices que foram normalizados pela ISO (*International Organization for Standardization*): Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (*Wet bulb globe temperature* - WBGT); Taxa requerida de suor (*Required Sweat Rate* - SWreq), que após revisão passou a ser a Tensão de calor prevista (*Predicted Heat Strain* - PHS), e Voto médio estimado (*Predicted Mean Vote* - PMV).

Entre os índices mais comumente usados para avaliação do estresse térmico por calor e conforto térmico foram escolhidos WBGT, PHS, PMV e PET, sendo que os últimos três índices são baseados no balanço térmico, o qual está brevemente apresentado a seguir.

2.1 BALANÇO TÉRMICO

O balanço térmico entre o ser humano e o ambiente é o equilíbrio existente entre a produção de calor pelo corpo humano e a dissipação, perda, desse calor para o ambiente (XAVIER, 2000).

A dissipação desse calor para o ambiente se dá por mecanismos de trocas térmicas através da pele: perda sensível de calor, por convecção e radiação (C e R) e perda latente de calor, por evaporação do suor e por dissipação da umidade da pele (Esw e Edif). A dissipação também pode ocorrer através da respiração: pela perda sensível de calor por convecção (Cres) e a perda latente de calor por evaporação (Eres).

Já Fanger (1970), define três condições para que a pessoa esteja em conforto térmico:

1. A pessoa deve estar em neutralidade (balanço térmico).
2. A sua taxa requerida de suor e temperatura da pele, estejam dentro dos limites de conforto compatíveis com a atividade desempenhada.
3. Que não haja desconforto térmico localizado.

Baseado nessas condições, foi formulada uma equação que além de atender essas condições, exige a entrada de seis parâmetros básicos. Essa equação ficou conhecida como Equação do Balanço Térmico e é descrita na ISO 7933 (2004) - *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predict heat strain*, e foi utilizada para o desenvolvimento do modelo do PMV descrito na norma ISO 7730 (2005) - *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*.

2.1.1 Equação do Balanço Térmico

O calor que é gerado pelo corpo, é perdido pela pele e pelos pulmões. Ele é transferido através da roupa, onde é perdido para o ambiente (PARSONS, 2002).

De acordo com a norma ISO 7933 (2004), a equação da balanço térmico pode ser escrita:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K_{cl} + C + R + E_{sk} + S \quad (1)$$

A Equação 1 pode ser reescrita conforme Equação 2:

$$(M - W) - C_{res} - E_{sk} - E_{res} = K_{cl} = C + R \quad (2)$$

onde:

M = Taxa metabólica de produção de calor (W/m²);

W = Taxa de eficiência mecânica (W/m²);

C_{res} = Perda de calor sensível pela respiração, por convecção (W/m²), sendo

$$C_{res} = 0,0014M(34 - t_a) \quad (3)$$

E_{res} = Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W/m^2), sendo

$$E_{res} = 0,0173M(5,87 - p_a) \quad (4)$$

C = Perda de calor latente pela pele, através da condução (W/m^2), sendo

$$C = f_{cl}.h_c.(t_{cl} - t_a) \quad (5)$$

R = Perda de calor latente pela pele, através da radiação (W/m^2), sendo

$$R = 3,96.10^{-8}.f_{cl}.[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \quad (6)$$

E_{sk} = Perda de calor latente pela pele, através da evaporação (W/m^2), sendo

$$E_{sk} = 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - p_a] + 0,42 [(M - W) - 58,15] \quad (7)$$

K_{cl} = Troca de calor da pele por condução, sendo

$$K_{cl} = \frac{[35,7 - 0,028(M - W)] - t_{cl}}{0,155.l_{cl}} \quad (8)$$

Ao substituir-se essas expressões na equação do balanço térmico, temos a Equação 9:

$$\begin{aligned} (M - W) - 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - p_a] - 0,42 [(M - W) - 58,15] - 0,0173M(5,87 - p_a) - \\ 0,0014M(34 - t_a) = \\ = \frac{[35,7 - 0,028(M - W)] - t_{cl}}{0,155.l_{cl}} = \\ = 3,96.10^{-8}.f_{cl}.[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl}.h_c.(t_{cl} - t_a) \quad (9) \end{aligned}$$

Onde:

M = Taxa metabólica (W/m^2);

W = Trabalho mecânico (W/m^2), sendo nulo para a maioria das atividades;

l_{cl} = Isolamento térmico da roupa ($m^2.^\circ C/W$);

f_{cl} = Razão entre a área superficial do corpo vestido, pela área do corpo nu;

t_{ar} = Temperatura do ar ($^\circ C$);

t_{rm} = Temperatura radiante média ($^\circ C$);

v_{ar} = Velocidade relativa do ar (m/s);

p_a = Pressão parcial do vapor de água (PA);

h_c = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m^2);

t_{cl} = Temperatura superficial da roupa (°C).

A equação dupla (9), representa o balanço de calor entre o corpo e o ambiente. Dessa equação, a temperatura superficial das roupas é dada ao comparar-se a parte central com a direita da equação dupla, ou seja:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028M - 0,155I_{cl} \{3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \quad (10)$$

As variáveis ambientais são obtidas por meio de medições e as variáveis pessoais mediante consulta de tabelas e dados presentes nas normas, exceto a variável t_{cl} , que é calculada iterativamente.

2.2 ESTRESSE TÉRMICO

2.2.1 Introdução ao Estresse Térmico

O estresse térmico é o estado onde tanto o sistema fisiológico quanto o sistema psicológico são afetados pelas variáveis do ambiente em que se encontra. Quando esta temperatura encontra-se em níveis extremos e muito exigentes, ocasiona efeitos como irritabilidade, aumento de agressividade, distração, erros, desconforto devido à transpiração e tremores, aceleração ou desaceleração da pulsação, causando efeitos negativos na saúde do trabalhador, podendo causar a morte em condições extremas (PÉREZ-ALONSO et al., 2011).

Diversos estudos têm demonstrado a relação do estresse térmico com doenças e problemas relacionados à saúde do trabalhador como doenças renais (LAWS et al., 2016; WESSELING et al., 2016; RONCAL-JIMENEZ et al., 2016; HERAT et al., 2017; NERBASS et al., 2017; GARCIA-TRABANINO et al., 2015), distúrbios mentais (SCHMELTZ; GAMBLE, 2017); podendo até mesmo causar abortos em mulheres grávidas ou outros resultados adversos como anomalias nos fetos (RAHMAN, 2016).

O trabalho sob condições de estresse térmico tem consequências e riscos associados, como o comprometimento da função mental, aumento da fadiga, câibras

e exaustão devido ao calor. O que pode trazer implicações para a segurança no local de trabalho (MILLER; BATES, 2007).

Ainda de acordo com Miller e Bates (2007), os índices de avaliação de estresse térmico em uso atualmente são de difícil aplicação ou são mal aplicados em muitas situações, deixando muitas indústrias sem uma estratégia eficaz de gerenciamento de estresse térmico.

Neste estudo serão utilizadas a ISO 7243 (1989) - *Hot environments - estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT - index (wet bulb globe temperature)* e ISO 7933 (2004) - *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain*.

2.2.2 Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo - IBUTG

O índice WBGT, é conhecido no Brasil como índice IBUTG - Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo, e segundo Epstein e Moran (2006), o IBUTG foi desenvolvido pelo exército norte americano, devido à ocorrência de doenças relacionadas ao calor em campos de treinamento. Em 1957, Yaglou e Minard desenvolveram o que é de longe, o índice de estresse térmico mais utilizado no mundo.

Mesmo após muitas décadas desde sua primeira formulação, o IBUTG não sofreu mudanças, apesar de aproximações e suas inconsistências (ALFANO et al, 2014). Porém, o IBUTG pode ser considerado um índice abrangente e conveniente para avaliar o estresse térmico, mesmo após tantos anos de uso. O IBUTG é um indicador confiável e prático para prever os efeitos do estresse térmico sobre os trabalhadores da construção civil (YI; CHAN, 2014).

A ISO normalizou este índice em 1982, tornando o IBUTG uma norma internacional de avaliação do estresse térmico. A versão mais atual é de 1989, ISO 7243 - *Hot environments - estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT - index (wet bulb globe temperature)*, ou Ambientes quentes - Estimativa do estresse térmico sobre o trabalhador, com base no índice IBUTG - (Índice de bulbo úmido temperatura de globo).

No Brasil a Norma Regulamentadora nº 15, do Ministério do Trabalho e Emprego - MTE, no seu anexo nº 3, apresenta os limites de tolerância para exposição ao calor. A NR nº 15, diz que a avaliação da exposição ao calor deve ser avaliada através do índice IBUTG.

O índice IBUTG pode ser obtido de maneiras diferentes, de acordo com o local analisado: ambientes internos ou externos sem carga solar (Equação 11), ou ambientes externos com carga solar (Equação 12) (ISO 7243, 1989):

$$\text{IBUTG} = 0,7.t_{bu} + 0,3.t_g \quad (11)$$

e

$$\text{IBUTG} = 0,7.t_{bu} + 0,2.t_g + 0,1.t_a \quad (12)$$

Onde:

t_{nw} ou t_{bu} = temperatura de bulbo úmido (°C);

t_g = temperatura de globo negro (°C);

t_a ou t_{bs} = temperatura de bulbo seco (°C).

A interpretação do índice IBUTG em relação à ISO 7243 (1989) é feita em função da taxa metabólica. Já a interpretação com relação à NR 15 (2014), é feita em função da atividade desempenhada e o tempo máximo de exposição.

2.2.3 Predicted Heat Strain - PHS

O PHS é um método baseado na equação do balanço térmico, portanto, utiliza as mesmas variáveis ambientais e pessoais já descritas anteriormente. Esse índice calcula a taxa requerida de suor para manter o equilíbrio térmico do corpo humano (FORSTHOFF et al., 2001).

A ISO 7933 (2004) apresenta um método para avaliação e interpretação do estresse térmico ao qual um trabalhador está sujeito em um ambiente quente. Esse método prevê a taxa de suor e a temperatura interna que o corpo humano poderá atingir ao reagir às condições ambientais de seu posto de trabalho.

Como dito anteriormente, o PHS também é baseado na equação do balanço térmico já vista no ítem 2.1.3, podendo ser reescrita da seguinte forma:

$$E + S = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R \quad (13)$$

No estado de equilíbrio térmico, o calor armazenado no organismo é nulo, logo S é igual a 0 (zero). Assim, a perda de calor por evaporação na pele (E) passa a ser denominada taxa requerida de evaporação E_{req} , conforme a equação (13) a seguir.

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R \quad (14)$$

A fração requerida de pele molhada (W_{req}) é então definida pela divisão entre a taxa requerida de evaporação (E_{req}) e a taxa máxima de evaporação ($E_{máx}$), assim sendo:

$$W_{req} = E_{req} / E_{máx} \quad (15)$$

Por fim, a taxa requerida de suor, SW_{req} , de acordo com a ISO 7933 (2004) é calculada conforme a equação (15), em função da taxa requerida de evaporação E_{req} . Porém, levando-se em conta uma fração de suor que possa ocasionalmente escorrer ou pingar da pele antes que se evapore, o que faz com que a pele não esfrie por evaporação.

$$SW_{req} = E_{req} / r_{req} \quad (16)$$

onde:

r_{req} = é a eficiência da evaporação do suor, (adimensional), correspondente à fração requerida de pele molhada, w_{req} .

A interpretação dos valores calculados pelo método, utilizam-se os seguintes critérios de análise (ISO 7933, 2004):

- Critérios de estresse: $W_{máx}$ (máxima fração de pele molhada, adimensional) e $SW_{máx}$ (máxima taxa de suor, em W/m² ou g);

- Limites máximos permitidos sem a ocorrência de danos à saúde do trabalhador: $Q_{máx}$ (calor máximo armazenado pelo corpo humano, W.h/m²) e $D_{máx}$ (máxima perda de água do organismo, W.h/m² ou g).

A taxa requerida de suor, SW_{req} , não pode ultrapassar a taxa de suor máxima admitida para o trabalhador, $SW_{máx}$. A fração requerida de pele molhada, W_{req} , não pode ultrapassar a fração de pele molhada máxima, $W_{máx}$. Quando o corpo não encontra-se em equilíbrio térmico, o calor armazenado, deve ser limitado a um

valor máximo, $Q_{\text{máx}}$, de maneira que o aumento de temperatura corporal resultante não tenha efeito patológico sobre o organismo. E qualquer que seja a situação de balanço térmico, em equilíbrio ou não, a perda de água do organismo deve ser limitada a um valor máximo, $D_{\text{máx}}$.

2.3 CONFORTO TÉRMICO

2.3.1 Introdução ao Conforto Térmico

A norma ISO 7730 (2005) define conforto térmico como sendo a “condição mental que expressa a satisfação com o ambiente térmico”. Essa definição, segundo Parsons (2002), “ênfatisa que o conforto é um fenômeno psicológico, não diretamente relacionado com o ambiente físico ou estado fisiológico.”

Porém, ainda de acordo com Parsons (2002), as razões pelas quais uma pessoa relata o conforto ou desconforto térmico são complexas e ainda não completamente compreendidas.

Conforme a ISO 7730 (2005), é impossível especificar um ambiente térmico que satisfará todas as pessoas; isso se deve às diferenças individuais, desta forma sempre haverá uma parcela de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas do ambiente. Contudo, é possível prever ambientes especificados para se tornarem aceitáveis para uma determinada parcela dos ocupantes deste ambiente.

Dessa maneira, a expectativa é buscar um ambiente com condições de conforto nas quais a maior parte das pessoas esteja em conforto térmico. Assim, consoante com Parsons (2002), condições aceitáveis são frequentemente descritas na forma de expressões subjetivas médias de um grupo de indivíduos numa escala de conforto ou sensação térmica.

2.3.2 ISO 7730 (2005) - Voto Médio Estimado

O método proposto por Fanger (1970) é o resultado de estudos realizados em câmaras climatizadas na Dinamarca e Estados Unidos. O modelo é sustentado pela teoria do balanço térmico, e indica que o conforto térmico é função das variáveis descritas como influentes no conforto térmico.

Utilizando os votos da sensação térmica dos participantes da pesquisa, Fanger calculou os níveis de conforto ou desconforto térmico. Com os resultados obtidos, ele desenvolveu o método de avaliação do grau de desconforto, intitulado como *Predicted Mean Vote* - PMV ou Voto Médio Estimado. Esse método também é conhecido como sensação analítica de conforto.

De acordo com Parsons (2002), o método de avaliação e análise dos ambientes térmicos de Fanger propõe que o grau de desconforto térmico depende da carga térmica, que é definida como sendo a diferença entre a produção de calor interna do corpo e o calor dissipado no ambiente, para uma pessoa que tem, hipoteticamente, os valores de conforto de temperatura da pele e da taxa de evaporação de suor mantidos. Em situações de conforto, a carga térmica deve ser igual a zero.

Entretanto, ainda segundo Parsons (2002) em situações reais, a carga térmica é dada pela diferença entre a geração de calor pelo organismo e a perda desse calor pelas trocas feitas com o ambiente.

Esse método desenvolvido por Fanger foi normalizado através da ISO 7730 (2005). Essa norma apresenta o método com a finalidade de prever a sensação térmica geral e grau de desconforto das pessoas expostas a ambientes térmicos moderados.

Conforme a ISO 7730 (2005), o PMV é um índice que prevê o valor médio dos votos de um grande grupo de pessoas através da escala de sensação térmica dos sete pontos (Quadro 1), baseado no balanço térmico.

Quadro 1 - Escala de sensação térmica

+ 3	Muito quente
+ 2	Quente
+ 1	Levemente quente
0	Neutro
- 1	Levemente frio
- 2	Frio
- 3	Muito frio

Fonte: Adaptado de ISO 7730 (2005)

O cálculo do PMV é feito através da seguinte equação:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [t_{cl} + 273]^4 - (t_r + 273)^4\} - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (17)$$

Onde:

M = Taxa metabólica (W/m²);

W = Trabalho mecânico (W/m²), sendo nulo para a maioria das atividades;

I_{cl} = Isolamento térmico da roupa (m²·°C/W);

f_{cl} = Razão entre a área superficial do corpo vestido, pela área do corpo nu;

t_{ar} = Temperatura do ar (°C);

t_{rm} = Temperatura radiante média (°C);

v_{ar} = Velocidade relativa do ar (m/s);

p_a = Pressão parcial do vapor de água (PA);

h_c = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m²);

t_{cl} = Temperatura superficial da roupa (°C).

O método do PMV pode ser usado para verificar se um determinado ambiente térmico está em conformidade com critérios de conforto e estabelecer requisitos para diferentes níveis de aceitabilidade térmica.

O modelo do PMV prediz o valor médio dos votos térmicos de uma grande grupo de pessoas expostas ao mesmo ambiente. Porém, os votos individuais estão espalhados em torno deste valor médio, e são úteis para prever o número de pessoas que podem vir a se sentir desconfortáveis com o ambiente.

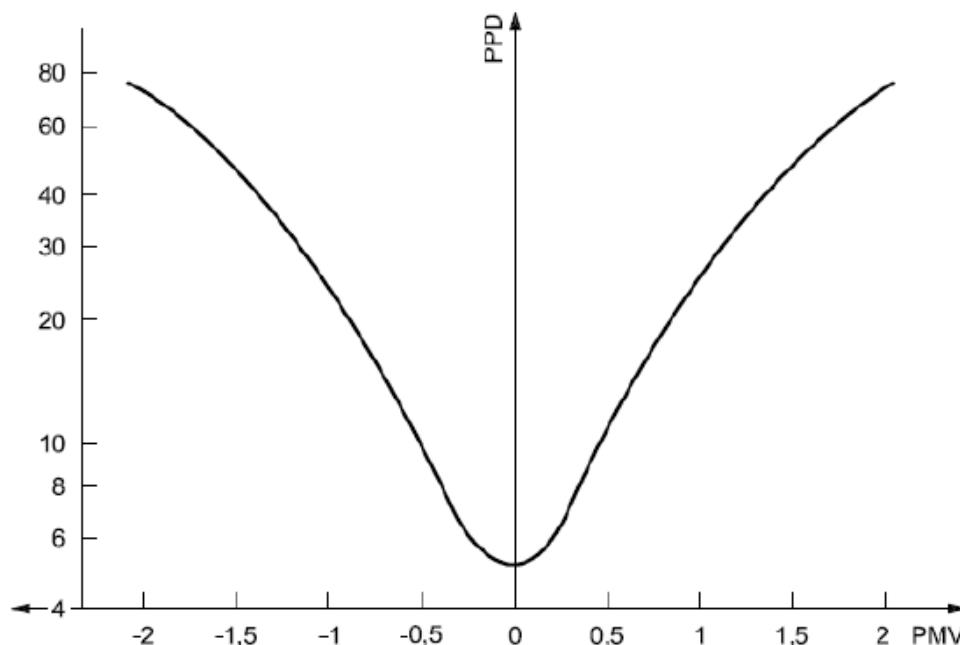
Portanto, o *Predicted Percentage Dissatisfied* - PPD, ou Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas, é um índice que estabelece uma previsão quantitativa da porcentagem de pessoas insatisfeitas termicamente. Ainda segundo a ISO 7730 (2005), as pessoas termicamente insatisfeitas são aquelas que votam em “muito quente”, “quente”, “frio” e “muito frio” na escala de sensação térmica (Quadro 2). Ou seja, não são consideradas insatisfeitas as pessoas que votaram +1, 0, -1 na escala de sensação térmica.

Com o valor do PMV determinado, é possível calcular o PPD através da equação:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (18)$$

Ou também pode ser determinado analiticamente através do Gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1 - Porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) em função do voto médio estimado



Fonte: ISO 7730 (2005)

O índice PPD prediz o número de pessoas insatisfeitas termicamente dentre um grande grupo de pessoas. O restante das pessoas se sentirá neutro ou ligeiramente com frio ou ligeiramente com calor.

2.3.3 Temperatura Fisiológica Equivalente - PET

O índice PET (*Physiological equivalent temperature*) foi desenvolvido por Höpfe e Mayer em 1987, e é definido como a “temperatura fisiológica equivalente, em um determinado ambiente (externo ou interno), e é equivalente a temperatura do ar de um ambiente interno fictício, no qual o balanço térmico é mantido com a temperatura do centro do corpo e a da pele iguais às temperaturas das condições em avaliação (HÖPPE, 1999).

O PET se originou a partir do *Munich Energy-balance Model for Individuals* (MEMI), que é um modelo desenvolvido por Höpfe em 1984 (HÖPPE, 1999), que é

baseado na equação do balanço térmico, a qual foi vista no item 2.1.3, e que pode ser assim reescrita:

$$M + W + R + C + E_{sk} + E_{res} + E_{sw} + S = 0 \quad (19)$$

Onde, E_{sw} é a perda de calor pela evaporação do suor, e as demais variáveis já são conhecidas.

O índice MEMI, é baseado ainda no fluxo de calor do interior do corpo para a pele F_{cs} , definido pela equação 20.

$$F_{cs} = v_b \times \rho_b \times C_b \times (T_c - T_{sk}) \quad (20)$$

Onde:

v_b = Fluxo sanguíneo do centro do corpo para a pele ($l s^{-1} m^{-2}$);

ρ_b = Densidade do sangue (kg/l);

C_b = Calor específico ($W s K^{-1} kg^{-1}$);

T_c = Temperatura central ($^{\circ}C$);

T_{sk} = Temperatura média da pele ($^{\circ}C$).

E também depende de uma terceira equação correspondente ao fluxo de calor F_{sc} (equação 21), cujas variáveis já são conhecidas:

$$F_{sc} = (1/l_{cl}) \times (T_{sk} - T_{cl}) \quad (21)$$

O procedimento de cálculo do PET consiste em efetuar o cálculo das condições térmicas do corpo utilizando as equações do índice MEMI conforme as variáveis ambientais do ambiente fictício e variáveis pessoais estabelecidas. Sendo a temperatura do ar resultante equivalente ao índice PET.

Para o cálculo do PET, as variáveis ambientais do ambiente fictício e as variáveis pessoais são estabelecidos assim:

- Temperatura radiante média (T_{rm}) igual à Temperatura do ar (T_{ar});
- Velocidade do ar de 0,1 m/s;
- Pressão de vapor d'água de 12 hPa (umidade relativa de 50% a uma temperatura do ar de $20^{\circ}C$);
- Taxa metabólica de 80W (atividade leve) e Isolamento térmico da vestimenta de 0,9 clo.

O índice PET permite que tanto o estresse por calor e por frio sejam avaliados durante todo o ano (HÖPPE, 1999). O PET tem sido amplamente utilizado

como um indicador para os impactos da mudança climática no conforto térmico das pessoas (LAI et al., 2016); e também mapeamento espacial das condições de conforto bioclimático de espaços abertos e urbanos (DANESHVAR et al., 2013; GÓMEZ et al., 2013; BALTAZAR, 2014; THACH, 2015)

2.4 INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS EM CONCRETO

De acordo com a norma ABNT NBR 9062 (2006) - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado, o elemento pré-moldado é aquele que é executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade. Já elemento pré-fabricado é executado industrialmente, sob condições rigorosas de controle de qualidade.

A construção de concreto pré-fabricado não é uma nova forma de construção, segundo Vasconcellos (2002) e não se pode precisar a data em que começou a pré-moldagem. O próprio nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos fora do local de seu uso. Sendo assim, pode-se afirmar que a pré-moldagem começou com a invenção do concreto armado. Esta tecnologia tem sido utilizada desde o início do século XX e tem sido continuamente aprimorada e desenvolvida (STRAATMAN, VAMBERSKY; 2001).

De acordo com Vasconcellos (2002), após o fim da Segunda Guerra Mundial, a Europa deparou-se com a necessidade de rapidez na reconstrução de edificações como hospitais, escolas, pontes entre outros edifícios. Além disso havia a escassez de material, o que alavancou a utilização e desenvolvimento dos elementos pré-moldados.

Já no Brasil, a primeira grande obra com elementos pré-fabricados foi a construção do hipódromo da Gávea, Rio de Janeiro, no ano de 1926. A obra teve diversas aplicações de elementos pré-fabricados como as estacas de fundação e cercas (VASCONCELLOS; 2002). Porém, após períodos de desestímulo, incentivo, e praticamente estagnação, a partir da década de 90 a indústria de pré-fabricados em concreto retornou ao cenário nacional, principalmente devido a investimentos que foram realizados em obras no setor de serviços, as quais necessitavam de grande velocidade de execução e venda (OLIVEIRA; 2002).

Podem-se citar muitas vantagens da utilização de elementos pré-moldados com relação à construção tradicional, como rapidez, alta qualidade, menos mão-de-obra no local de construção e melhores condições de trabalho, mas também melhores possibilidades de adaptabilidade e flexibilidade do edifício construído. Os custos de mão-de-obra no local podem ser reduzidos, devido à construção rápida e fácil. Mas a construção de pré-moldados também contribui ambientalmente devido à redução do uso de energia para construção e matérias-primas, redução de resíduos, e devido a reciclagem e reutilização de elementos de construção (STRAATMAN, VAMBERSKY; 2001).

Com a maior utilização de pré-moldados em concreto, as condições de trabalho na construção civil poderiam ser melhoradas (El Debs, 2000). A utilização de concreto pré-moldado resulta em um ambiente de trabalho mais seguro, porque os trabalhadores estão menos expostos ao trabalho em alturas (ELLIOT, 2002). O uso de concreto pré-moldado na construção reduz a sobrecarga no local de trabalho e aumenta a segurança e a organização no local de trabalho, movendo o processo de fabricação para um ambiente seguro e controlado (JAILOON et al, 2009).

De acordo com El Debs (2000), o concreto pré-moldado ainda tem sido pouco explorado no Brasil. Pode-se citar como principais razões para isso a tributação, a instabilidade econômica que dificulta investimentos e planejamento a longo prazo, o conservadorismo da construção civil, falta de conhecimento das alternativas disponíveis em pré-moldados, falta de equipamentos, escassez de dispositivos auxiliares para realização de ligações e manuseio dos elementos pré-moldados.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com Gil (2008), a pesquisa pode ser classificada como experimental do ponto de vista dos procedimentos técnicos; já do ponto de vista dos seus objetivos, é uma pesquisa exploratória, que tenta entender o que está acontecendo.

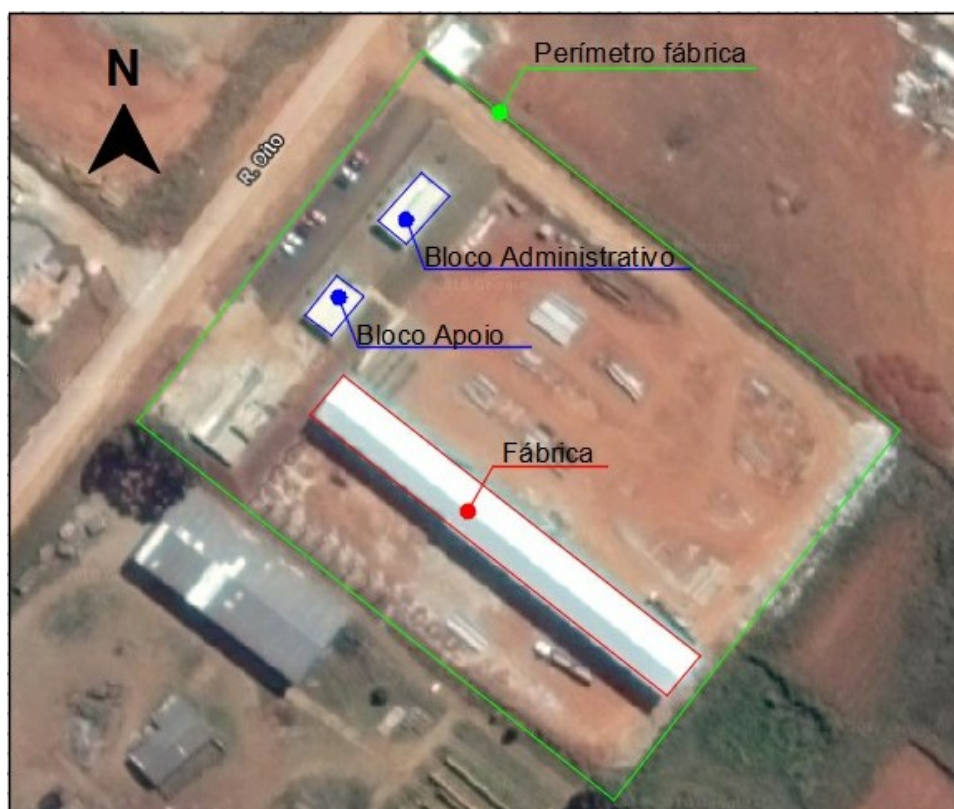
A pesquisa também pode ser classificada do ponto de vista do objeto como de campo; e do ponto de vista da abordagem do problema como predominantemente quantitativa, pois visa mensurar as variáveis que norteiam a pesquisa.

3.2 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE COLETA DE DADOS

A pesquisa foi realizada em uma fábrica de estrutura pré-moldada em concreto, localizada no Distrito Industrial de Ponta Grossa, Paraná. A cidade de Ponta Grossa encontra-se na região sul do Brasil, latitude 25°05'S, longitude 50°09'W, altitude de 975 m acima do nível do mar, no 2º planalto paranaense.

A fábrica produz e instala estruturas pré-moldadas em concreto armado, placas pré-moldadas em concreto armado para fechamento lateral, e estruturas metálicas para cobertura. Esta fábrica foi escolhida em razão da acessibilidade.

As instalações da empresa são bastante amplas compreendendo um bloco administrativo, um bloco de apoio aos funcionários e a fábrica propriamente dita (Figura 1). A pesquisa foi desenvolvida na área da fábrica, que possui aproximadamente 1.140,00 m², distribuídos nos setores de armação, concretagem, estoque e metálico. A setorização da fábrica pode ser melhor entendida com a ilustração presente no Apêndice A, onde também constam as áreas respectivas de cada setor.

Figura 1 - Instalações da fábrica de pré-moldados

Fonte: GOOGLE MAPS (2018)

No setor de armação são produzidas as armaduras metálicas utilizadas nas peças pré-moldadas, na concretagem é onde ficam as fôrmas metálicas e de madeira, e onde são produzidas as peças de concreto pré-moldado, que após a desfôrma, seguem para o estoque, onde as peças produzidas são finalizadas mediante lixamento, e o setor metálico produz as estruturas do telhado e outras peças necessárias para a instalação das estruturas pré-moldadas, sendo um setor que não é diretamente relacionado com o processo de fabricação das peças pré-moldadas em concreto.

As características construtivas da fábrica são cobertura metálica, estrutura pré-moldada em concreto, sem nenhum fechamento lateral, pé direito de aproximadamente 7 metros de altura, e piso cimentado, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Características construtivas da fábrica



Fonte: Autoria própria

O setor escolhido para a realização das medições foi o setor de concretagem. Como o processo de fabricação não inclui uma fonte de calor como um forno ou caldeira, foi optado por esse setor, por ser uma atividade análoga à atividade na construção civil tradicional, e conforme a literatura, trata-se de uma atividade física intensa, sujeita à estresse térmico.

O setor de concretagem pode ter seu *layout* modificado diariamente, pois as fôrmas são realocadas conforme a necessidade da produção das peças fabricadas em cada dia. O Apêndice C, apresenta o *layout* genérico do setor de concretagem com a localização das fôrmas e os pontos em que os equipamentos de medição foram instalados.

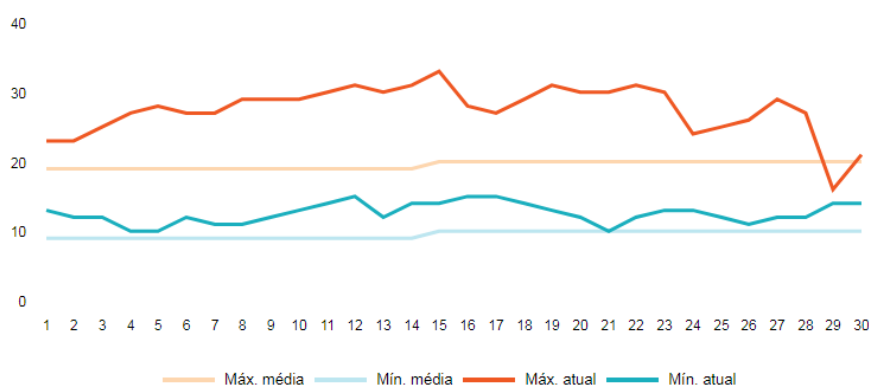
3.3 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada nos meses de agosto e setembro de 2017, durante o horário normal de trabalho, nos turnos da manhã e tarde. Inicialmente objetivava-se a realização das medições nas estações de inverno e verão, mas após a coleta de dados do período de inverno, atentou-se para o fato de que algumas medições apresentaram valores elevados de temperatura para essa época do ano, conforme a mídia local noticiou à época que o inverno de 2017 foi o mais quente dos últimos 20 anos (PETROSKI, 2017).

A comparação dos dados climáticos com os dados históricos do mês de setembro demonstram que a temperatura máxima foi superior a média histórica na maior parte dos dias desse mês, conforme pode ser observado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Temperaturas máximas e médias do mês de setembro de 2017

Gráfico de temperaturas setembro 2017



Fonte: ACCUWEATHER, 2018.

Em virtude das condições climáticas atípicas durante as medições realizadas, optou-se por apenas um período de medição, o qual já havia sido efetuado.

3.3.1 Questionário HSSI - *Heat Strain Score Index*

A avaliação preliminar do estresse térmico foi feita com a aplicação do questionário HSSI - *Heat Strain Score Index*, ou índice de Pontuação de Tensão Térmica. Esse índice foi desenvolvido e validado por Dehghan et al. (2015) com o objetivo de desenvolver uma escala de observação/percepção para avaliação preliminar do estresse por calor no local de trabalho.

Foram selecionados os parâmetros mais importantes que influenciam a incidência de estresse térmico, incluindo temperatura do ar, umidade relativa, temperatura radiante média, velocidade do ar, carga de trabalho, roupas de trabalho e opiniões dos trabalhadores. No total, dezoito variáveis são avaliadas de forma subjetiva e por observação, através do questionário.

A escala HSSI demonstrou confiabilidade e validade adequadas para a avaliação primária do estresse térmico por calor (DEHGHAN et al., 2015). O

questionário, com a planilha de cálculo da pontuação e forma de avaliação dos resultados encontra-se no Apêndice C.

Sua aplicação foi feita individualmente, de forma assistida para cada funcionário, ou seja, na forma de entrevista. Após o preenchimento, a pontuação foi calculada de acordo com os coeficientes de efeito, e o resultado final analisado.

3.3.2 Coleta de Dados Ambientais

A coleta das variáveis ambientais seguiu as normas ISO 7726 (1998) - *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*, ISO 7243 (1989) - *Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT - index (wet bulb globe temperature)*, e ISO 7730 (2005) - *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*.

Para obtenção das variáveis ambientais foram utilizados os seguintes equipamentos: Confortímetro Sensu; Árvore de IBUTG; termo higrômetro e anemômetro.

Através do Confortímetro Sensu (Figura 3) foram obtidas a temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa e velocidade do ar.

Figura 3 - Confortímetro Sensu



Fonte: Autoria própria

A Árvore de IBUTG mede a temperatura de bulbo seco, temperatura de globo e temperatura de bulbo úmido. O termo higrômetro registra a umidade relativa do ar, e o anemômetro a velocidade do ar.

As medições foram realizadas nos seguintes horários: das 9h20 min às 9h50min, das 11h30min às 11h50min, das 14h10min às 14h30min, das 17h20min às 17h40min. Totalizando 32 períodos de medição, distribuídos nos meses de agosto e setembro de 2017.

Nas primeiras 11 medições realizadas, foi utilizado apenas o Confortímetro Sensu para obtenção das variáveis. Em cada medição o equipamento foi alocado o mais próximo dos trabalhadores, na altura de 1,10 metro, de modo que não afetasse a locomoção e execução das atividades, mas de maneira representativa do ambiente.

O equipamento era instalado 30 minutos antes do início de cada medição; tempo esse necessário para estabilização dos sensores. A medição foi realizada por um período de 20 minutos, sendo que os valores de cada variável era gravado automaticamente a cada minuto pelo próprio equipamento.

Devido à indisponibilidade do Confortímetro Sensu para as medições seguintes, foram utilizados a árvore de IBUTG, o termo higrômetro e o anemômetro de mão para a realização das demais medições (Figura 4).

Figura 4 - Árvore de IBUTG e termo higrômetro



Fonte: Autoria própria

De modo semelhante, os equipamentos eram alocados o mais próximo possível dos trabalhadores, e eram instalados 30 minutos antes do início de cada medição para estabilização, e a medição era realizada por um período de 21 minutos. Porém, esses equipamentos não gravam os dados automaticamente, portanto os valores de cada variável foram registrados manualmente a cada 3 minutos pelo período total de 21 minutos.

3.3.3 Coleta dos Dados Pessoais

No setor de concretagem trabalham de forma fixa três funcionários, sendo que os funcionários dos outros setores, circulam ou desempenham alguma atividade neste setor esporadicamente; em vista disso, as variáveis pessoais obtidas referem-se somente aos trabalhadores desse setor.

A variável pessoal Isolamento térmico da roupa foi obtida através do preenchimento de questionário, que foi respondido antes do início da medição das variáveis ambientais e caso ocorresse alguma mudança durante o turno de trabalho nas vestimentas utilizadas, também foi informado. O questionário consta do Apêndice D. Os valores do isolamento para cada peça de roupa utilizada pelos trabalhadores, foi obtido do Anexo B da norma ISO 9920 (2007) - *Ergonomics of thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*. Esse anexo apresenta valores de isolamento térmico para cada peça de roupa individualmente.

Os trabalhadores fazem o uso de uniforme da empresa, portanto, as variações da variável Isolamento térmico da roupa se devem, sobretudo, pelo uso ou não de luva, avental, e camiseta do uniforme de manga curta ou comprida.

A determinação da taxa metabólica foi baseada nas observações das atividades desempenhadas pelos trabalhadores, sendo determinada através da norma ISO 8996 (2004) - *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate*. Dentre os níveis e métodos de avaliação de exposição apresentados nesta norma, foi escolhido o Método 1B, que é uma classificação de acordo com o tipo de atividade, apresentada em cinco níveis de taxa metabólica. O método é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação de acordo com o tipo de atividade

Classe	Taxa Metabólica Média (com intervalos)		Exemplos
	W.m ²	W	
0 Descanso	65 (55 a 70)	115 (100 a 125)	Em descanso, sentado à vontade.
1 Taxa metabólica baixa	100 (70 a 130)	180 (125 a 235)	Trabalho manual leve (escrever, digitar, desenhar, costurar, guardar livros); trabalho utilizando braços e mãos (pequenas ferramentas de bancada, inspeção, organizando materiais leves); trabalho utilizando pernas e braços (dirigir um veículo em condições normais, operando dispositivos para os pés ou pedal). Furar (partes pequenas), máquinas de moer (pequenas partes), enrolar bobinas enrolar pequenas armaduras, operar máquinas com ferramentas de baixo esforço, caminhada casual (velocidade até 3,5 km por hora).
2 Taxa metabólica moderada	165 (130 a 200)	295 (235 a 360)	Trabalho sustentando mãos e braços (martelar, encher); trabalho de braços e pernas (operação sobre rodas, trator ou equipamento de construção); trabalho de braços e tronco (martelo pneumático, trator de linha de montagem, empacotar, carregamento intermitente de material moderadamente pesado, limpar, cavar ou picar frutas e vegetais, puxar ou empurrar carretas leves; andar de 3,5 a 5,5 km/h; forjamento).
3 Taxa metabólica alta	230 (200 a 260)	415 (360 a 465)	Trabalho intenso de tronco e braços, carregando material pesado, trabalhando com pá, trabalho com martelo de malhar, serrando, plainando o ou cinzelando madeira dura, podar manualmente, cavar, caminhar a uma velocidade de 5,5km/h a 7km/h, empurrando ou puxando carrinho de mão ou carretas cheias. Trabalhos em torno mecânico, empilhar blocos de cimento.
4 Taxa metabólica muito alta	290 (>260)	520 (>465)	Atividade fatigante, trabalho com machado, cavar intensamente, subir escadas, rampas ou escada de pintor, caminhar rapidamente em passos pequenos, correr e caminhar a uma velocidade maior que 7km/h.

Fonte: Adaptado e traduzido - Anexo A, ISO 8996 (2004).

Esse método refere-se ao nível 1 da norma mencionada, nível de triagem, consistindo em um método simples que caracteriza rapidamente a carga física de trabalho para uma determinada atividade.

Foi observada a atividade de cada uma dos três funcionários do setor de concretagem, e cada um teve sua taxa metabólica correspondente à atividade observada. As atividades mais frequentes, desempenhadas por cada trabalhador e sua respectiva taxa metabólica determinada, estão caracterizadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Atividade de cada trabalhador e respectiva Taxa Metabólica

Trabalhador	Atividade desempenhada	Taxa Metabólica (W.m ²)
1	Limpeza de fôrmas; montagem da armadura e colocação de acessórios; aplicação de desmoldante, fechamento e travamento das fôrmas; concretagem e adensamento do concreto utilizando vibrador de imersão.	200
2	Operação da ponte rolante; colocação e retirada dos dispositivos de translação e elevação de fôrmas e peças pré-moldadas; carregamento e descarga da caçamba com concreto usinado.	130
3	Limpeza de fôrmas; montagem da armadura e colocação de acessórios; confecção das fôrmas de madeira e demais complementos; aplicação de desmoldante, fechamento e travamento das fôrmas; concretagem.	200

Fonte: Autoria própria

Para o cálculo dos índices de estresse e conforto térmico foi considerada a média da Taxa Metabólica, todavia, a ausência de algum dos trabalhadores ocorreu em algumas medições, em razão disso, há variação dessa variável nas medições.

3.4 CÁLCULO DOS ÍNDICES

Com os dados obtidos foram efetuados o cálculo do índice IBUTG através da Equação 11. Para tanto o cálculo foi efetuado com o auxílio de planilha do *software* Microsoft Excel.

Para o cálculo do índice PHS, foi utilizado o *software* Analysis CST (2013), desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina. Por meio da inserção das variáveis ambientais coletadas, o *software* fornece um relatório com os índices calculados. Na Figura 5, pode-se observar a tela principal de trabalho do *software*.

Figura 5 - Tela principal do software Analysis CST

Fonte: Analysis CST (2013)

Os índices PMV e PPD foram calculados através da ferramenta da web *Human Heat Balance* desenvolvida pelo Departamento de Arquitetura, da Universidade de Sidney, Austrália. Essa ferramenta utiliza as equações da norma ISO 7730 (2005). Na figura 6, observa-se a tela de entrada de dados da ferramenta.

Figura 6 - Entrada de dados na ferramenta web Human Heat Balance

Environmental Parameters		Personal Parameters	
ambient temperature (°C)	26.04	subject weight (kg)	80
radiant temperature (°C)	27.78	subject surface area (m ²)	1.64
barometric pressure (hPa)	901.5	clothing insulation (clo)	0.39
H ₂ O vapour pressure (hPa)	9.1837032	metabolic rate (W m ⁻²)	165
relative humidity (%)	27.25	work rate - external (W m ⁻²)	0
room air velocity (m s ⁻¹)	0.61	exposure time (min)	20

Form of Output: Final Values

*PS: The result will be displayed in a new window.

Calculate Reset

Queries regarding the PMV and 2-node models are to be directed to [Professor Richard de Dear](#).

Fonte: Human Heat Balance, University of Sydney, Australia

O índice PET foi calculado por intermédio do *software* RayMan desenvolvido pelo departamento de Meteorologia e Climatologia da Universidade Albert-Ludwigs Freiburg, Alemanha, para calcular os fluxos de radiação em ambientes simples e complexos (MATZARAKIS et al. 2007; 2010). Na figura 7, a tela de entrada de dados do *software* é apresentada.

Figura 7 - Apresentação da tela de entrada dos dados do software RayMan

The screenshot shows the RayMan Pro software interface with the following data entered:

Section	Field	Value
Date and time	Date (day.month.year)	11.9.2017
	Day of year	254
	Local time (h:mm)	11:40
Geographic data	Location	Ponta Grossa
	Geogr. longitude (°E)	-50°9'
	Geogr. latitude (°N)	-25°5'
	Altitude (m)	975
	Timezone (UTC + h)	-3.0
	Current data	Air temperature Ta (°C)
Current data	Vapour pressure VP (hPa)	8.0
Current data	Rel. humidity RH (%)	19.1
Current data	Wind velocity v (m/s)	1.4
Current data	Cloud cover N (octas)	0.0
Current data	Surface temperature Ts (°C)	
Current data	Global radiation G (W/m²)	
Current data	Mean radiant temp. Tmrt (°C)	36.5
Personal data	Height (m)	1.71
	Weight (kg)	80.0
	Age (a)	36
	Sex	m
Clothing and activity	Clothing (clo)	0.44
	Activity (W)	153.3
	Position	standing
Thermal indices	Selected	<input checked="" type="checkbox"/> PET

Fonte: RayMan, Matzarakis (2007; 2010)

O último passo é a comparação da análise dos diferentes índices IBUTG e PHS, PMV/PPD e PET, e se há ou não divergência na condição de trabalho entre os índices.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 APRESENTAÇÃO DA PONTUAÇÃO DO HSSI

Após a aplicação do questionário HSSI, foi calculada a pontuação de cada funcionário. Os resultados estão apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Cálculo do HSSI

Cálculo HSSI			
Nº da questão	Funcionário 1	Funcionário 2	Funcionário 3
Q1	0,73	2,19	2,19
Q2	-1,34	-1,34	-1,34
Q3	0,00	0,00	0,00
Q4	-0,61	-0,61	-0,61
Q5	1,89	1,26	1,89
Q6	1,34	0,00	2,68
Q7	1,71	0,57	1,14
Q8	1,68	1,68	1,68
Q9	0,81	2,43	1,62
Q10	0,56	0,56	0,56
Q11	-0,68	0,00	0,00
Q12	0,62	0,62	0,62
Q13	0,36	0,36	0,36
Q14	0,00	0,00	0,00
Q15	0,66	0,66	0,66
Q16	1,25	1,00	1,00
Q17	1,11	1,48	1,11
Q18	0,57	0,29	0,29
Pontuação total	10,66	11,15	13,85
Pontuação média dos funcionários			11,88

Fonte: Autoria própria

A pontuação final foi analisada conforme os três níveis que a escala apresenta:

- Nível seguro ou zona verde, para pontuação total inferior a 13,5;
- Nível de alerta ou zona amarela, para pontuação total de 13,6 a 18;
- Nível de perigo ou zona vermelha, para pontuação total superior a 18.

Analisando-se a pontuação dos três funcionários na Tabela 1, observa-se que dois deles estão no nível seguro, e um funcionário atingiu a pontuação do nível de alerta. Percebe-se também que embora o funcionário 3 esteja no nível de alerta sua pontuação total é muito próxima do limite inferior desse nível.

O nível seguro indica que a pessoa não está exposta ou está exposta à um baixo nível de calor. Já o nível de alerta indica que existe risco potencial de doenças devido ao calor e é necessária uma avaliação mais precisa do estresse térmico.

Dessa forma, foram levantados os dados ambientais e pessoais para que os índices de estresse térmico pudessem ser calculados e o ambiente de trabalho avaliado.

4.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Com os 20 valores de cada variável em cada medição, obtidos por intermédio do Confortímetro Senu, e os 21 valores de cada variável em cada medição em que foram utilizados a árvore de IBUTG, termo higrômetro e anemômetro, foram então calculadas as médias correspondentes, obtendo, dessa forma, o valor médio de cada variável das 32 medições realizadas.

Com os valores médios da temperatura de globo, temperatura do ar e velocidade do ar, foi calculada a temperatura radiante média, de acordo com o Anexo A da ISO 7726 (1998) - *Ergonomics of thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*.

Em relação a temperatura radiante média calculada, é necessário fazer uma ressalva. O resultado calculado na medição referente ao dia 30/08/2017, às 9h e 30 min, foi um valor negativo, por consequência, essa medição foi descartada, sendo consideradas para cálculo e análise dos índices, apenas as 31 medições restantes.

Os dados obtidos de cada medição são apresentados na Tabela 2. Ao final da tabela, também são apresentados os valores médios para cada variável e seu respectivo desvio padrão.

Tabela 2 - Variáveis ambientais

Medição	Data	Horário	Tg (°C)	Tar (°C)	Tbu (°C)	Trm (°C)	Var (m/s)	UR (%)
1	30/08/2017	11h30 - 11h50	28,70	28,23	17,97	30,00	1,38	38,46
2	30/08/2017	14h10 - 14h30	30,96	30,49	18,18	32,24	1,43	28,51
3	30/08/2017	17h20 - 17h40	28,78	28,81	18,04	28,73	0,50	35,07
4	31/08/2017	9h30 - 9h50	23,17	19,62	17,17	33,90	1,60	76,66
5	31/08/2017	11h30 - 11h50	22,74	20,36	17,30	29,29	1,31	70,15
6	31/08/2017	14h10 - 14h30	25,13	20,48	17,28	39,43	1,76	71,43
7	31/08/2017	17h20 - 17h40	17,70	17,37	17,15	18,62	1,11	77,53
8	05/09/2017	9h30 - 9h50	26,63	23,77	17,76	31,68	0,66	48,42
9	05/09/2017	11h30 - 11h50	25,99	25,63	18,01	27,06	1,47	36,69
10	05/09/2017	14h10 - 14h30	28,71	27,95	18,16	30,54	1,13	29,59
11	11/09/2017	11h30 - 11h50	31,65	29,84	18,76	36,51	1,44	19,13
12	11/09/2017	14h10 - 14h30	33,43	31,11	18,75	37,81	0,83	18,25
13	11/09/2017	17h20 - 17h40	29,18	28,25	18,79	29,77	0,13	22,63
14	12/09/2017	9h30 - 9h50	26,70	24,64	19,43	28,76	0,25	37,88
15	12/09/2017	11h30 - 11h50	30,34	29,25	18,41	34,84	2,89	22,00
16	12/09/2017	14h10 - 14h30	31,90	30,74	19,05	35,42	1,76	18,00
17	12/09/2017	17h20 - 17h40	27,93	27,44	18,40	29,08	1,06	22,75
18	13/09/2017	9h30 - 9h50	23,90	22,81	17,15	26,27	0,88	35,00
19	13/09/2017	11h30 - 11h50	28,28	27,63	18,14	30,59	2,14	25,50
20	13/09/2017	14h10 - 14h30	31,71	30,90	17,75	34,51	2,14	19,00
21	13/09/2017	17h20 - 17h40	29,24	28,86	17,53	29,90	1,21	20,50
22	14/09/2017	9h30 - 9h50	27,58	27,50	17,46	27,83	1,96	23,00
23	14/09/2017	11h30 - 11h50	30,73	30,14	17,30	32,86	2,30	20,75
24	14/09/2017	14h10 - 14h30	31,83	31,11	17,96	34,78	2,94	19,00
25	14/09/2017	17h20 - 17h40	30,28	29,94	18,41	31,24	1,53	19,25
26	18/09/2017	9h30 - 9h50	22,15	20,71	17,29	27,78	2,33	47,50
27	18/09/2017	11h30 - 11h50	24,99	23,59	18,39	28,63	1,21	39,63
28	18/09/2017	14h10 - 14h30	30,48	27,98	20,04	33,82	0,44	29,88
29	18/09/2017	17h20 - 17h40	27,03	26,38	19,71	29,45	2,26	31,88
30	21/09/2017	9h30 - 9h50	20,95	19,54	16,13	23,51	0,61	41,50
31	21/09/2017	11h30 - 11h50	27,05	26,04	17,66	28,78	0,61	27,25
Média			27,61	26,36	18,05	30,76	1,39	34,61
Desvio-padrão			3,67	4,02	0,84	4,20	0,73	17,70

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 3 são apresentados os valores para o isolamento térmico da vestimenta correspondente de cada funcionário, obtido através dos questionários respondidos; e também a taxa metabólica tabelada que foi atribuída a cada funcionário de acordo com as atividades desenvolvidas por eles. Também foi calculada a média para essas variáveis.

Tabela 3 - Variáveis pessoais

Medição/ Variável	Icl1 (clo)	Icl2 (clo)	Icl3 (clo)	M1 (W/m ²)	M2 (W/m ²)	M3 (W/m ²)	Icl Médio	M Média
1	0,39	0,51		165	130		0,45	147,50
2	0,39	0,51		165	130		0,45	147,50
3	0,39	0,51		165	130		0,45	147,50
4	0,39	0,51		165	130		0,45	147,50
5	0,39	0,51	0,41	165	130	165	0,44	153,33
6	0,39	0,51	0,41	165	130	165	0,44	153,33
7	0,39	0,51	0,41	165	130	165	0,44	153,33
8	0,39	0,53	0,41	165	130	165	0,44	153,33
9	0,39	0,53	0,41	165	130	165	0,44	153,33
10	0,39	0,53	0,41	165	130	165	0,44	153,33
11	0,51	0,51	0,41	165	130	165	0,44	153,33
12	0,39		0,41	165		165	0,40	165,00
13	0,39	0,51	0,41	165	130	165	0,44	153,33
14	0,39		0,41	165		165	0,40	165,00
15	0,39		0,41	165		165	0,40	165,00
16	0,39			165			0,40	165,00
17	0,39		0,41	165		165	0,44	165,00
18	0,39	0,51	0,41	165	130	165	0,45	153,33
19	0,39	0,51	0,41	165	130	165	0,45	153,33
20		0,51	0,41		130	165	0,46	147,50
21	0,39	0,51	0,41	165	130	165	0,44	153,33
22	0,39	0,51	0,41	165	130	165	0,44	153,33
23	0,39	0,51	0,41	165	130	165	0,44	153,33
24		0,51	0,41		130	165	0,46	147,50
25	0,39		0,41	165		165	0,40	165,00
26	0,39	0,53	0,41	165	130	165	0,44	153,33
27	0,39	0,53	0,41	165	130	165	0,44	153,33
28	0,39	0,53	0,41	165	130	165	0,44	153,33
29	0,39	0,53	0,41	165	130	165	0,44	153,33
30	0,39	0,53	0,41	165	130	165	0,44	153,33
31	0,39	0,53	0,41	165	130	165	0,44	153,33

Fonte: Autoria própria

Nem sempre todos os três funcionários estavam presentes no ambiente em cada período de medição, por esse motivo algumas medições apresentam valores apenas para dois ou até mesmo um funcionário.

4.3 ANÁLISE DO ESTRESSE TÉRMICO

Antes de calcular os índices de estresse térmico, foi realizado o teste de normalidade dos dados utilizando o programa IBM SPSS Statistics, sendo realizado o Teste de Kolmogorov-Smirnov. Esse teste é realizado para amostras com mais de 30 casos.

Quadro 4 - Teste de normalidade Kolmogorov-Simrnov

Teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra

		Tg	Tar	Tbu	Trm	Var	UR
N		31	31	31	31	31	31
Parâmetros normais ^{a,b}	Média	27,6077	26,3584	18,0494	30,7623	1,3958	34,6061
	Desvio Padrão	3,67006	4,01635	,83732	4,20448	,73370	17,69548
Diferenças Mais Extremas	Absoluto	,105	,187	,109	,112	,073	,174
	Positivo	,089	,118	,108	,097	,073	,162
	Negativo	-,105	-,187	-,109	-,112	-,071	-,174
Estatística do teste		,105	,187	,109	,112	,073	,174
Significância Assint. (Bilateral)		,200 ^{e,d}	,007 ^c	,200 ^{e,d}	,200 ^{e,d}	,200 ^{e,d}	,018 ^c

a. A distribuição do teste é Normal.

b. Calculado dos dados.

c. Correção de Significância de Lilliefors.

d. Este é um limite inferior da significância verdadeira.

Fonte: Autoria própria

Considerando que o valor de p deve ser maior que 0,05 para que se aceite a hipótese nula de que os dados são normais; verifica-se no quadro 4, que a maioria das variáveis tem o valor de p (no quadro 4: Significância Assint.) maior que 0,05, portanto aceita-se que os dados tem comportamento normal.

Isto posto, serão calculados os índices IBUTG e PHS, sendo que o índice IBUTG será interpretado de acordo com duas normas: NR 15 (2014) e ISO 7243 (1989).

4.3.1 Análise do Índice IBUTG

Os resultados obtidos para o índice IBUTG calculado são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Cálculo do IBUTG

Medição	Tg (°C)	Tbu (°C)	IBUTG (°C)
1	28,70	17,97	21,19
2	30,96	18,18	22,01
3	28,78	18,04	21,26
4	23,17	17,17	18,97
5	22,74	17,30	18,94
6	25,13	17,28	19,63
7	17,70	17,15	17,32
8	26,63	17,76	20,42
9	25,99	18,01	20,40
10	28,71	18,16	21,32
11	31,65	18,76	22,63
12	33,43	18,75	23,15
13	29,18	18,79	21,91
14	26,70	19,43	21,61
15	30,34	18,41	21,99
16	31,90	19,05	22,91
17	27,93	18,40	21,26
18	23,90	17,15	19,18
19	28,28	18,14	21,18
20	31,71	17,75	21,94
21	29,24	17,53	21,04
22	27,58	17,46	20,49
23	30,73	17,30	21,33
24	31,83	17,96	22,12
25	30,28	18,41	21,97
26	22,15	17,29	18,75
27	24,99	18,39	20,37
28	30,48	20,04	23,17
29	27,03	19,71	21,90
30	20,95	16,13	17,58
31	27,05	17,66	20,48

Fonte: Autoria própria

O cálculo do índice de IBUTG é feito de forma idêntica pelas duas normas NR 15 e ISO 7243 (1989). Mas as interpretações diferem, pois os limites de exposição e de determinação da taxa metabólica são diferentes, portanto as interpretações são apresentadas separadamente.

4.3.1.1 Análise do índice IBUTG segundo a NR 15

Após o cálculo do índice IBUTG, que já foi realizado, a avaliação através da NR 15 - Anexo N°3, é feita primeiramente determinando-se se a atividade é leve, moderada ou pesada através do quadro 5.

Quadro 5 - Taxa de metabolismo por tipo de atividade

TIPO DE ATIVIDADE	Kcal/h
SENTADO EM REPOUSO	100
TRABALHO LEVE Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex.: datilografia). Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex.: dirigir). De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços.	125 150 150
TRABALHO MODERADO Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas. De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação. De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação. Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar.	180 175 220 300
TRABALHO PESADO Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos (ex.: remoção com pá). Trabalho fatigante.	440 550

Fonte: NR 15 - Ministério do Trabalho e Emprego (2014)

Observa-se no quadro acima que a taxa metabólica está em Kcal/h, porém a taxa metabólica utilizada está em W/m². Para a correta interpretação do quadro, faz-se necessário transformar a taxa metabólica. Após a conversão dos valores pode-se considerar que a taxa metabólica varia de 126,8 a 141,9 Kcal/h, podendo a atividade ser considerada leve. Em função do IBUTG obtido e do tipo de atividade, o regime de trabalho é determinado de acordo com o quadro 6.

Quadro 6 - Limites de IBUTG e tipo de atividade

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 Ministério do Trabalho e Emprego (2014)

Nesse quadro são apresentados os valores máximos do IBUTG, com relação ao regime de trabalho, podendo ser contínuo ou intermitente com períodos de descanso.

Considerando que o tipo de atividade é leve, e o trabalho é contínuo, temos o limite máximo de IBUTG de 30,0°C. Cada medição e IBUTG calculado foram analisados individualmente, os resultados com a interpretação dos resultados de acordo com a NR 15, Anexo N° 3 são apresentados no quadro 7.

Quadro 7 - Interpretação do IBUTG de acordo com a NR 15

Medição	IBUTG (°C)	Jornada recomendada
1	21,19	Trabalho permitido
2	22,01	Trabalho permitido
3	21,26	Trabalho permitido
4	18,97	Trabalho permitido
5	18,94	Trabalho permitido
6	19,63	Trabalho permitido
7	17,32	Trabalho permitido
8	20,42	Trabalho permitido
9	20,40	Trabalho permitido
10	21,32	Trabalho permitido
11	22,63	Trabalho permitido
12	23,15	Trabalho permitido
13	21,91	Trabalho permitido
14	21,61	Trabalho permitido
15	21,99	Trabalho permitido
16	22,91	Trabalho permitido
17	21,26	Trabalho permitido
18	19,18	Trabalho permitido
19	21,18	Trabalho permitido
20	21,94	Trabalho permitido
21	21,04	Trabalho permitido
22	20,49	Trabalho permitido
23	21,33	Trabalho permitido
24	22,12	Trabalho permitido
25	21,97	Trabalho permitido
26	18,75	Trabalho permitido
27	20,37	Trabalho permitido
28	23,17	Trabalho permitido
29	21,90	Trabalho permitido
30	17,58	Trabalho permitido
31	20,48	Trabalho permitido

Fonte: Autoria própria

O Quadro 7 demonstra que em todas as medições o limite máximo do IBUTG não foi atingido, portanto não houve estresse térmico em nenhuma das medições efetuadas.

4.3.1.2 Análise do índice IBUTG segundo a ISO 7243

Para a avaliação do estresse térmico pela ISO 7243 (1989), deve-se primeiro verificar a taxa metabólica através do quadro 8.

Quadro 8 - Classificação de acordo com o tipo de atividade

Classe	Taxa Metabólica		Taxa Metabólica Média		Exemplos
	Relativa à unidade área $W.m^2$	Taxa total W	W/m^2	W	
0 Descanso	$M \leq 65$	$M \leq 117$	65	117	Em descanso.
1 Taxa metabólica baixa	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	100	180	Sentado à vontade: Trabalho manual leve (escrever, digitar, desenhar, costurar, guardar livros); trabalho utilizando braços e mãos (pequenas ferramentas de bancada, inspeção, organizando materiais leves); trabalho utilizando pernas e braços (dirigir um veículo em condições normais, operando dispositivos para os pés ou pedal). Em pé: Furar (partes pequenas), máquinas de moer (pequenas partes), enrolar bobinas enrolar pequenas armaduras, operar máquinas com ferramentas de baixo esforço, caminhada casual (velocidade até 3,5 km por hora).
2 Taxa metabólica moderada	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	165	297	Trabalho sustentando mãos e braços (martelar, encher); trabalho de braços e pernas (operação sobre rodas, trator ou equipamento de construção); trabalho de braços e tronco (martelo pneumático, trator de linha de montagem, empacotar, carregamento intermitente de material moderadamente pesado, limpar, cavar ou picar frutas e vegetais, puxar ou empurrar carretas leves; andar de 3,5 a 5,5 km/h; forjamento).
3 Taxa metabólica alta	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	230	414	Trabalho intenso de tronco e braços, carregando material pesado, trabalhando com pá, trabalho com martelo de malhar, serrando, plainando o ou cinzelando madeira dura, podar manualmente, cavar, caminhar a uma velocidade de 5,5km/h a 7km/h, empurrando ou puxando carrinho de mão ou carretas cheias. Trabalhos em torno mecânico, empilhar blocos de cimento.
4 Taxa metabólica muito alta	$M > 260$	$M > 468$	290	522	Atividade fatigante, trabalho com machado, cavar intensamente, subir escadas, rampas ou escada de pintor, caminhar rapidamente em passos pequenos, correr e caminhar a uma velocidade maior que 7km/h.

Fonte: Adaptado e traduzido - ISO 7243 (1989).

A tabela apresentada na ISO 7243 (1989) é muito semelhante ao quadro 2, apresentada no ítem 3.3.2 da ISO 8996 (2004), da qual foi estimada a taxa metabólica utilizada. Mas para análise do IBUTG considera-se a média da taxa metabólica 154,24 W/m². Portanto, para a interpretação do IBUTG pela norma ISO 7243 (1989), a taxa metabólica é considerada moderada.

Considerando os limites para pessoas aclimatadas, que é o caso dos funcionários avaliados, e a taxa metabólica, o limite máximo de IBUTG para que o trabalhador não entre em condição de estresse térmico é de 28 °C (Quadro 9).

Quadro 9 - Limites de IBUTG segundo ISO 7243

Taxa Metabólica (W/m ²)	Valor de referência para IBUTG			
	Pessoas aclimatadas (°C)		Pessoas não aclimatadas (°C)	
M≤65	33		32	
65<M≤130	30		29	
130<M≤200	28		26	
200<M≤260	sem movimento de ar perceptível	movimento de ar perceptível	sem movimento de ar perceptível	movimento de ar perceptível
	25	26	22	23
M>260	23	25	18	20

Fonte: Adaptado de ISO 7243 (1989)

Levando-se em consideração o limite máximo, cada medição foi analisada individualmente, e o resultado é apresentado no quadro 10.

Quadro 10 - Interpretação do IBUTG de acordo com a ISO 7243

Medição	IBUTG (°C)	Jornada recomendada
1	21,19	Trabalho permitido
2	22,01	Trabalho permitido
3	21,26	Trabalho permitido
4	18,97	Trabalho permitido
5	18,94	Trabalho permitido
6	19,63	Trabalho permitido
7	17,32	Trabalho permitido
8	20,42	Trabalho permitido
9	20,40	Trabalho permitido
10	21,32	Trabalho permitido
11	22,63	Trabalho permitido
12	23,15	Trabalho permitido
13	21,91	Trabalho permitido
14	21,61	Trabalho permitido
15	21,99	Trabalho permitido
16	22,91	Trabalho permitido
17	21,26	Trabalho permitido
18	19,18	Trabalho permitido
19	21,18	Trabalho permitido
20	21,94	Trabalho permitido
21	21,04	Trabalho permitido
22	20,49	Trabalho permitido
23	21,33	Trabalho permitido
24	22,12	Trabalho permitido
25	21,97	Trabalho permitido
26	18,75	Trabalho permitido
27	20,37	Trabalho permitido
28	23,17	Trabalho permitido
29	21,90	Trabalho permitido
30	17,58	Trabalho permitido
31	20,48	Trabalho permitido

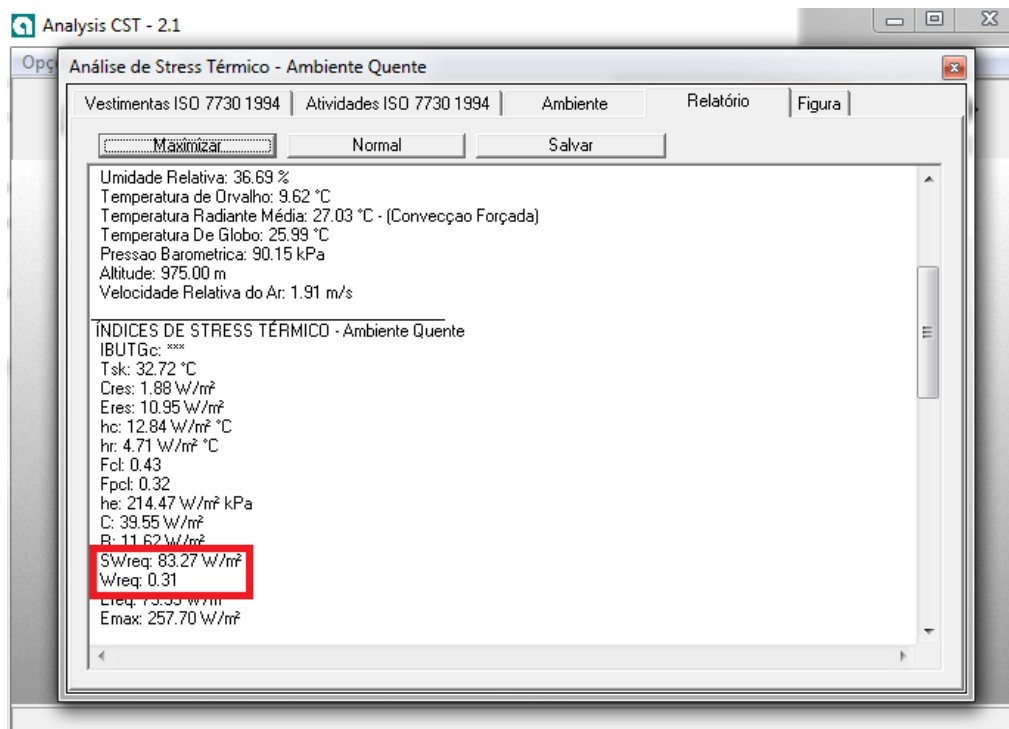
Fonte: Autoria própria

O quadro 10 demonstra que em nenhuma medição foi identificado estresse térmico, sendo permitido, portanto, a execução das atividades sem que os trabalhadores entrem em condição de estresse térmico.

4.3.2 Análise do índice PHS segundo a ISO 7933 (2004)

Como informado no tópico 3.4, o estresse térmico pelo índice PHS foi obtido através da utilização do *software* Analysis CST. Na Figura 8 observa-se o relatório da medição, com destaque para o cálculo das variáveis W_{req} e SW_{req} .

Figura 8 - Saída dos dados do software Analysis CST



Fonte: Analysis CST (2013)

A análise de estresse térmico segundo a ISO 7243 (2004) caracteriza-se pelo cálculo de dois índices: fração de pele molhada (W) e a taxa de suor (SW). A análise consiste na comparação desses dois índices calculados com os valores máximos informados na norma.

De acordo com o Anexo B da ISO 7243 (2004), se o valor de Wreq for maior que Wmax, o indivíduo estará em condição de estresse térmico por aumento da temperatura interna. O valor de Wmax para pessoas aclimatadas é de 1,0, o que significa que 100% da pele estaria molhada, como forma de combater o aumento de temperatura. Assim, qualquer valor de Wreq maior do que 1,0 indicaria condição de estresse térmico, visto que é impossível que mais do que 100% da pele esteja molhada.

A análise do índice SWreq, se esse for maior que SWmax, o indivíduo estará em estresse térmico devido à perda hídrica, sofrendo desidratação. O valor máximo de SW é 400W/m², portanto qualquer valor de SWreq acima desse limite indicaria situação de estresse térmico por perda hídrica.

Os resultados obtidos do cálculo da variável Wreq e da análise são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 - Interpretação dos índices Wreq

Medição	Wreq 1 (W/m ²)	Wreq 2 (W/m ²)	Wreq 3 (W/m ²)	Condição de Trabalho
1	0,08	0,37		Condição normal
2	0,37	0,35		Condição normal
3	0,12	0,38		Condição normal
4	0,41	0,38		Condição normal
5	0,25	0,22		Condição normal
6	-0,03	0,21	0,26	Condição normal
7	0,3	0,27	0,31	Condição normal
8	0,11	0,07	0,13	Condição normal
9	0,35	0,33	0,36	Condição normal
10	0,29	0,27	0,3	Condição normal
11	0,35	0,34	0,36	Condição normal
12	0,13	0,42	0,45	Condição normal
13	0,48		0,5	Condição normal
14	0,2	0,46	0,5	Condição normal
15	0,45		0,47	Condição normal
16	0,41		0,42	Condição normal
17	0,44			Condição normal
18	0,38		0,39	Condição normal
19	0,29	0,26	0,31	Condição normal
20	0,36	0,34	0,38	Condição normal
21		0,39	0,42	Condição normal
22	0,38	0,35	0,39	Condição normal
23	0,33	0,31	0,35	Condição normal
24	0,39	0,37	0,4	Condição normal
25		0,41	0,44	Condição normal
26	0,4		0,42	Condição normal
27	0,22	0,2	0,24	Condição normal
28	0,32	0,3	0,34	Condição normal
29	0,5	0,49	0,52	Condição normal
30	0,37	0,36	0,39	Condição normal
31	0,24	0,21	0,25	Condição normal
32	0,38	0,36	0,39	Condição normal

Fonte: Autoria Própria

Observando os valores calculados de Wreq, observa-se que nenhum valor ultrapassa o valor de Wmax de 1,0 W/m², não havendo, portanto estresse térmico por aumento da temperatura.

Os resultados de SWreq e suas respectivas análises são apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 - Interpretação dos índices SWreq

Medição	SWreq 1 (W/m ²)	SWreq 2 (W/m ²)	SWreq 3 (W/m ²)	Condição de Trabalho
1	64,56	91,15		Condição normal
2	119,86	91,02		Condição normal
3	103,28	100,58		Condição normal
4	123,54	93,47		Condição normal
5	68,88	49,78		Condição normal
6	-23,75	47,34	69,14	Condição normal
7	85,61	64,15	88,08	Condição normal
8	28,86	14,97	31,94	Condição normal
9	100,73	77,46	102,76	Condição normal
10	94,06	71,27	96,20	Condição normal
11	118,13	91,11	119,91	Condição normal
12	112,85	115,13	150,06	Condição normal
13	163,49		165,20	Condição normal
14	90,58	99,24	133,00	Condição normal
15	108,39		110,73	Condição normal
16	140,98		142,93	Condição normal
17	152,48			Condição normal
18	113,60		115,67	Condição normal
19	79,19	57,23	81,53	Condição normal
20	116,91	88,93	119,04	Condição normal
21		116,97	151,97	Condição normal
22	124,22	94,67	126,07	Condição normal
23	109,51	82,60	111,60	Condição normal
24	130,30	109,01	142,45	Condição normal
25		122,24	158,22	Condição normal
26	135,13		136,98	Condição normal
27	59,40	43,53	62,37	Condição normal
28	82,64	65,53	89,52	Condição normal
29	139,90	109,05	142,19	Condição normal
30	106,55	81,70	109,08	Condição normal
31	58,24	41,68	60,71	Condição normal
32	107,11	81,71	109,15	Condição normal

Fonte: Autoria própria

De forma análoga, ao observar-se os valores calculados de SWreq, observa-se que nenhum valor ultrapassa o valor de SWmax equivalente a 400 W/m², portanto, não há estresse térmico por perda hídrica.

4.3.3 Comparação entre os Índices de Estresse Térmico

A pontuação média da escala HSSI apresentou-se em nível seguro, que indica que a pessoa não está exposta ou está exposta a um baixo nível de calor. Essa conclusão pôde ser validada pela avaliação feita através dos índices IBUTG e PHS, que também não indicaram a existência de estresse térmico por calor no ambiente de trabalho em questão, em nenhuma das medições realizadas.

Diferentemente de estudos que indicam que a construção civil tem atividades propensas ao estresse térmico (MILLER; BATES, 2007; YI; CHAN, 2015; ROWLINSON et al, 2013; LI et al, 2016), a análise dos índices de IBUTG e PHS não indicou estresse térmico na atividade de concretagem da fábrica de pré-moldados em concreto.

Uma das características da construção civil é o canteiro de obras ser a céu aberto, portanto, é um ambiente com incidência de luz solar direta sobre os trabalhadores; o tempo de exposição ao sol varia de acordo com a função do trabalhador e a atividade que é realizada (LUNDGREN et al., 2014). Comparando-se o canteiro de obras tradicional e o ambiente estudado, a incidência de luz solar direta sobre os trabalhadores pode ser considerada inferior neste ambiente.

A taxa metabólica considerada em alguns estudos relacionados à construção civil é maior que a considerada nesta pesquisa (ROWLINSON et al., 2013; YI; CHAN, 2015). Grande parte dos trabalhos na construção, são caracterizados por trabalho pesado e contínuo, sem intervalos regulares durante o turno de trabalho (VENUGOPAL et al., 2016). Essa diferença entre os ambientes de trabalho é bastante significativa, pois pode ser um dos fatores para a não ocorrência do estresse térmico no ambiente estudado.

Não havendo sido caracterizada a condição de estresse térmico será analisada, portanto, a condição de conforto térmico no ambiente para as medições em que se aplica a ISO 7730 (2005).

4.4 ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO

4.4.1 Análise do Índice PMV e PPD

De acordo com a norma ISO 7730 (2005), o método do PMV deve ser utilizado somente quando os valores do PMV estão na faixa da escala de sensações entre -2 e +2, e quando as variáveis pertencem aos seguintes intervalos:

- Taxa metabólica: 46 a 232 W/m²;
- Isolamento da vestimenta: 0 a 0,310 m².KW;
- Temperatura do ar: 10 a 30°C;
- Temperatura radiante média: 10 a 40°C;
- Velocidade do ar: 0 a 1m/s;
- Pressão parcial de vapor de água: 0 a 2700 Pa.

Eliminando-se as medições às quais não se aplicam o método PMV, em que a temperatura e velocidade do ar são superiores ao limite de aplicação da ISO 7730 (2005), restaram apenas 8 medições, com as quais foram calculados os índices do PMV e PPD, utilizando-se para isso a ferramenta web *Human Heat Balance* já descrita na metodologia.

Os resultados são apresentados na tabela 5, onde também constam os valores das médias da sensação e a preferência térmica de acordo com as respostas obtidas através do questionário respondido pelos funcionários no momento de cada medição (Apêndice D).

Tabela 5 - Índices PMV e PPD e sensação e preferência térmica

Medição/ Variável	PMV Médio	PPD Médio	Sens. Média	Pref. Média
3	1,94	74,09	0,50	0,00
8	1,29	39,80	1,33	-0,67
13	2,12	81,76	1,67	-1,50
14	1,77	65,48	2,00	-0,50
18	0,74	16,57	1,33	-0,67
28	2,28	87,59	1,67	-1,33
30	0,18	5,69	1,33	-2,00
31	1,54	52,97	1,33	-1,00

Fonte: Autoria própria

A norma ISO 7730 (2005), em seu anexo A, indica três categorias de conforto, cada uma delas especifica intervalos para aceitação do PMV, e a porcentagem máxima de insatisfeitos, conforme é demonstrado no quadro 13.

Quadro 13 - Categorias do ambiente térmico

Categoria	PPD (%)	PMV
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7

Fonte: Adaptado ISO 7933 (2005)

Das 8 medições para as quais foi efetuado o cálculo do PMV, apenas uma delas, a medição n. 30, atende aos critérios especificados no Quadro 12, sendo classificada como categoria do ambiente térmico A. Porém, em todas as outras 7 medições os funcionários estavam se sentindo desconfortáveis termicamente.

Na única medição em que o PMV é considerado adequado, a temperatura do ar equivale a 19,54°C; considerando que as medições que foram excluídas da análise do PMV apresentam a temperatura do ar superior a 30°C, pode-se inferir que essas medições excluídas representam um ambiente térmico ainda mais desconfortável para os funcionários; o que representaria 96,8% do total das 31 medições realizadas.

De acordo com Hasan et al. (2016), as variáveis ambientais, por serem mais facilmente obtidas através de medições, receberam grande atenção na literatura; já as variáveis pessoais são mais difíceis de estimar ou medir, e geralmente são utilizados valores tabelados e constantes. Estudos indicam que quanto mais precisa a determinação das variáveis ambientais, mais preciso o modelo do PMV (BRODAY et al., 2014).

4.4.2 Análise do Índice PET

Como visto na metodologia, o índice PET foi calculado pelo *software* RayMan. Os resultados são apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 - Índice PET e sua interpretação

Medição	Data	Horário	PET (°C)	Sensação Térmica
1	30/08/2017	11h30 -11h50	26,10	Leve calor
2	30/08/2017	14h10 -14h30	29,20	Pouco calor
3	30/08/2017	17h20 -17h40	27,60	Leve calor
4	31/08/2017	9h30 - 9h50	18,80	Confortável
5	31/08/2017	11h30 -11h50	18,60	Confortável
6	31/08/2017	14h10 -14h30	21,20	Confortável
7	31/08/2017	17h20 -17h40	13,10	Leve frio
8	05/09/2017	9h30 - 9h50	24,70	Leve calor
9	05/09/2017	11h30 -11h50	18,50	Confortável
10	05/09/2017	14h10 -14h30	26,40	Leve calor
11	11/09/2017	11h30 -11h50	30,10	Pouco calor
12	11/09/2017	14h10 -14h30	32,90	Pouco calor
13	11/09/2017	17h20 -17h40	28,90	Leve calor
14	12/09/2017	9h30 - 9h50	25,50	Leve calor
15	12/09/2017	11h30 -11h50	27,00	Leve calor
16	12/09/2017	14h10 -14h30	30,00	Pouco calor
17	12/09/2017	17h20 -17h40	25,00	Leve calor
18	13/09/2017	9h30 - 9h50	26,10	Leve calor
19	13/09/2017	11h30 -11h50	24,20	Leve calor
20	13/09/2017	14h10 -14h30	29,60	Pouco calor
21	13/09/2017	17h20 -17h40	26,60	Leve calor
22	14/09/2017	9h30 - 9h50	23,00	Confortável
23	14/09/2017	11h30 -11h50	27,80	Leve calor
24	14/09/2017	14h10 -14h30	29,30	Pouco calor
25	14/09/2017	17h20 -17h40	27,70	Leve calor
26	18/09/2017	9h30 - 9h50	16,10	Leve frio
27	18/09/2017	11h30 -11h50	21,10	Confortável
28	18/09/2017	14h10 -14h30	29,70	Pouco calor
29	18/09/2017	17h20 -17h40	22,10	Confortável
30	21/09/2017	9h30 - 9h50	17,70	Leve frio
31	21/09/2017	11h30 -11h50	25,10	Leve calor

Fonte: Autoria própria

A interpretação se dá de acordo com a Tabela 6, onde o conforto térmico para um ambiente fictício seria o mais próximo aos 20°C (MAYER; HÖPPE, 1987), ou a temperatura entre 18°C e 23°C (MATZARAKIS et al., 1999).

Tabela 6 - Sensação térmica e nível de estresse térmico para o índice PET

PET (°C)	Sensação térmica	Nível de estresse térmico
< 4	muito frio	estresse extremo ao frio
4 - 8	frio	estresse forte ao frio
8 - 13	pouco frio	estresse moderado ao frio
13 - 18	leve frio	estresse leve ao frio
18 - 23	confortável	sem estresse térmico
23 - 29	leve calor	estresse leve ao calor
29 - 35	pouco calor	estresse moderado ao calor
35 - 41	calor	estresse forte ao calor
> 41	muito calor	estresse extremo ao calor

Fonte: Adaptado de Mayer et al. (1999)

Analisando os valores calculados do índice PET (Quadro 15), e comparando com a Tabela 6, verifica-se que 7 das 31 medições se encontram na faixa de conforto térmico, ou seja, entre 18°C e 23°C. Contudo, em 21 medições a sensação térmica pode ser considerada leve ou pouco calor (23°C a 35°C), correspondente a estresse leve e moderado ao calor, respectivamente.

Convém também ressaltar, que em 3 medições o índice PET esteve entre 13°C e 18°C, o que equivale à sensação térmica de leve frio, o que pode ser considerada uma condição condizente com a estação em que foram efetuadas as medições, que foi o inverno.

4.4.3 Comparação entre os Índices de Conforto Térmico

O ambiente em que foram realizadas as medições é bastante peculiar, pois não possui fechamento lateral, apenas cobertura, como foi visto anteriormente, o que deixa em dúvida a sua caracterização como ambiente interno. Ao mesmo tempo, a cobertura protege os trabalhadores da ação direta do sol, justamente na hora mais quente do horário de trabalho, o que diminui a influência desse que é fator primordial dos ambientes externos. Assim sendo, a análise pelos métodos PMV e PET será feita para verificar ambas as condições.

As variáveis de ambos os índices são basicamente as mesmas, o que foi um fator facilitador para o cálculo. A escala de sensação térmica dos índices também é semelhante, porém como a unidade de medida do índice PET é em °C (graus Cécius), é de mais fácil compreensão mesmo por pessoas leigas, em relação ao PMV (ALI-TOUDERT; MAYER, 2006).

Para melhor entendimento segue a Tabela 7, que faz a adaptação da interpretação da escala de sensação térmica do PMV para os mesmos intervalos do índice PET, para que a comparação entre os índices possa ser feita.

Tabela 7 - Sensação térmica e nível de estresse térmico para os índices PMV e PET

PMV	PET (°C)	Sensação térmica	Nível de estresse térmico
<-3,5	< 4	muito frio	estresse extremo ao frio
-2,5 a -3,5	4 a 8	frio	estresse forte ao frio
-1,5 a -2,5	8 a 13	pouco frio	estresse moderado ao frio
-0,5 a -1,5	13 a 18	leve frio	estresse leve ao frio
-0,5 a +0,5	18 a 23	confortável	sem estresse térmico
+0,5 a +1,5	23 a 29	leve calor	estresse leve ao calor
+1,5 a +2,5	29 a 35	pouco calor	estresse moderado ao calor
+2,5 a +3,5	35 a 41	calor	estresse forte ao calor
>+3,5	> 41	muito calor	estresse extremo ao calor

Fonte: Adaptado de Mayer et al. (1999)

Como o método do PMV pôde ser aplicado em apenas 8 medições, foi feita a comparação do índice PET para as mesmas medições, que estão apresentadas no Quadro 15.

Quadro 15 - Comparação da sensação do PET, PMV e sensação real dos trabalhadores

Medição	Data	Horário	PET (°C)	Sensação Térmica PET	PMV Médio	Sensação Térmica PMV	Sens. Média	Sensação Térmica real
3	30/08/2017	17h20 -17h40	27,60	Leve calor	1,94	Pouco calor	0,50	Confortável
8	05/09/2017	9h30 - 9h50	24,70	Leve calor	1,29	Leve calor	1,33	Leve calor
13	11/09/2017	17h20 -17h40	28,90	Leve calor	2,12	Pouco calor	1,67	Pouco calor
14	12/09/2017	9h30 - 9h50	25,50	Leve calor	1,77	Pouco calor	2,00	Pouco calor
18	13/09/2017	9h30 - 9h50	26,10	Leve calor	0,74	Leve calor	1,33	Leve calor
28	18/09/2017	14h10 -14h30	29,70	Pouco calor	2,28	Pouco calor	1,67	Pouco calor
30	21/09/2017	9h30 - 9h50	17,70	Leve frio	0,18	Confortável	1,33	Leve calor
31	21/09/2017	11h30 -11h50	25,10	Leve calor	1,54	Pouco calor	1,33	Leve calor

Fonte: autoria própria

Pode-se observar que em apenas 3 medições, as sensações térmicas coincidem para ambos os índices, diferindo nas demais medições. Comparando-se a sensação térmica relativa ao PMV com a sensação real dos trabalhadores, 5 medições coincidem. Já na comparação da sensação térmica relativa ao índice PET com a sensação real dos trabalhadores, em 4 medições as sensações coincidem.

De acordo com Mayer e Höpfe (1987), apesar de ambos os métodos serem baseados no balanço térmico, a diferença entre os índices é que o PMV resulta em um voto médio representativo para um grande grupo de pessoas, enquanto que o

PET resulta em valores que as pessoas podem comparar às próprias experiências. Mas para fins científicos, na maioria dos casos, o cálculo de apenas um dos índices é suficiente para a caracterização do estresse térmico.

Infelizmente, o número de medições nas quais é possível realizar a comparação da sensação térmica entre os índices do PMV e PET, e comparar a sensação térmica real dos trabalhadores com a sensação de cada índice é muito pequeno. Por consequência, são insuficientes para se inferir sobre uma possível relação entre a sensação real e a obtida por meio dos índices, e a semelhança ou diferença entre as sensações relativas ao PMV e PET.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado, já que as condições térmicas em que os trabalhadores de uma fábrica de pré-moldados em concreto foram mensuradas e analisadas.

Com relação aos objetivos específicos, pode-se dizer que também foram alcançados, na medida que as variáveis ambientais foram mensuradas através dos equipamentos.

Com as variáveis ambientais e pessoais obtidas, foi verificada a possível existência do estresse térmico, utilizando-se para isso a escala HSSI, para avaliação preliminar, e o cálculo dos índices IBUTG e PHS, e após análises, concluiu-se que não há estresse térmico por calor nessa fábrica de estruturas pré-moldadas em concreto.

Não havendo sido caracterizada a condição de estresse térmico foi analisada, portanto, a condição de conforto térmico no ambiente utilizando o PMV e o PET. Após a análise do índice PMV, notou-se que o ambiente era termicamente desconfortável em quase todas as medições em que foi possível aplicar esse método.

O ambiente não apresentou adequabilidade térmica em relação à atividade dos trabalhadores, já que foi demonstrado que há desconforto térmico na maior parte das medições.

O índice de estresse térmico IBUTG foi comparado com a NR 15 e a norma ISO 7243 (1989), não excedendo o limite de ambas. Já o índice de estresse térmico PHS, foi comparada com a norma ISO 7933 (2004), o qual também não teve seus limites ultrapassados, caracterizando, portanto a não existência do estresse térmico no ambiente de trabalho.

O índice de conforto térmico PMV foi comparado à norma ISO 7730 (2005), demonstrando que há existência de desconforto térmico para a maior parte das medições nas quais foi possível aplicar o método do PMV.

Já o índice PET foi aplicado em todas as medições, e na maior parte pôde ser verificado a existência de estresse leve ou moderado ao calor, confirmando que houve desconforto térmico na maioria das medições realizadas.

Na comparação entre os índices PMV e PET, não foi possível concluir se os índices se assemelham no que diz respeito à sensação térmica, nem se há relação entre a sensação térmica relatada pelos trabalhadores e a sensação térmica dos índices. Essa impossibilidade sobreveio devido ao número reduzido de medições para proceder a comparação.

5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Algumas limitações deste estudo devem ser consideradas:

Quanto a amostra da pesquisa - o número da amostra pode configurar uma limitação deste estudo. Seria desejável obter um número mais significativo de fábricas de estruturas pré-moldadas e de outros artefatos de concreto. Quanto a amostra de trabalhadores, é um número considerado pequeno diante de um ramo da indústria; se fosse ampliado o número de fábricas, conseqüentemente o número de trabalhadores também seria maior.

Quanto a coleta de dados - a coleta dos dados ambientais foi realizada em apenas um período, durante o inverno, e poderia ter sido realizada em todas as estações do ano para verificação de possíveis variações da percepção térmica dos trabalhadores e dos índices conforme as variações sazonais. Também, a variável Taxa Metabólica poderia ser determinada mais precisamente.

Quanto a aplicação do método PMV - o método utilizado do PMV, tem algumas condições para sua aplicação em relação às variáveis. Devido às características construtivas como a falta de fechamento lateral, pé direito alto, etc, o método só pôde ser aplicado em oito medições. Desta forma, para conclusões mais respaldadas sobre o conforto térmico nesse ramo industrial, seria preferível que houvessem um número maior de medições para poder se inferir com maior propriedade.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na realização desta pesquisa, foram identificadas outras oportunidades na área de estudo, que podem originar novos conhecimentos à comunidade científica futuramente:

- Pode-se ampliar o campo de aplicação da pesquisa para outras fábricas de pré-moldados em concreto como lajes, artefatos e blocos em concreto;
- Realizar medições na demais estações do ano;
- Utilizar um analisador metabólico para determinar a taxa metabólica real da atividade, ou utilizar outro método científico para estimar a taxa metabólica, para que o cálculo dos índices seja mais preciso.

REFERÊNCIAS

- ACCUWEATHER. [Temperaturas máximas e médias do mês de setembro de 2017]. 2018. Disponível em: <<https://www.accuweather.com/pt/br/pontagrossa/34736/month/34736?monyr=9/01/2017>>. Acessado em: 15 abr. 2018.
- ALFANO, F.R.A.; et al. WBGT Index Revisited After 60 Years of Use. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 58, p. 955-970, 2014.
- ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, v. 41, n. 1, p. 94-108, 2006.
- ARCURY, T.A.; et al. Heat illness among North Carolina latino farmworkers. **J Occup Environ Med**, v. 57, n. 12, p. 1299-1304, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO - ABCIC. Anuário ABCIC 2015. **Publicações**. 2015. Disponível em: <http://www.abcic.org.br/anuario_2015/ANUARIO_ABCIC_2015_ALTA.pdf> Acessado em: 12 dez. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9063**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.
- BALTAZAR, S. New bioclimatic maps of Lisbon. Spatial modelling of physiological equivalent temperature. **Finisterra**, v. 98, p. 81-94, 2014.
- BETHEL, J.W.; HARGER, R. Heat-related Illness among Oregon farmworkers. **Int J Environ Res Public Health**, v. 11, p. 9273-9285, 2014.
- BITENCOURT, D.P.; RUAS, A.C.; MAIA, P.A. Análise da contribuição das variáveis meteorológicas no estresse térmico associada à morte de cortadores de cana-de-açúcar. **Cad. Saúde Pública**, v. 28, n. 1, p. 65-74, 2012.

BRODAY, E.E.; XAVIER, A.A. de P.; OLIVEIRA, R. de. Comparative analysis of methods for determining the metabolic rate in order to provide a balance between man and the environment. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 44, p. 570-580, jul. 2014.

CHAN, A.P.C.; et al. A field study of the effectiveness and practicality of a novel hybrid personal cooling vest worn during rest in Hong Kong construction industry. **Journal of Thermal Biology**, v. 70, p. 21-27, jul. 2017.

CHOWDHURY, S.; HAMADA, Y.; AHMED, K.S. Prediction and comparison of monthly indoor heat stress (WBGT and PHS) for RMG production spaces in Dhaka, Bangladesh. **Sustainable Cities and Society**, v. 29, p. 41-57, 2017.

DANESHVAR, M.R.M.; BAGHERZADEH, A.; TAVOUSHI, T. Assessment of Bioclimatic Comfort Conditions based on Physiologically Equivalent Temperature (PET) using the RayMan Model in Iran. **Central European Journal of Geosciences**, V 5, n. 1, p. 53-60, 2013.

DANG, B.N.; DOWELL, C.H. Factors associated with heat strain among workers at an aluminum smelter in Texas. **J Occup Environ Med**, v. 56, n. 3, p. 313-318, 2014.

DEHGHAN, H.; et al. Development and Validation of a Questionnaire for Preliminary Assessment of Heat Stress at Workplace. **Journal of Research in Health Sciences**, v. 15, n. 3, p. 175-181, 2015.

EL DEBS, M. K. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. São Carlos: EESC - USP, 2000.

ELLIOT, K.S. Advances in precast concrete in mixed construction. **Structural Concrete**, Berlim, n. 3, v. 3, p. 145-154, 2002.

EPSTEIN, Y., MORAN, D.S. Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. **Industrial Health**, n. 44, p. 388-398, 2006.

FANGER, O. P. Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FORSTHOFF, A.; MEHNERT, P.; NEFFGEN, H. Comparison of laboratory studies with predictions of the required sweat rate index (ISO 7933) for climates with moderate to high thermal radiation. **Applied Ergonomics**, n. 31, p. 299-303, 2001.

FREITAS, C.R., GRIGORIEVA, E. A. A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. **International Journal of Biometereology**, n. 59, p. 109-120, 2015.

GARCÍA-TRABANINO, R.; et al. Heat stress, dehydration, and kidney function in sugar cane cutters in El Salvador - A cross-shift study of workers at risk of Mesoamerican nephropathy. **Environmental Research**, v. 142, p. 746-755, jul. 2015.

GÓMEZ, F.; et al. Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalent temperature (PET). **Ecological Engineering**, v. 57, p. 27-39, 2013.

GOOGLE MAPS. [Instalações da fábrica de pré-moldados]. 2018. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/place/Ponta+Grossa+-+PR/@-25.1789256,-50.0903109,354m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x94e80310b3745575:0xa34ef158104d0dd8!8m2!3d-25.0993621!4d-50.1584514>>. Acessado em: 15 abr. 2018.

HAMEREZAE, M.; et al. Assessment of Semen Quality among Workers Exposed to Heat Stress: A Cross-Sectional Study in a Steel Industry. **Safety and Health at Work**, v. xxx, p. 1-4, 2017.

HASAN, M.H.; ALSALEEM, F.; RAFAIE, M. Sensitivity study for the PMV thermal comfort model and the use of wearable devices biometric data for metabolic rate estimation. **Building and Environment**, v. 110, p. 173-183, out. 2016.

HERATH, C.; et al. Kidney Diseases in Agricultural Communities: A Case Against Heat-Stress Nephropathy. **Kidney International Reports**, v., out. 2017.

HOLM, C.A.; et al. Evaluation of physiological strain in hot work areas using thermal imagery. **International Journal of Biometereology**, v. 43, p. 71-75, 1999.

HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **Journal of Thermal Biology**, v. 61, p. 8-15, jul. 2016.

IBGE. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas**. Versão 2.0. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv36932.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726: Ergonomics of the thermal environments** - Instruments for measuring physical quantities. Genebra, 2005.

_____. **ISO 7243: Hot environments** - estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT - index (wet bulb globe temperature). Genebra, 1989.

_____. **ISO 7730: Ergonomics of the thermal environments** - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebra, 2005.

_____. **ISO 7933: Hot environments** - Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain. Genebra, 2004.

_____. **ISO 8996: Ergonomics of the thermal environments** - Determination of metabolic rate. Genebra, 2004.

JAILLON, L; POON,C. S; CHIANG, S.H. Quantifying the waste reduction potencial of using prefabrication in building construction in Hong Kong. **Waste manegment**, n. 29 p. 309-320, 2009.

KRISHNAMURTHY, M.; et al. Occupational Heat Stress Impacts on Health and Productivity in a Steel Industry in Southern India. **Safety and Health at Work**, V. 8, P. 99-104, 2017.

LAI, P.C.; et al. Spatial analytical methods for deriving a historical map of physiological equivalent temperature of Hong Kong. **Building and Environment**, v. 99, p. 22-28, 2016.

LAWS, R.L.; et al. Biomarkers of Kidney Injury Among Nicaraguan Sugarcane Workers. **American Journal of Kidney Diseases**, v. 67, n. 2, p. 209-217, out. 2015.

LI, X.; et al. Evaluating the impacts of high-temperature outdoor working environments on construction labor productivity in China: A case study of rebar workers. **Building and Environment**, v. 95, p. 42-52, 2016.

LUNDGREN, K.; KUKLANE, K.; VENUGOPAL, V. Occupational heat stress and associated productivity loss estimation using the PHS model (ISO 7933): a case study from workplaces in Chennai, India. **Global Health Action**, v. 7, n. 1, 25283, 2014.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H; IZIOMON, M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76-84, 1999.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 4, p. 323-334, 2007.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 2, P. 131-139, 2010.

MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal Comfort of Man in Different Urban Environments. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 38, p. 43-49, 1987.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO - NR-15 - Atividades e operações insalubres - Anexo 3 - Limites de tolerância para exposição ao calor. 2014.

MIRABELLI, M.C.; et al. Symptoms of heat illness among latino farmworkers in North Carolina. **Am J Prev Med**, v. 39,n. 5, p. 468-471, 2010.

MORGADO, M.; TALAIA, M.; TEIXEIRA, L. A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 60, p. 3-13, 2017.

NERBASS, F.B.; et al. Occupational Heat Stress and Kidney Health: From Farms to Factories. **Kidney International Reports**, v. 2, p. 998-1008, ago. 2017.

OLIVEIRA, L.A. Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios. 2002. 191f. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PARSONS, K. C. **Human Thermal Environments**: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2002.

PERAZA S.; et al. Decreased kidney function among agricultural workers in El Salvador. **Am J Kidney Dis**, v. 59, n. 4, p. 531-540, 2012.

PÉREZ-ALONSO, J.; et al. Approach to the evaluation of the thermal work environment in the greenhouse-construction industry of SE Spain. **Building and Environment**, n. 46, p. 1725-1734, ago. 2011.

PETROSKI, D. Inverno em PG já é o mais quente dos últimos 20 anos. A Rede, Ponta Grossa, 20 set. 2017. Disponível em: < <http://arede.info/ponta-grossa/173348/inverno-em-pg-ja-e-o-mais-quente-dos-ultimos-20-anos>>

RAHMAN, J.; RAHMAN, A.K.M.F. Environmental Heat Stress Among Young Working Women: A Pilot Study. **Annals of Global Health**, v. 82, n. s, p. 760-767, out. 2016.

RAINES, N.; et al. Risks factors for reduced glomerular filtration rate in a Nicaraguan community affected by Mesoamerican Nephropathy. **MEDICC Review**, v. 16, n. 2, p. 16-22, 2014.

RONCAL-JIMENEZ, C.; et al. Heat Stress Nephropathy From Exercise-Induced Uric Acid Crystalluria: A Perspective on Mesoamerican Nephropathy. **American Journal of Kidney Diseases**, v. 67, n. 1, p. 20-30, out. 2016.

SCHMELTZ, M.T.; GAMBLE, J.L. Risk characterization of hospitalizations for mental illness and/or behavioral disorders with concurrent heat-related illness. **PLOS ONE**, v. 12, n. 10, p. 1-15, out. 2017.

SINGH, A.; et al. Heat and PAHs emissions in indoor kitchen air and its impact on kidney dysfunctions among kitchen workers in Lucknow, North India. **PLoS ONE**, v. 11, n. 2, 2016.

SPECTOR, J.T.; KRENZ, J.; BLANK, K.N. Risk factors for heat-related illness in Washington crop workers. **J Agromedicine**, v. 20, n. 3, p. 349-359, 2015.

STRAATMAN, R; VAMBERSKY, J.N.J.A. Precast construction and environment. **Structural Concrete**, v. 2, n. 2, p. 93 - 98, jun. 2001.

TAWATSUPA, B.; et al. Association between Heat Stress and Occupational Injury among Thai workers: findings of the Thai Cohort Study. **Industrial Health**, v. 51, p. 34-46, 2013.

THACH, T.Q.; et al. Assessing spatial associations between thermal stress and mortality in Hong Kong: A small-area ecological study. **Science of Total Environment**, v. 502, p. 666-672, jan. 2015.

THIEN MAC, V.V.; et al. Heat exposure in Central Florida ferney workers: results of a feasibility study. **J Agromedicine**, v. 22, n. 2, p. 89-99, 2017.

TRABANINO, R.G.; et al. Heat stress, dehydration, and Kidney function in sugarcane cutters in El Salvador - A cross-shift study of workers at risk Mesoamerican nephropathy. **Environmental Research**, v. 142, p. 746-755, 2015.

TRAN, K.V.; et al. A cross-sectional, randomized cluster sample survey of household vulnerability to extreme heat among slum dwellers in Ahmedabad, India. **Int J Environ Res Public Health**, v. 10, p. 2515-2543, 2013.

VASCONCELLOS, A. C. **O Concreto no Brasil: Pré-fabricação, Monumentos, Fundações**. Volume III. Studio Nobel. São Paulo, 2000.

VENUGOPAL, V.; et al. The Social Implications of Occupational Heat Stress on Migrant Workers Engaged in Public Construction: A Case Study from Southern India. **The International Journal of Constructed Environment**, v. 7, n. 2, p. 25-35, 2016.

WESSELING C.; et al. Heat stress, hydration and uric acid: a cross-sectional study in workers of three occupations in a hotspot of Mesoamerican nephropathy in Nicaragua. **BMJ Open**, v. 6, p. 1-11, 2016.

WIJKSTRÖM, J.; et al. Renal morphology, clinical findings, and progression rate in Mesoamerican Nephropathy. **Am J Kidney Dis**, v. 69, n. 5, p. 626-636, 2017.

WONG, D.P.; et al. Comparing the physiological and perceptual responses of construction workers (bar benders and bar fixers) in a hot environment. *Applied Ergonomics*, v. 46, p. 1705-1711, jun. 2014.

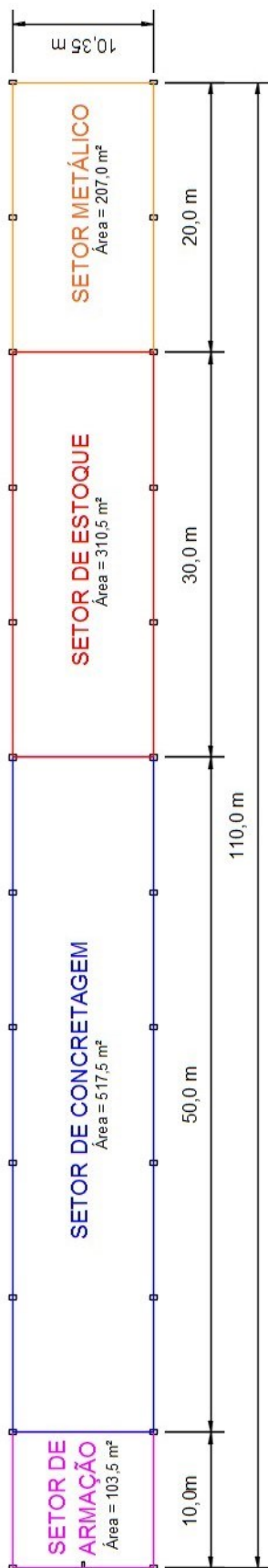
XAVIER, A. A. de P. **Predição de Conforto Térmico em ambientes internos com atividades sedentárias - teoria física aliada a estudos de campo**. 2000. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

XIANG, J.; HANSEN, A.; PISANIELLO, D.; BI, P. Workers' perceptions of climate change related extreme heat exposure in South Australia: a corss-sectional survey. **BMC Public Health**, v. 16, p. 549, 2016.

YI, W.; CHAN, A.P.C. Which Environmental Indicator Is Better Able to Predict the Effects of Heat Stress on Construction Workers? **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n.4, jul 2015.

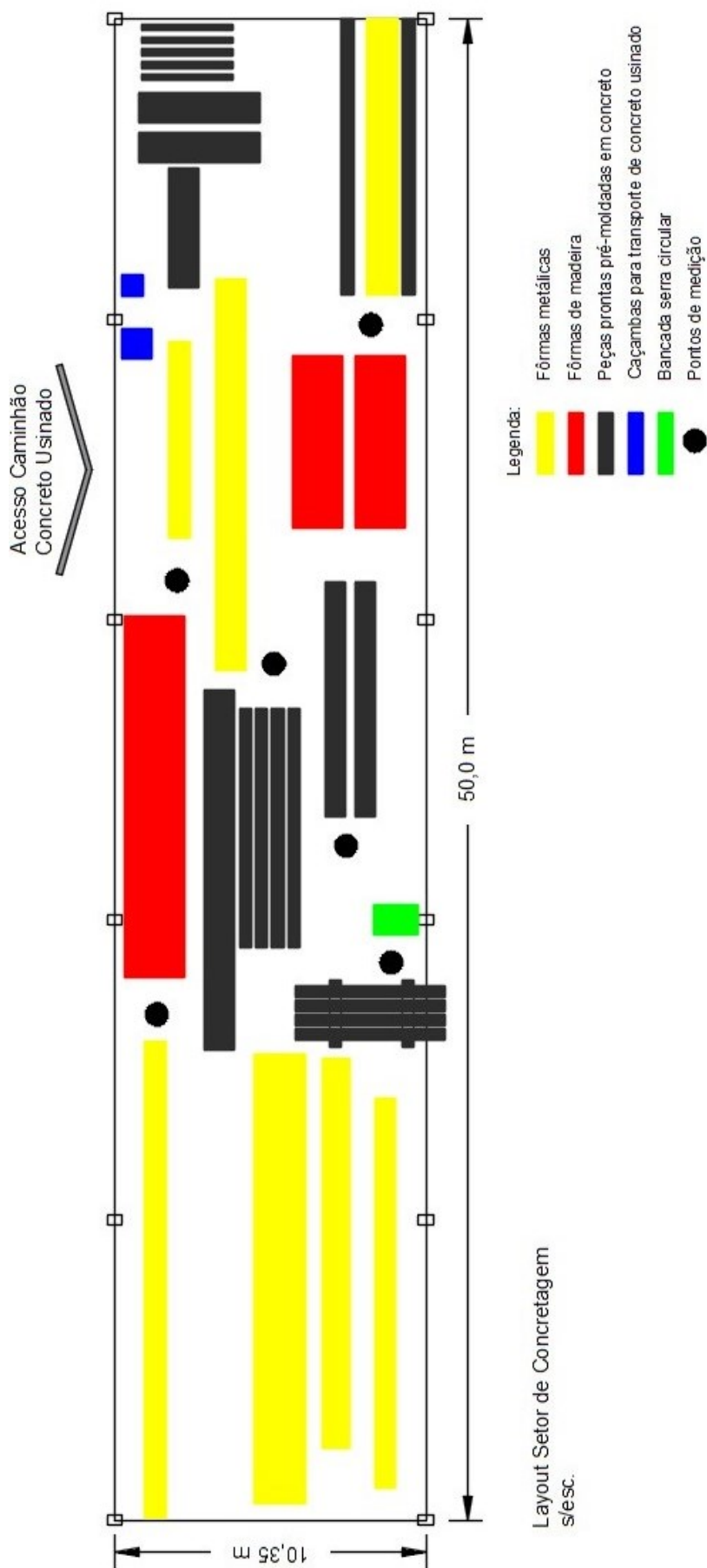
Yi, W.; et al. Development of an early-warning system for site work in hot and humid environments: A case study. **Automation in Construction**, v. 62, p. 101-113, 2016.

APÊNDICE A - Setorização da fábrica



Setores da Fábrica de Pré-moldados em Concreto s/esc.

APÊNDICE B - Layout do Setor de Concretagem



APÊNDICE C - Questionário Preliminar de Estresse Térmico - HSSI

Questionário Estresse térmico (HSSI) (adaptado de DEGHAN et al., 2015)

Q1 - Como você sente a temperatura do ar do seu local de trabalho?

- Muito fria (-3)
- Fria (-2)
- Levemente fria (-1)
- Normal (0)
- Levemente quente (1)
- Quente (2)
- Muito quente (3)

Q2 - Como você sente o nível de umidade do seu local de trabalho?

- Seco (sensação de boca e garganta seca) (-2)
- Adequado e desejável (0)
- Pele molhada (1)
- Roupas grudando na pele (2)
- Pele totalmente molhada (3)
- Perda de suor pela superfície da pele (4)

Q3 - Como você sente a temperatura das superfícies em contato com suas mãos?

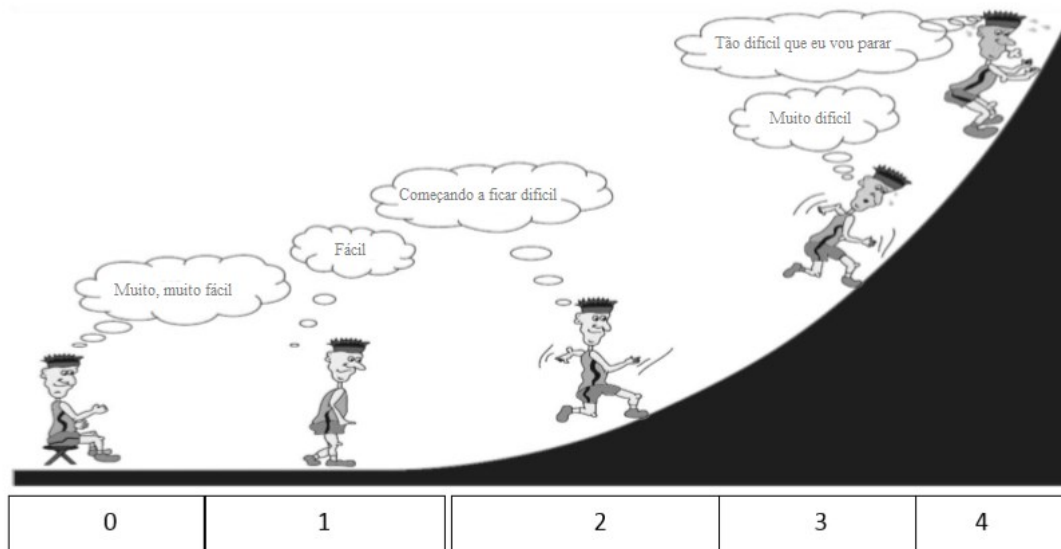
- Eu sinto muito frio (-3)
- Eu sinto frio (-2)
- Eu sinto fresco (-1)
- Eu não sinto nem calor nem frio (0)
- Eu sinto quente (1)
- Seu calor não pode ser tolerável (2)
- Se minha pele entrar em contato, irei me queimar (3)

Q4 - Como você sente o fluxo de ar no seu local de trabalho?

- Existência de circulação de ar frio (-3)
- Existência de corrente de ar frio (-2)
- Existência de leve fluxo de ar em temperatura agradável (-1)
- Sensação de estabilidade do leve fluxo de ar ou ar quente (1)
- Fluxo moderado de ar quente (2)

() Corrente de ar quente extremo (3)

Q5 - Enquanto você está trabalhando, a intensidade da atividade física que você faz é como qual das seguintes condições?



Q6 - Qual a quantidade de suor durante todo seu trabalho?

- () Eu não sudo (0)
- () Eu sudo nas axilas (1)
- () Eu sudo no peito e costas (2)
- () O suor é tanto que a roupa de baixo (roupas íntimas) fica molhada (3)
- () O suor é tanto que sinto no meu rosto (4)
- () O suor é tanto que sinto por todo corpo (5)

Q7 - Quanto cansaço você sente no trabalho?

- () Não fico cansado de jeito nenhum (0)
- () Me sinto um pouco cansado (1)
- () Me sinto cansado (2)
- () Me sinto exausto (3)
- () Me sinto tão exausto que preciso de um descanso (4)

Q8 - Qual é a intensidade da sua sede quando você está no trabalho?

- () Eu não tenho sede (0)
- () Eu tenho um pouco de sede (1)
- () Eu tenho sede (2)

) Eu tenho muita sede (3)

) Eu tenho tanta sede que minha boca e garganta ficam secos e a saliva não é suficiente para mantê-los molhados (4)

Q9 - Qual a intensidade do incômodo que você sente por causa do calor?

) Não fico incomodado (0)

) Fico um pouco incomodado (1)

) Fico incomodado (2)

) Fico muito incomodado (3)

) Estou tão incomodado que quero sair do meu posto de trabalho (4)

Q10 - Como você sente o tamanho do espaço de trabalho?

) Espaçoso (0)

) Espaço apropriado (1)

) Limitado, espaço apertado (2)

Q11 - Como é o sistema de ventilação no seu local de trabalho?

) Muita ventilação (-1)

) Ventilação adequada, não precisa ser ventilado (0)

) Ventilação inadequada (1)

) Apesar de não ter ar condicionado, não há ventilação (2)

Q12 - Em qual dos ambientes abaixo você está fazendo suas atividades agora?

) Ao ar livre (0)

) Ambiente interno (2)

) Ambos (1)

Q13 - Que tipo de roupa você usa enquanto trabalha?

) Camiseta e calça jeans (0)

) Roupa normal de trabalho (roupas íntimas + camisa e calça) (1)

) Traje completo (roupas íntimas + macacão de trabalho) (2)

) Roupas pesadas ou de lã ou roupa de trabalho de inverno (macacão de tecido duplo) (3)

) Roupas impermeáveis (vestuário de proteção química, couro) (5)

Traje completamente fechado com capuz e luvas (7)

Q14 - Que cor é sua roupa de trabalho?

Cores claras (por exemplo: branco, creme, amarelo, azul claro, laranja, etc)
(0)

Cores escuras (por exemplo: preto, marrom escuro, vermelho escuro e azul escuro) (1)

Q15 - De que material é sua roupa de trabalho?

Algodão (1)

Algodão e sintético (2)

À prova de fogo e impermeável (3)

Q16 - Durante o trabalho, qual equipamento você usa dentre os seguintes equipamentos de proteção individual (EPI)?

Aparelho respiratório autônomo (2)

Máscara facial inteira (1.5)

Máscara semi-facial (1)

Botas impermeáveis (1)

Avental de couro/raspa (1)

Máscara anti poeira (0.5)

Protetor facial (0.5)

Luvas (não de algodão) (0.5)

Capacete (0.5)

Protetor auricular tipo concha (0.5)

Q17 - Qual sua postura mais frequente quando você está trabalhando?

Geralmente sentado (1)

Geralmente em pé com pouco movimento (2)

Em pé com bastante movimento (3)

Geralmente andando (4)

Q18 - Qual dos seguintes sintomas você tem enquanto está trabalhando?

Dor de cabeça leve (0.5)

Tontura (0.5)

- () Fraqueza (0.5)
- () Dor muscular (0.5)
- () Pele avermelhada (0.5)
- () Baixa concentração (0.5)
- () Nenhum (0)

Cálculo da Pontuação Total

N° da questão	Pontuação inicial	Coefficiente de efeito	Pontuação final
Q1		0.73	
Q2		0.67	
Q3		0.65	
Q4		0.61	
Q5		0.63	
Q6		0.67	
Q7		0.57	
Q8		0.84	
Q9		0.81	
Q10		0.28	
Q11		0.68	
Q12		0.31	
Q13		0.36	
Q14		0.29	
Q15		0.33	
Q16		0.50	
Q17		0.37	
Q18		0.57	
Pontuação Total			

Avaliação do resultado:

1 - A pontuação total que é menor que 13,5 indica que a pessoa não está exposta ou está exposta à um baixo nível de calor (Zona Verde ou nível seguro).

2 - A pontuação total entre 13,6 e 18 indica que existe risco potencial de doenças devido ao calor e é necessária uma avaliação mais precisa do estresse térmico (Zona Amarela ou nível de alerta).

3 - A pontuação total maior que 18 indica que doenças devido ao calor são muito prováveis e medidas de controle apropriadas devem ser tomadas o mais rapidamente possível para reduzir o nível de calor (Zona Vermelha ou nível de perigo).

APÊNDICE D - Questionário de Pesquisa da Variável Isolamento da Vestimenta

AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO
(adaptado de ISO 9920/2007)

Idade: _____ Altura: _____ Peso: _____ Data: ___/___/___

Marque um X ao lado de cada peça de roupa que você estiver utilizando nesse momento:

<input type="checkbox"/>	Sapato/tênis	<input type="checkbox"/>	Calça de uniforme
<input type="checkbox"/>	Botina	<input type="checkbox"/>	Calça de tecido fino
<input type="checkbox"/>	Meia soquete	<input type="checkbox"/>	Calça jeans
<input type="checkbox"/>	Meia $\frac{3}{4}$ até o joelho	<input type="checkbox"/>	Calça de moletom
<input type="checkbox"/>	Cueca	<input type="checkbox"/>	Bermuda
<input type="checkbox"/>	Camiseta manga curta uniforme	<input type="checkbox"/>	Macacão
<input type="checkbox"/>	Camiseta manga longa uniforme	<input type="checkbox"/>	Macacão por cima da roupa
<input type="checkbox"/>	Camiseta regata por baixo	<input type="checkbox"/>	Colete sem mangas fino
<input type="checkbox"/>	Camiseta manga curta por baixo	<input type="checkbox"/>	Colete sem mangas grosso
<input type="checkbox"/>	Camisã manga curta	<input type="checkbox"/>	Suéter manga longa fino
<input type="checkbox"/>	Camisã manga longa	<input type="checkbox"/>	Suéter manga longa grosso
<input type="checkbox"/>	Camisa manga curta	<input type="checkbox"/>	Jaquetão/japona leve
<input type="checkbox"/>	Camisa manga longa	<input type="checkbox"/>	Jaquetão/japona grosso
<input type="checkbox"/>	Blusa gola redonda	<input type="checkbox"/>	Outros:
<input type="checkbox"/>	Blusa de frio uniforme	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Blusa de moletom manga longa	<input type="checkbox"/>	

Houve alguma mudança de roupa entre um horário e outro? Qual?

APÊNDICE E - Questionário de Sensação e Preferência Térmica

