

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

**ANDRÉ LUIZ SOARES**

**ANÁLISE DO EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR NA  
PRODUTIVIDADE DE OPERADORES EM UMA FUNDIÇÃO**

**DISSERTAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2014**

**ANDRÉ LUIZ SOARES**

**ANÁLISE DO EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR NA  
PRODUTIVIDADE DE OPERADORES EM UMA FUNDIÇÃO**

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

Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier

Co-orientador: Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski

**PONTA GROSSA**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa  
n.05/14

S676 Soares, André Luiz

Análise do efeito do estresse térmico por calor na produtividade de  
operadores em uma fundição. / André Luiz Soares. -- Ponta Grossa, 2014.  
115 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier  
Co-orientador: Prof. Dr. Ariel Orlei Michalowski

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná. Ponta Grossa, 2014.

1. Calor - Efeito fisiológico. 2. Produtividade. 3. Fundição. 4. Normas  
técnicas. I. Xavier, Antonio Augusto de Paula. II. Michalowski, Ariel Orlei. III.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 670.42



**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 235/2014

**ANÁLISE DO EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR NA PRODUTIVIDADE DE  
OPERADORES EM UMA FUNDIÇÃO**

por

**André Luiz Soares**

Esta dissertação foi apresentada às **14 horas de 31 de janeiro de 2014** como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Carlos Antonio Pizo  
(UEM)

Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski  
(UTFPR)

Prof. Dr. Maria Helene Giovanetti Canteri  
(UTFPR)

Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier  
*Orientador*

Prof. Dr. Aldo Braghini Junior  
Coordenador do PPGEP

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

Dedico este trabalho para toda minha família, especialmente a duas pessoas: minha mãe Amarilis da Graça Soares e em memória de meu avô Eurides Soares.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier, por ter sido um dos alicerces da minha carreira, desde a graduação em Engenharia à obtenção do título de Mestre em Engenharia para o futuro de toda minha carreira profissional.

Agradeço ao meu co-orientador Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski, por ter sido, além de um orientador, um amigo para as horas de decisão.

Agradeço ao Sr. Antonio Marcos Rodrigues, Sócio Gerente da empresa na qual este estudo foi realizado.

À Julia Cazini e Erika Davanzo, por terem auxiliado na análise da estrutura da organização analisada.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa, por ter proporcionado todo o conhecimento que adquiri ao longo destes 10 anos de estudos, e dentro da qual construí toda minha carreira acadêmica. Espero ansiosamente poder retribuir todo o conhecimento fornecido.

Aos membros de minha família, os quais estão e sempre estarão ao meu lado.

À minha mãe Amarilis da Graça Soares, para quem dedico o meu trabalho, e sem ela nada teria sentido.

Ao meu avô Eurides Soares, em memória.

Aos meus amigos: Cibele Aparecida de Jesus, Guilherme Dutra, Nicolas Machado, Valéria Moro Campese, Valéria Kaminski, Thaís Alves e Ana Caroline Dzulinski.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa e a conclusão de mais esta etapa em minha carreira acadêmica.

Viver no mundo sem tomar consciência do significado do mundo é como vagar por uma imensa biblioteca sem tocar os livros.  
(HALL, Manly Palmer, 1922)

## RESUMO

SOARES, André Luiz. **Análise do efeito do estresse térmico por calor na produtividade de operadores em uma fundição**. 2014. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

A Ergonomia busca em sua essência adaptar o trabalho ao homem, usando de diversas ferramentas para atingir este objetivo, entre elas a análise ambiental. As características do ambiente como ruído, temperatura e iluminação podem influenciar o trabalho de um funcionário, e por isso necessitam ser avaliadas para verificar o seu efeito sobre a saúde dos trabalhadores e sua capacidade de trabalho. O estresse térmico, causado por calor, é a condição onde tanto o sistema fisiológico quanto o sistema psicológico são afetados pela temperatura do ambiente em que se encontra, quando esta temperatura encontra-se em níveis extremos, e pode causar efeitos como: hipertermia, tontura, desidratação, dor de cabeça, entre outros. A proposta desta pesquisa foi avaliar o efeito quantitativo que os sintomas de estresse térmico podem causar na produtividade de operadores em uma fundição. Foram empregadas duas normalizações para analisar o estresse térmico: ISO 7243 (1989), a qual apresenta a metodologia do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG), e ISO 7933 (2004), a qual apresenta a Taxa Requerida de Suor. Após a coleta de dados ambientais e pessoais em seis pontos diferentes do layout da fábrica, realizou análises de correlação e regressão linear entre os índices de estresse térmico e a produtividade para verificar a relação entre as mesmas. Os resultados demonstraram que a produtividade é inversamente proporcional ao nível de estresse térmico, e que o índice que apresenta a melhor correlação com a produtividade é o IBUTG, com coeficiente de determinação 94,05%, o que significa que 94,05% da variação encontrada para o tempo de vazamento de peças, indicador de produtividade, é justificada pela variação do índice IBUTG, indicador de estresse térmico. Os demais índices apresentaram correlações de 82,16% e 78,26%, e a regressão linear proporcionou em todos os métodos determinar uma equação para prever a produtividade em função da variação do estresse térmico.

**Palavras-chave:** Estresse Térmico. Produtividade. Fundição. ISO 7243. ISO 7933.



## ABSTRACT

SOARES, André Luiz. **Analysis of the effect of heat stress on productivity of operators in a foundry**. 2014. 115 p. Dissertation (Master in Production Engineering) – Federal University of Technology. Ponta Grossa, 2014.

Ergonomics seeks in essence to adapt the work to the individual, using various tools to achieve this goal, including environmental analysis. The characteristics of the environment such as noise, temperature and lighting can influence the work of an employee, and therefore need to be evaluated to assess its effect on the health of workers and their working ability. The thermal stress caused by heat is the condition where both the physiological system as the psychological system are affected by the environment in which it is , when this temperature is in extreme levels, and can cause effects such as: hyperthermia, dizziness, dehydration, headache, among others. The purpose of this research was to evaluate the quantitative effect that the symptoms of heat stress can cause on the productivity of operators in a foundry. Two normalizations were used to analyze the thermal stress: ISO 7243 (1989), which presents the methodology of the Index Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) and ISO 7933 (2004), which presents the Required Sweat Rate method. After collecting environmental and personal data in six different points of the foundry, it was conducted analyzes of correlation and linear regression between the index of thermal stress and productivity to verify the relation between them. The results showed that productivity is inversely proportional to the level of heat stress, and that the index that has the best correlation with productivity is the WBGT, with a determination coefficient 94.05% , ie 94.05% of the variation found for the time of casting parts, productivity indicator is justified by the variation of WBGT index. The other indices had correlations of 82.16 % and 78.26%, and the linear regression provided in all methods determine an equation to predict productivity as a function of the variation of heat stress.

**Keywords:** Thermal stress. Productivity. Foundry. ISO 7243. ISO 7933.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Árvore de Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo.....	36
Figura 2 – <i>Confortímetro Sensus®</i> .....	37
Figura 3 – Visão geral da linha de produção da empresa .....	45
Figura 4 – Atividade de vazamento manual de peças.....	46
Figura 5 – Forno de fusão de ferro.....	47
Figura 6 – Localização dos pontos de execução de medições .....	48
Figura 7 – Árvore de IBUTG e <i>Confortímetro Sensus®</i> posicionados no ponto 1 de medição.....	49
Figura 8 – Formação de respingos (no interior da circunferência em vermelho) durante vazamento.....	51
Figura 9 – Tela principal de <i>interface</i> do software Analysis CST .....	52
Figura 10 – Fluxograma de pesquisa .....	54
Figura 11 – Tela de relatório do software Analysis CST .....	71
Figura 12 – Teste de hipótese para comparação da temperatura de globo nos pontos 1 e 4.....	77

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação anual entre a temperatura, mês e número de acidentes a cada mil trabalhadores.....	25
Gráfico 2 – Comparação anual entre a temperatura, número de acidentes a cada mil trabalhadores e a idade dos trabalhadores.....	26
Gráfico 3 – Normalidade – Temperatura de bulbo úmido.....	57
Gráfico 4 – Normalidade – Temperatura de globo negro .....	58
Gráfico 5 – Normalidade – Temperatura do ar .....	59
Gráfico 6 – Normalidade – Velocidade do ar.....	60
Gráfico 7 – Normalidade – Umidade relativa do ar.....	61
Gráfico 8 – Normalidade – Análise do valor espúrio da medição 1.4 .....	62
Gráfico 9 – Normalidade – Análise após retirada do valor espúrio.....	62
Gráfico 10 – Normalidade do índice IBUTG .....	65
Gráfico 11 – Normalidade do índice $W_{req}$ .....	72
Gráfico 12 – Normalidade do índice $SW_{req}$ .....	73
Gráfico 13 – Normalidade dos tempos de vazamento de peças .....	78
Gráfico 14 – Correlação entre produtividade e IBUTG.....	80
Gráfico 15 – Correlação entre produtividade e IBUTG.....	81
Gráfico 16 – Correlação entre produtividade e $W_{req}$ .....	84
Gráfico 17 – Correlação entre produtividade e $SW_{req}$ .....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de IBUTG segundo a ISO 7243, onde M é a taxa metabólica, expressa em W/m <sup>2</sup> .....	30
Tabela 2 - Limites de IBUTG de acordo com a intensidade de atividade .....	31
Tabela 3 - Valores de referência para os diferentes critérios de Stress térmico na ISO 7933 .....	35
Tabela 4 – Valores médios obtidos para as variáveis ambientais mensuradas .....	55
Tabela 5 – Cálculo do índice IBUTG para os Pontos 1 e 2 .....	64
Tabela 6 – Cálculo do índice IBUTG para os Pontos 3 e 4 .....	64
Tabela 7 – Cálculo do índice IBUTG para os Pontos 5 e 6 .....	64
Tabela 8 – Análise de estresse térmico segundo a NR 15 (2011) para o limite de IBUTG de 25 °C .....	67
Tabela 9 – Valores de referência para o índice IBUTG .....	68
Tabela 10 – Análise de estresse térmico segundo a ISO 7243 (1989) para o limite de IBUTG de 26 °C .....	69
Tabela 11 – Isolamento térmico do uniforme dos trabalhadores.....	70
Tabela 12 – Cálculo dos índices $W_{req}$ e $SW_{req}$ para os Pontos 1 e 2 .....	71
Tabela 13 – Cálculo dos índices $W_{req}$ e $SW_{req}$ para os Pontos 3 e 4 .....	71
Tabela 14 – Cálculo dos índices $W_{req}$ e $SW_{req}$ para os Pontos 5 e 6 .....	72
Tabela 15 – Análise de $W_{req}$ comparada ao valor de $W_{max}$ de 1,00 .....	74
Tabela 16 – Análise de $SW_{req}$ para um $SW_{max}$ (W/m <sup>2</sup> ) de 300,00.....	74
Tabela 17 – Tempos de vazamento de peças para os Pontos 1 e 2.....	77
Tabela 18 – Tempos de vazamento de peças para os Pontos 3 e 4.....	77
Tabela 19 – Tempos de vazamento de peças para os Pontos 5 e 6.....	78
Tabela 21 – Comparativo entre a produtividade real e calculada.....	82
Tabela 22 – Resumo da análise de $W_{req}$ e produtividade.....	83
Tabela 23 – Comparativo entre a produtividade real e calculada.....	85
Tabela 24 – Resumo da análise de $SW_{req}$ e produtividade .....	86
Tabela 25 – Comparativo entre a produtividade real e calculada.....	88
Tabela 26 – Coeficientes de determinação para os índices de estresse térmico e produtividade.....	89
Tabela 27 – Medição 1.1 .....	104
Tabela 28 – Medição 1.2 .....	104
Tabela 29 – Medição 1.3 .....	104
Tabela 30 – Medição 1.4 .....	105
Tabela 31 – Medição 1.5 .....	105
Tabela 32 – Medição 2.1 .....	105
Tabela 33 – Medição 2.2 .....	106
Tabela 34 – Medição 2.3 .....	106
Tabela 35 – Medição 2.4 .....	106

Tabela 36 – Medição 2.5 .....	107
Tabela 37 – Medição 3.1 .....	107
Tabela 38 – Medição 3.2 .....	107
Tabela 39 – Medição 3.3 .....	108
Tabela 40 – Medição 3.4 .....	108
Tabela 41 – Medição 3.5 .....	108
Tabela 42 – Medição 4.1 .....	109
Tabela 43 – Medição 4.2 .....	109
Tabela 44 – Medição 4.3 .....	109
Tabela 45 – Medição 4.4 .....	110
Tabela 46 – Medição 4.5 .....	110
Tabela 47 – Medição 5.1 .....	110
Tabela 48 – Medição 5.2 .....	111
Tabela 49 – Medição 5.3 .....	111
Tabela 50 – Medição 5.4 .....	111
Tabela 51 – Medição 5.5 .....	112
Tabela 52 – Medição 6.1 .....	112
Tabela 53 – Medição 6.2 .....	112
Tabela 54 – Medição 6.3 .....	113
Tabela 55 – Medição 6.4 .....	113
Tabela 56 – Medição 6.5 .....	113
Tabela 57 – Tempos de vazamento de peças.....	115

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 PROBLEMA .....	15
1.2 JUSTIFICATIVA .....	15
1.3 OBJETIVO GERAL .....	16
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	16
1.6 HIPÓTESE .....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1 ERGONOMIA .....	17
2.2 ESTRESSE TÉRMICO .....	19
2.2.1 Termorregulação .....	21
2.2.2 Efeitos fisiológicos decorrentes da exposição à altas temperaturas .....	23
2.3 ÍNDICES DE ANÁLISE DE ESTRESSE TÉRMICO .....	26
2.3.1 IBUTG: Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo .....	28
2.3.2 $SW_{req}$ : Taxa requerida de suor .....	31
2.3.3 Equipamentos de medição de estresse térmico .....	35
2.4 PRODUTIVIDADE .....	37
2.4.1 Introdução .....	37
2.4.2 Abordagens da Produtividade .....	40
2.4.3 Avaliação de produtividade .....	41
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>44</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	44
3.2 LOCAL DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA .....	44
3.3 COLETA DE DADOS .....	48
3.3.1 Coleta de dados ambientais .....	48
3.3.2 Coleta de dados de produtividade .....	50
3.4 ANÁLISE DE DADOS .....	51
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>54</b>
4.1 NORMALIDADE DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS .....	56
4.1.1 Análise de normalidade: temperatura de bulbo úmido .....	57
4.1.2 Análise de normalidade: temperatura de globo negro .....	58
4.1.3 Análise de normalidade: temperatura do ar .....	59
4.1.4 Análise de normalidade: velocidade do ar .....	59
4.1.5 Análise de normalidade: umidade relativa do ar .....	60
4.2 ANÁLISE DO ESTRESSE TÉRMICO .....	63
4.2.1 IBUTG: estresse térmico segundo a NR 15 (2011) e ISO 7243 (1989) .....	63
4.2.1.1 IBUTG segundo a NR 15 (2011) .....	65
4.2.1.2 IBUTG segundo a ISO 7243 (1989) .....	67

4.2.2 SW <sub>req</sub> : estresse térmico de acordo com a ISO 7933 (2004).....	69
4.3 ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE .....	75
4.4 ANÁLISE DO EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO NA PRODUTIVIDADE .....	79
4.4.1 IBUTG X Produtividade.....	79
4.4.2 W <sub>req</sub> X Produtividade.....	83
4.4.3 SW <sub>req</sub> X Produtividade .....	86
4.5 DISCUSSÃO.....	89
4.6 SUGESTÕES DE MELHORIA NO AMBIENTE TÉRMICO .....	91
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>93</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	94
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO A - Dados ambientais obtidos nas medições .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO B - Dados de produtividade obtidos nas medições .....</b>	<b>114</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A competitividade no mercado de consumo necessita que as organizações invistam continuamente para melhorar suas tecnologias e processos de fabricação. Porém, é um desafio identificar todas as variáveis que possam influenciar o desempenho de processos de fabricação. Em processos automatizados, como linhas de montagem de automóveis ou injeção de alumínio, a tarefa de identificar os *inputs* e *outputs* torna-se mais simplificada, por tratar-se em sua maioria de variáveis de processos de configuração rápida, o que facilita a avaliação da produtividade e melhoria contínua.

Um dos grandes desafios no momento refere-se a identificar as variáveis que venham a influenciar a produtividade. Shikdar e Sawaqed (2003) relataram algumas, como por exemplo: projeto do local de trabalho, postos de trabalho mal estruturados, incompatibilidade entre as habilidades dos trabalhadores e exigências do trabalho, ausência de treinamentos eficientes, meio ambiente adverso, design pobre do sistema homem-máquina e programas de gestão inadequados. Dentre as condições adversas que um ambiente pode oferecer ao trabalhador podem estar fatores como poeira, ruído, iluminação e a temperatura ambiente, sendo tais fatores amplamente explorados pelos ergonomistas, além de serem normalizados por normas nacionais e internacionais.

A temperatura, em casos extremos de elevação ou redução, pode levar o trabalhador ao estado psicofisiológico conhecido como estresse térmico. O estresse térmico, particularmente gerado por calor, pode gerar várias consequências ao corpo do trabalhador, como: hipertermia, tontura, desidratação, doenças de pele, psiconeuroses, cataratas e desfalecimento por hipovolemia ou déficit de sódio Coutinho (1998).

O estresse térmico é um problema comum em várias indústrias, pois os trabalhadores frequentemente estão expostos a temperaturas acima dos limites convencionais (BERNARD e CROSS, 1999). O estresse térmico, como um fator ambiental, pode influenciar na produtividade do trabalho executado por um operador, levando à redução do entusiasmo do trabalhador e aumentando a taxa de incidentes, que podem tornar-se acidentes (YI; CHAN, 2012).

Este trabalho buscou verificar a influência do estresse térmico na produtividade de trabalhadores em uma indústria do ramo de fundição, localizada na



cidade de Ponta Grossa – PR. Para tal, foi selecionada a atividade de vazamento manual de peças, pois desse modo os trabalhadores poderiam influenciar diretamente a produtividade da organização.

As medições ambientais foram realizadas em 6 pontos distintos da fábrica, ao redor de toda a linha de produção, com o objetivo de buscar a variabilidade dos dados obtidos tanto para o estresse térmico e para a produtividade. As medições foram realizadas nos meses de novembro e dezembro de 2013.

No capítulo 2, buscou-se elaborar o referencial teórico fornecendo toda a base necessária para a execução da proposta desta pesquisa. A Ergonomia foi abordada, pois a mesma busca adaptar o trabalho ao homem, através da avaliação, diagnóstico e sugestão de melhorias, e conhecer os efeitos que o trabalho e o ambiente onde o mesmo é executado geram no ser humano. Apresentou-se o conceito de estresse térmico, tópico fundamental neste estudo, e os efeitos fisiológicos que essa condição pode gerar ao corpo, como hipertermia e desidratação, além de afetar a capacidade de execução do trabalho.

Ainda no capítulo 2, foram apresentados os índices de estresse térmico utilizados neste trabalho: IBUTG e taxa requerida de suor, o qual divide-se em  $W_{req}$  e  $SW_{req}$ . As normalizações nacionais e internacionais foram apresentadas, bem como seus métodos de cálculo e também quais são os equipamentos recomendados para realizar as medições das variáveis ambientais necessárias a cálculo de tais índices.

Por fim, foi apresentado o estudo de produtividade, pelo qual este trabalho classificou-se como uma abordagem de engenharia, pois necessitou estudo da planta e processo de fabricação para então ser definida a maneira pela qual a produtividade pode ser mensurada. O indicador definido foi o tempo de vazamento de peças, em segundos, sendo que quanto maior fosse o tempo utilizado, menor seria a produtividade da atividade.

No capítulo 3, Metodologia, a pesquisa foi classificada como: aplicada, quantitativa, descritiva e exploratória. Deu-se destaque à descrição da organização na qual esta pesquisa foi realizada, através da descrição da planta, localização da linha de produção e forno, e definição dos pontos de medição onde o estudo seria realizado. Foi definida também a quantidade de medições que seriam realizadas, e os equipamentos que seriam empregados para execução do estudo. A produtividade também foi abordada, onde explanou-se o modo de coleta de dados. Ainda no capítulo 3, foi descrito o modo como os dados coletados foram analisados, bem

como todos os softwares utilizados para a análise de estresse térmico e a análise estatística empregada nesta pesquisa.

Os resultados obtidos foram demonstrados no capítulo 4. Primeiramente, todas as amostras utilizadas nesta pesquisa tiveram sua normalidade testada através do método Anderson-Darling e teste de hipóteses com base no p-valor. O objetivo desta análise foi verificar se existiam valores espúrios que poderiam prejudicar a amostragem e análise dos dados. Ao longo deste estudo, duas medições foram consideradas espúrias, e foram descartadas durante as análises. Todos os testes de normalidade foram comprovados, de modo que todas as medições apresentaram distribuição normal para um nível de confiança de 95%.

Mensurar quantitativamente a influência do estresse térmico gerado por calor na produtividade de trabalhadores é o objetivo principal do presente trabalho.

## 1.1 PROBLEMA

Como o estresse térmico gerado por calor influencia a produtividade de operadores em postos de trabalho não automatizados?

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Melhorar a produtividade de trabalhadores mantendo boas condições de saúde ocupacional é uma das grandes preocupações das indústrias, principalmente em países em desenvolvimento (TIAN; ZHU; ZHENG; WEI, 2011). Nesta pesquisa, buscou-se quantificar a influência do estresse térmico gerado por calor na produtividade. A etapa de mensurar a real influência do ambiente sobre a produtividade é uma das mais difíceis e incertas, devido à dificuldade em isolar outras influências (FISK; ROSENFELD, 1997). Lan, Lian e Pan (2010) também ressaltam que analisar essa influência permanece como um dos maiores desafios para os ergonomistas.

### 1.3 OBJETIVO GERAL

Determinar quantitativamente a influência do estresse térmico gerado por calor sobre a produtividade de trabalhadores em uma fundição.

### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar, por meio de dois índices de estresse térmico normalizados internacionalmente, as condições térmicas de um ambiente industrial;
- Avaliar a produtividade dos colaboradores quando expostos a condições de estresse térmico;
- Comparar a produtividade dos colaboradores em postos de vazamento manual de peças de ferro fundido, em diferentes níveis de estresse térmico;
- Avaliar quantitativamente o impacto do stress térmico na capacidade produtiva da organização, por meio de análise de correlação;

### 1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A presente avaliação de influência de produtividade aplica-se para ambientes cuja presença de estresse térmico foi comprovada através dos métodos de avaliação normalizados: Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (ISO 7243, 1989) e Taxa Requerida de Suor (ISO 7933, 2004); e para avaliação de postos de trabalho não automatizados ou semi-automatizados, pois em situações de trabalho manual, o estado psicofisiológico do trabalhador pode influenciar a execução de seu trabalho, e, conseqüentemente, sua produtividade.

### 1.6 HIPÓTESE

A hipótese deste trabalho é provar que quanto maior o nível de estresse térmico pelo calor, menor será a produtividade sendo; portanto, fatores inversamente proporcionais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ERGONOMIA

A Ergonomia é uma área da ciência atuante em diversos processos e atividades, como por exemplo: indústrias, escritórios, universidades, cozinhas, laboratórios e em qualquer outra situação onde exista o relacionamento entre o homem e uma atividade produtiva. Em todos esses processos produtivos, a Ergonomia possui um propósito comum: adaptar o trabalho ao homem (IIDA, 2005). A Ergonomia analisa aspectos relacionados ao trabalho durante o projeto do posto de trabalho, antes do trabalhador iniciar a execução de sua tarefa, bem como após a implementação desse posto, monitorando os efeitos que o trabalho está gerando ao trabalhador durante sua execução de seu trabalho e observando oportunidades de melhoria (IIDA, 2005). Segundo Dul e Weerdmeester (2004), a Ergonomia também pode ser definida como uma ciência focada no projeto de máquinas, equipamentos, sistemas e tarefas, buscando melhorar a segurança, saúde, conforto e eficiência do trabalho.

Frequentemente a Ergonomia é aplicada à prevenção da ocorrência de problemas de saúde, segurança ocupacional e também conforto do trabalhador quando executa um trabalho. Porém, em sua aplicação prática, ela envolve também fatores de performance do trabalho (SILVA *et al*, 2012). O aumento e padronização da qualidade dos produtos produzidos, a velocidade da produção, índice de refugos, produtividade e outros indicadores podem ser melhorados com a aplicação de um estudo ergonômico, porém tais aumentos de performance devem ser apenas uma consequência da melhoria das condições de trabalho do homem. No entanto, é difícil conseguir a aprovação de um programa ergonômico que envolva custos altos sem que a empresa vislumbre resultados futuros que justifiquem tais investimentos. Uma abordagem econômica pode auxiliar o ergonômista no processo de aprovação de suas sugestões de intervenção nos postos de trabalho de uma companhia (SILVA; AMARAL; MANDAGAARA; LESO, 2012).

Os estudos ergonômicos abrangem diversas áreas, como: antropometria, biomecânica ocupacional, postos de trabalho e layout, disposição de informação,

percepção e processamento de informações, organização do trabalho, segurança do trabalho e ambientes.

Dentro da ergonomia ambiental, os seguintes fatores são foco de estudo (IIDA, 2005):

- iluminação: estudo dos efeitos e dimensionamento da quantidade de luz presente nos postos de trabalho. O nível de iluminamento influencia no mecanismo fisiológico da visão e também na musculatura que comanda os olhos.

- ruídos: estudo da exposição dos trabalhadores a fontes de ruído, sendo esta uma das principais causas de reclamações dos trabalhadores. Além de possíveis danos ao aparelho auditivo, os ruídos afetam também a concentração dos trabalhadores, levando a maiores riscos de acidentes de trabalho devido aos desvios de atenção;

- temperatura: o homem, sendo um animal homeotérmico, precisa manter sua temperatura constante, sofrendo influência direta da temperatura do ambiente em que se encontra. Dentro da Ergonomia, a temperatura dos ambientes é estudada para mantê-la nas condições ideais de trabalho, incluindo também análise das condições térmicas (conforto e estresse térmico), e a influência de outras variáveis na sensação térmica do trabalhador, como velocidade do ar, umidade relativa, temperatura de globo, entre outras.

O estudo das condições térmicas, particularmente referentes ao estresse térmico causado por calor, será analisado com maior profundidade nas seções a seguir. O estresse térmico é um problema comum em várias indústrias, pois os trabalhadores frequentemente estão expostos à temperaturas acima dos limites convencionais (BERNARD e CROSS, 1999), além de sofrerem também a influência das condições externas, como tempo e clima (ZHANG; CHEN; MENG, 2012). A qualidade de ambientes internos dependem de diversos fatores físicos (FABBRI, 2013), e uma das razões para os trabalhadores estarem expostos a tais níveis é a necessidade de calor para o processo de fabricação, já que alguns produtos exigem temperaturas elevadas, como: fabricação de produtos de borracha (processo de vulcanização), fabricação de artefatos em cerâmica, indústria de alimentos, lavanderia e cozinha industrial, fundição de alumínio, aço e ferro, e também alguns trabalhos a céu aberto, na área agrícola (LEITE, 2002).

## 2.2 ESTRESSE TÉRMICO

O estresse térmico é um problema comum em várias indústrias (BERNARD; CROSS, 1999), pois os trabalhadores frequentemente estão expostos à temperaturas acima dos limites convencionais. Uma das razões para tal exposição é a necessidade de calor para o processo de fabricação, já que alguns produtos e processos exigem temperaturas elevadas para que possam ser produzidos com a qualidade exigida pelos requisitos de seus clientes.

Algumas indústrias, nas quais casos de estresse térmico são propícios de estarem presentes, de acordo com Bernard e Cross (1999) são de metais primários (sendo alumínio, aço e ferro alguns dos principais), processamento de alimentos, energia elétrica e construção. Outros processos citados por Leite (2002), como vulcanização de borracha, fundição de metais, produtos em cerâmica, lavanderias, cozinhas industriais e alguns trabalhos a céu aberto, mais graves quando pesados, pois além da carga térmica exercida pelo Sol, o próprio corpo humano gera mais calor devido à atividade excessiva.

O caso do corte de cana é um dos que envolvem um grande risco à saúde, pois o trabalhador está sob exposição direta do Sol, é uma atividade pesada e exige o uso de vários equipamentos de proteção, o que aumenta o isolamento térmico da roupa do trabalhador, dificultando, portanto, a perda de calor e podendo levar à morte. Em Taiwan, um estudo realizado por Lin *et al* (2012) procurou avaliar através de índices de estresse térmico o risco de morte por aumento de temperatura nas estações quentes, e demonstrou que a temperatura máxima do ar possuía alta correlação com o índice de mortes na região.

Outros processos de fabricação podem apresentar situações que gerem estresse térmico por outras razões, como por exemplo um ambiente industrial mal projetado, onde há pouca ventilação do ar, a umidade relativa do ar é muito alta, a atividade executada é muito pesada e sem pausas durante a jornada de trabalho, entre outros fatores, como a roupa, pois há alguns tipos de uniformes de proteção que acabam criando microambientes dentro da roupa, mais quente e úmido que o ambiente externo (BISHOP; GU; CLAPP, 2000). Ambientes com temperatura do ar acima de 32°C, e umidade relativa do ar acima de 60%, considerados quentes e úmidos, podem alterar a taxa de batimentos cardíacos, temperatura corporal e pressão sanguínea, sendo que tais condições de temperatura e umidade são

comuns em indústrias de cerâmicas, borracha, metalurgia e vidraria (SHI *et al*, (2013), LIANG *et al* (2011).

Portanto, o estudo de estresse térmico não se restringe aos processos citados anteriormente: é necessário avaliar cada ambiente de acordo com metodologias pré-definidas, conforme será visto posteriormente neste trabalho, para então identificar e mensurar a presença de estresse térmico.

A palavra estresse é derivada da palavra em inglês *Stress*, cuja definição segundo o dicionário *Oxford* (2009) é: “um estado de tensão mental ou emocional ou a tensão resultante de circunstâncias adversas ou muito exigentes”. Ainda, segundo a *Encyclopedia Britannica do Brasil* (1975) *apud* Xavier e Lamberts (2002, p. 69), *stress* também pode ser caracterizado como: “ação inespecífica dos agentes e influências nocivas (frio ou calor excessivos, infecção, intoxicação, emoções violentas tais como inveja, ódio, medo, etc), que causam reações típicas do organismo, tais como síndrome de alerta e síndrome de adaptação”.

Assim, o *estresse térmico* é o estado onde tanto o sistema fisiológico quanto o sistema psicológico são afetados pela temperatura do ambiente em que se encontra, quando esta temperatura encontra-se em níveis extremos e muito exigentes, com 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 do mesmo em condições extremas (ALONSO *et al*, 2011).

O estresse térmico é estudado tanto para fins científicos, onde o pesquisador possui papel de descobrir a intensidade, natureza e origem do estresse térmico de um dado ambiente, normalmente industrial, com trabalhadores sujeitos à possíveis situações de estresse térmico a serem analisadas; quanto para fins práticos (BUDD, 2001), onde os gestores, engenheiros e técnicos de segurança do trabalho, médicos do trabalho e Comissões Internas de Prevenção ao Acidentes (CIPA, da Norma Regulamentadora 5 (Ministério do Trabalho, 2011)) são responsáveis por reduzir os riscos aos quais os trabalhadores podem estar sujeitos no ambiente de trabalho.

No Brasil existem normas regulamentadoras exigindo que os ambientes sejam avaliados e adequados termicamente ao homem, seguindo também o princípio básico da Ergonomia. É o caso da NR- 17- Ergonomia (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2007), onde se afirma que “17.5.1. As condições ambientais de

trabalho devem estar adequadas às características psicofisiológicas dos trabalhadores e à natureza do trabalho a ser executado”. Neste caso estão incluídas outras variáveis além da temperatura, como: nível de ruído, velocidade do ar, umidade relativa do ar, iluminação, mobília e organização, além de outras variáveis que possam afetar o ambiente de trabalho.

Os estudos em estresse térmico podem ser divididos em dois tipos básicos:

- Ambientes Frios: causado pela exposição a ambientes com temperaturas muito baixas, como por exemplo em câmaras frias;
- Ambientes Quentes: ocasionado pela exposição do ser humano à ambientes com temperaturas muito elevadas, como em fundições, fornos, injeção de alumínio, vulcanização de borracha ou trabalhos a céu aberto.

Segundo Budd (2011), as avaliações de estresse térmico possuem dois objetivos primários, sendo os seguintes:

- a) Determinar a natureza, e assim, as causas do estresse térmico em um dado ambiente. Este é o primeiro passo para planejar ações corretivas que venham a amenizar ou eliminar a origem do estresse térmico, tornando o ambiente apropriado para a execução saudável de trabalho. Para atender este objetivo, é requerida análise e decomposição do estresse térmico em seus componentes causadores;
- b) Mensurar e avaliar a intensidade do estresse térmico, e também estimar suas consequências que o estresse térmico poderá causar na saúde, conforto e desempenho dos trabalhadores. Para atender a este objetivo, é necessário integrar e transformar os componentes causadores de estresse térmico em um índice que possa ser comparado aos padrões estabelecidos, para obter orientação sobre a necessidade de agir no ambiente, e como reduzir os efeitos do estresse térmico.

### 2.2.1 Termorregulação

O homem é um ser homeotérmico, ou seja, busca manter sua temperatura corporal constante. Para realizar a manutenção de sua temperatura, existem



mecanismos biológicos que auxiliam o ser humano a manter a sua temperatura ideal. (IIDA, 2005).

O corpo humano possui mecanismos termorreguladores que funcionam como uma resposta fisiológica às variações de temperatura do ambiente, as quais partem do centro do corpo para as extremidades (ALMEIDA e VEIGA, 2010). Quando o homem está em um ambiente quente, seu corpo tenderá a responder adaptativamente a esse ambiente, buscando reduzir a produção de calor interno, e auxiliar na perda de calor (WITTERSEH; WYON; CLAUSEN, 2004). Os principais mecanismos termorreguladores são:

- vasodilatação;
- abertura dos poros da pele;
- circulação sanguínea pela periferia do corpo humano;
- transpiração;
- evaporação do suor pela pele.

Caso esses mecanismos não entrem em ação ou sejam insuficientes para regular a temperatura corporal, podem se iniciar estados patológicos.

Além desses mecanismos, há alguns comportamentos que o ser humano executa quando apresenta problemas com a regulação da temperatura corporal, seja por uma alta atividade metabólica ou pelo ambiente. Dentre esses estão aliviar as roupas ou diminuir sua quantidade, procurar ventilação, abrigar-se à sombra, reduzir a atividade metabólica ao reduzir o ritmo da atividade e realizar pausas no trabalho (BUDD, 2008).

Há ainda a influência do gênero no que diz respeito à percepção ao ambiente, pois segundo Karjalainen (2012), em estudos realizados em um mesmo ambiente, as mulheres apresentam-se mais insatisfeitas do que o homem em relação a este local.

Temperaturas corporais fora da faixa ideal (hipotermia e hipertermia) causam sérios riscos e danos à saúde se providências imediatas não forem tomadas para retornar a temperatura à sua faixa ideal. Em variações térmicas menores, o próprio trabalhador busca retornar sua temperatura para sua zona de conforto já citadas, porém tais ações podem diminuir sua atenção e distraí-lo do trabalho, levando a possíveis riscos durante a execução de suas atividades e também à perda da eficiência (FIEDLER, VENTUROLI e MINETTI, 2006).

## 2.2.2 Efeitos fisiológicos decorrentes da exposição à altas temperaturas

Conforme dito anteriormente, o ser humano é um ser homeotérmico, que busca manter sua temperatura constante em 37°C, e que possui mecanismos biológicos para realizar a manutenção de sua temperatura. Nem sempre tais mecanismos são suficientes para manter a temperatura em seu nível ideal, de modo que há consequências fisiológicas para o homem.

A seguir estão algumas consequências da exposição do homem à altas temperaturas, de acordo com Coutinho (1998) e Shi *et al* (2013):

- Hipertermia: o sistema termorregulador não consegue realizar a manutenção da temperatura corporal, levando ao aumento da temperatura interna e aumento do metabolismo. O metabolismo acelerado gera ainda mais calor, tornando o aumento de temperatura um ciclo que elevará a temperatura a valores de 40°C à 43°C, o que pode causar desnaturação das proteínas e a morte. Durante este processo, o trabalhador apresenta-se desorientado e delirante;

- Tontura e desfalecimento por déficit de sódio: ocorre normalmente quando as pessoas não foram aclimatizadas ou não tiveram reposição salina adequada. O trabalhador apresenta fraqueza muscular, cansaço, câimbras, náuseas, vômito, cefaleia, irritabilidade, elevação da frequência cardíaca e ausência de sede;

- Tontura e desfalecimento por hipovolemia relativa: pode ocorrer com pessoas não aclimatizadas, mas também em pessoas com baixa capacidade aeróbica, e a consequência deste caso é uma menor presença de sangue no coração e no cérebro. Um agravante desse problema é o de que a temperatura corporal não precisa atingir valores extremos para apresentar os sintomas. O ser humano apresenta também os seguintes sinais nesta patologia: tonturas, desmaios, náuseas, sudorese fria, palidez facial, respiração em suspiros, pulsação lenta e baixa pressão arterial;

- Desidratação: neste caso, as perdas de água necessárias para regulação da temperatura corporal são maiores do que a quantidade de água ingerida, levando à sintomas como: sede, irritabilidade, sonolência, pulso acelerado, temperatura elevada e oligúria (pouca urina). A perda de 10% de água é incompatível para a execução de trabalho, e com perdas de 15% aparecem sinais de hipovolemia;

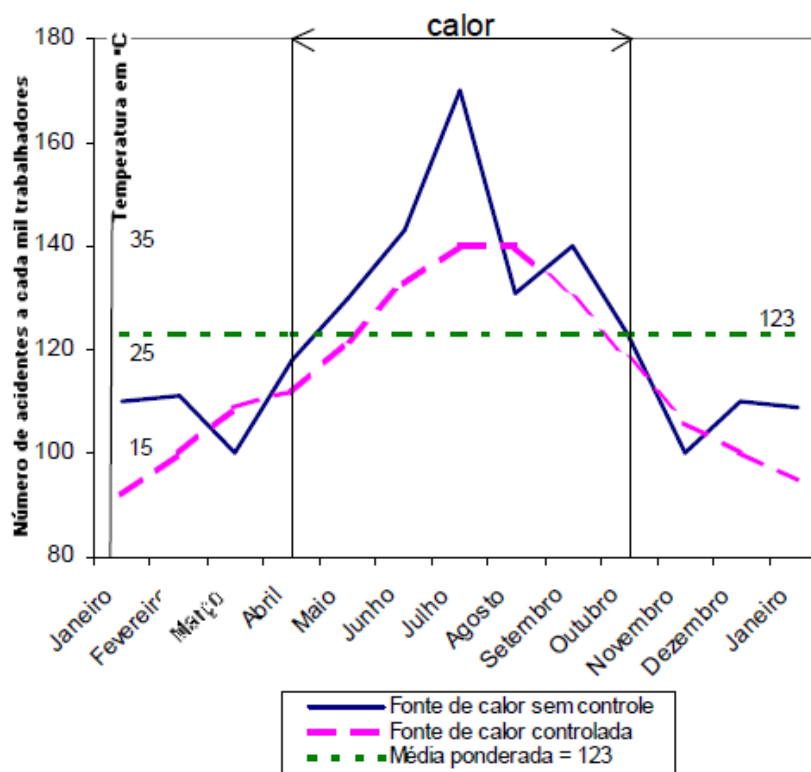
- Doenças de pele: podem ocorrer disfunções nas glândulas sudoríparas (o que irá afetar a manutenção da temperatura corporal; ambientes com umidade elevada potencializam este efeito), erupções cutâneas, queimaduras (devido à radiação solar ou processos industriais); caso a temperatura da pele atinja 45°C também podem ocorrer queimaduras;

- Psiconeuroses: ambientes quentes podem provocar também desconforto e redução da eficiência, favorecendo o surgimento de distúrbios psiconeuróticos, caso as pessoas já sejam predispostas a apresentar tais problemas;

- Cataratas: pode ocorrer em processos de fundição, solda ou outros processos onde o trabalhador precisa olhar com frequência para materiais incandescentes, o que ocasiona a degeneração do cristalino do olho, e pode demorar anos para se manifestar.

Outros sintomas como tontura, náusea, irritabilidade e sonolência são avisos de que o corpo humano está sendo debilitado devido ao ambiente em que se encontra e também devido à sua atividade. Tais sintomas são progressivos, de modo que podem ocorrer ainda durante a execução do trabalho, colocando em risco o funcionário, que pode sofrer acidentes ao realizar suas atividades.

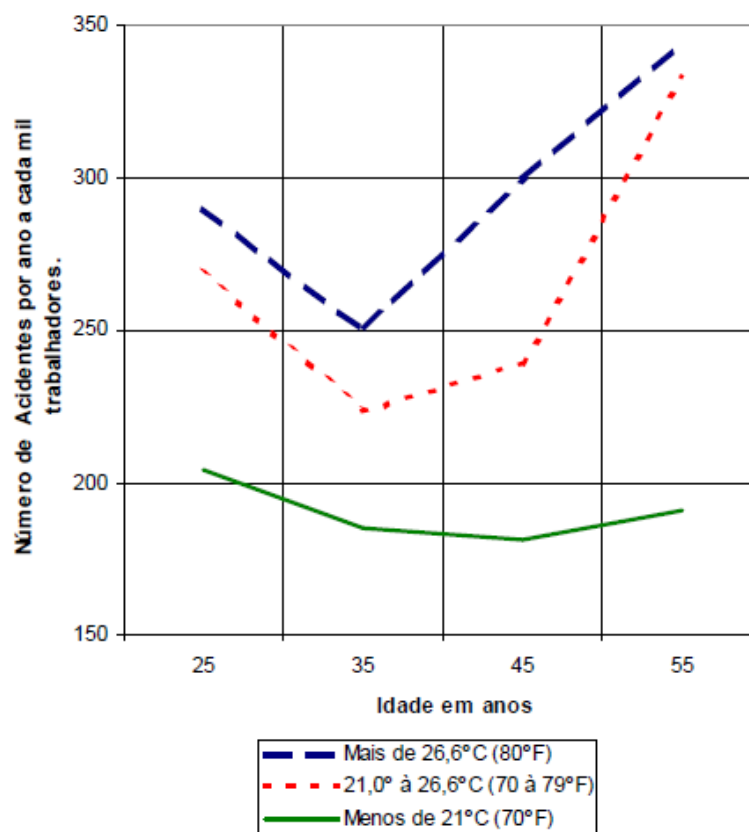
Em 1949, Bedford *apud* Leite (2002) realizou estudos na produção de carvão, analisando a relação entre o aumento da temperatura ambiente, a idade dos funcionários e o número de acidentes ocorridos. Nessa época, as condições de trabalho eram mais precárias, com tecnologias pouco desenvolvidas e não havia tantos dispositivos de segurança como atualmente. Durante os estudos houve uma média de 123 acidentes por mês, um índice alto comparado às indústrias nos dias de hoje, e que não podem ser atribuídos exclusivamente às altas temperaturas às quais os trabalhadores estão sujeitos. Porém, através do controle de temperatura, foi possível identificar uma relação entre a temperatura, índice de acidentes, mês do ano e idade dos trabalhadores, onde se comprovou um agravamento do número de acidentes de acordo com o aumento da temperatura, conforme os gráficos 1 e 2, abaixo.



**Gráfico 1 – Comparação anual entre a temperatura, mês e número de acidentes a cada mil trabalhadores**  
**Fonte: Bedford apud Leite (2002)**

Analisando o Gráfico 1, percebe-se que principalmente no verão do hemisfério norte, onde as temperaturas do ano são mais altas, o índice de acidentes foi maior, sendo no mês de Julho o pico do número de acidentes, sob as duas condições estudadas (fonte de calor com e sem controle). A média ponderada do número de acidentes foi de 123 acidentes por mês, porém houve meses onde o número de acidentes foi muito maior, como no mês de Julho (temperaturas mais altas), onde ocorreram mais de 160 acidentes de trabalho. Para casos de temperaturas mais baixas, a relação permanece: nos meses de Março e Novembro ocorreram os menores números de acidentes, sendo de aproximadamente 100 ocorrências.

Já no Gráfico 2, abaixo, foram analisados três intervalos de temperatura ambiente, sendo até 21°C, entre 21°C e 26,6°C, e acima de 26,6°C. Como era de se esperar, o maior nível de acidentes ocorreu sob exposição à maior temperatura, e essa situação aplicou-se a todas as idades analisadas. As condições de trabalho hoje em dia permitem reduzir muito o número de acidentes, o que diminui a influência de outros fatores na ocorrência de acidentes, como a temperatura.



**Gráfico 2 – Comparação anual entre a temperatura, número de acidentes a cada mil trabalhadores e a idade dos trabalhadores**  
**Fonte: Bedford *apud* Leite (2002)**

Alguns processos industriais exigem a utilização de matérias primas em alta temperatura, criando um dilema para os gestores, ergonomistas e engenheiros de segurança no trabalho, pois a alteração da temperatura dos seus processos pode afetar seriamente a qualidade e segurança dos produtos fabricados, pois as propriedades físicas e químicas do produto podem ser alteradas ou não atingidas. Assim, adaptar o trabalho ao homem torna-se uma atividade difícil, pois a saúde do trabalhador precisa ser preservada, boas condições de trabalho devem ser oferecidas, e os produtos devem ser produzidos mantendo sua qualidade e propósitos originais.

### 2.3 ÍNDICES DE ANÁLISE DE ESTRESSE TÉRMICO

Desde a metade do último século, devido à modernização de processos industriais e a crescente preocupação com o bem estar dos trabalhadores, cresceu também a necessidade de desenvolver normas e padrões de estresse térmico, os quais originaram os índices utilizados hoje em dia (BUDD, 2001). Existem várias

pesquisas ativas buscando definir modos de avaliar as condições térmicas, e várias pesquisas buscam implementar novos índices de avaliação (COHEN; POTCHTER; MATZARAKIS, (2012), SAKOI; MOCHIDA, (2013).

Um índice de estresse térmico pode ser definido como uma medida quantitativa que integra em um único número os fatores que influenciam as trocas de calor entre o homem e o ambiente em que ele se encontra (BESHIR; RAMSEY, 1988). Um índice de avaliação térmica descreve a relação entre certos aspectos ambientais e a percepção humana em relação ao ambiente em que se encontra (CARLUCCI; PAGLIANO, 2012).

Szokolay e Auliciens (1997) *apud* Xavier e Lamberts (2002), Luecke, Schwartz, Islam e Bernard (2008) e Taleghani, Tenpierik, Kurvers Dobbelsteen (2013) listaram os principais índices para avaliação de estresse térmico, de maneira cronológica, conforme a seguir:

- ET: *Effective Temperature Scales*, desenvolvido por Houghten e Yaglou em 1923;
- W: *Skin Wettedness*, desenvolvido por Gagge em 1937;
- TAR: Relação de aceitação térmica, desenvolvido por Plummer em 1945;
- CET: *Corrected Effective Temperature*, adaptado do índice ET por Bedford em 1946;
- P4SR: Taxa de suor estimada para 4 horas, desenvolvido por McArdle em 1947;
- HSI: *Heat Stress Index*, desenvolvido por Belding e Hatch em 1955;
- WBGT: *Wet Bulb Globe Temperature*, desenvolvido por Yaglou e Minard em 1957. Este índice foi modificado posteriormente e tornou-se muito utilizado, principalmente por ser um índice bastante simples de ser utilizado (BURR, 1991). No Brasil, este índice é conhecido como IBUTG, apresentado na Norma Regulamentadora 15 – Atividades e Operações Insalubres, em seu Anexo 3 – Limites de Tolerância para Exposição ao Calor (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2011). Este índice é aplicável para ambientes internos e externos, com ou sem carga solar;
- TSI: Índice de tensão térmica, desenvolvido por Lee em 1958;
- DI: *Discomfort index*, desenvolvido por Thom em 1959, e adaptado por Sohar em 1962;

- RSI: Índice relativo de tensão, desenvolvido por Lee e Henschel em 1963;
- ITS: Índice de estresse térmico ou taxa requerida de suor, desenvolvido por Givoni em 1963. Esse índice é também conhecido como  $SW_{req}$ , derivado do inglês *required sweat rate*;
- ET\*: *New Effective Temperature*, desenvolvido por Gagge em 1971;
- PSI: *Physiological strain index*, desenvolvido por Moran, Shitzer e Pandolf em 1998;
- MDI: Índice modificado de desconforto, desenvolvido por Moran e Pandolf em 1999 (MORAN *et al*, 2001). Segundo Moran e Pandolf, responsáveis pelo desenvolvimento deste índice, o MDI foi construído utilizando métodos de análise estatística mais avançados, e em uma série de estudos foi encontrada alta correlação para o índice WBGT;
- O ESI: *Environmental stress index*, ou em português, Índice de stress ambiental, foi desenvolvido em 2001 por Moran, Pandolf, Shapiro, Heled, Shani, Mathew e Gonzalez. O índice ESI foi construído utilizando métodos de análise estatística e comparação com 3 outros índices: WBGT (*Wet bulb globe temperature*), DI (*Discomfort Index*, adaptado por Sohar em 1962) e MDI (*Modified discomfort index*), e o método estatístico utilizado foi a regressão múltipla. Porém ele é aplicável apenas para ambientes onde existe radiação solar, e suas variáveis de cálculo são: temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar (MORAN *et al*, 2004). Segundo os autores, este provou ter potencial para ser uma alternativa prática ao índice IBUTG, quando se avaliam ambientes sujeitos à cargas solares.

Nesta pesquisa serão aplicados dois dos índices supracitados: IBUTG, de 1989, e  $SW_{req}$  (Taxa requerida de suor) de 2004, com versão atualizada pela ISO 7933. A escolha desses índices deu-se pelo fato de que ambos foram normalizados pela *International Organization for Standardization*, e tornaram-se métodos consagrados na análise do estresse térmico.

### 2.3.1 IBUTG: Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo

O índice WBGT: *Wet bulb globe temperature*, conhecido no Brasil como Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo, ou IBUTG, foi desenvolvido em 1957

por Yaglou e Minard. Este índice é considerado o índice mais comum para avaliar estresse térmico tanto em ambientes internos quanto externos (MORAN *et al*, 2001), e mais mundialmente usado (BUDD, 2008).

O IBUTG foi desenvolvido pelo exército e marinha dos Estados Unidos, devido à ocorrência de surtos graves de doenças relacionadas ao calor em campos de treinamento (BUDD, 2008). Posteriormente foram realizados estudos em outros ambientes, e o IBUTG foi considerado apropriado também para prevenir o estresse térmico em indústrias (PETERS, 1991). Em 1986, o método IBUTG foi definido pelo NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*), como o critério para avaliar a exposição a ambientes quentes e avaliação de estresse térmico.

Em 1982, a ISO - *International Organization for Standardization* tornou o método IBUTG uma norma internacional de avaliação de estresse térmico. A versão atualizada data de 1989, e é amplamente aplicada no mundo todo, criando a norma internacional 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) (ISO 7243, 1989). No Brasil, o índice IBUTG é o método recomendado para avaliação de estresse térmico, regulamentado através da Norma Regulamentadora 15 – Atividades e Operações Insalubres, em seu Anexo 3 – Limites de tolerância para exposição ao calor (Ministério do Trabalho, 2011).

O índice IBUTG é obtido à partir de três parâmetros ambientais, conforme a seguir (ISO 7243, 1989; MORAN *et al*, 2003):

- $t_g$ : temperatura de globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ), mensura a carga de calor proveniente de radiação e convecção. Utiliza um termômetro de globo para sua determinação;
- $t_a$ : temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}\text{C}$ ): mensura a temperatura do ar, isolado de influência de radiação. Utiliza um termômetro comum para ser mensurada;
- $t_{nw}$ : temperatura de bulbo úmido ( $^{\circ}\text{C}$ ), caracteriza-se pela medição da capacidade de evaporação do ambiente, através de um termômetro de bulbo úmido.

O índice IBUTG pode ser obtido de maneiras diferentes, de acordo com o local analisado: ambientes internos ou externos sem carga solar (Equação 1), ou ambientes externos com carga solar (Equação 2) (ISO 7243, 1989):



$$IBUTG = 0,7.t_{nw} + 0,3.t_g \quad (1)$$

ou

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

A medição das variáveis deve ser realizada na região onde está concentrada a maior quantidade de estresse térmico. Se as medições forem heterogêneas verticalmente, ou seja, suas variações sejam maiores que 5% ao longo da altura do corpo humano, é necessário realizar medições em três alturas diferentes, sendo: cabeça, abdômen e tornozelos, e também o uso da equação 3, a seguir (ISO 7243, 1989):

$$IBUTG = (IBUTG_{cabeça} + 2 \cdot IBUTG_{abdômen} + IBUTG_{tornozelos}) / 4 \quad (3)$$

Com o valor do IBUTG em mãos, consulta-se a Tabela 1 da ISO 7243 (1989), ou então a ISO 8996 (2004), para identificar a taxa metabólica da atividade à qual o trabalhador está sujeito. Em seguida comparam-se os índices obtidos com o Anexo A da ISO 7243 (Tabela 1).

**Tabela 1 - Limites de IBUTG segundo a ISO 7243, onde M é a taxa metabólica, expressa em W/m<sup>2</sup>**

Taxa Metabólica (W/m <sup>2</sup> )	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 25	movimento de ar perceptível 26	sem movimento de ar perceptível 22	movimento de ar perceptível 23
M > 260	23	25	18	20

**Fonte: Adaptado da ISO 7243 (1989)**

Caso os valores de IBUTG obtidos excedam os limites definidos na tabela, faz-se necessário (ISO 7243, 1989):

- reduzir a carga de estresse térmico no posto de trabalho por meio de métodos apropriados, como por exemplo: controle do ambiente, do nível da

atividade (e assim, a taxa metabólica), tempo da jornada de trabalho e uso de equipamentos de proteção individual;

- realizar nova análise, de maneira mais detalhada, com aplicação de outros métodos de análise de estresse térmico.

Para avaliar o estresse térmico pela norma brasileira NR 15, Anexo 3, utiliza-se a Tabela 2, abaixo. Além de fornecer os limites máximos de IBUTG, determina-se o tempo de descanso por hora de trabalho, ou a necessidade mudanças no ambiente.

**Tabela 2 - Limites de IBUTG de acordo com a intensidade de atividade**

Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora)	Tipo de Atividade			
	Leve	Moderada	Pesada	
Trabalho contínuo 60 minutos	até 30,0	até 26,7	até 25,0	IBUTG
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	
Trabalho não permitido sem adoção de medidas	acima de 32,2	acima de 31,1	acima de 30,0	

**Fonte: Adaptado da NR 15 – Anexo 3 (Ministério do Trabalho, 2011)**

Deste modo, avalia-se o nível de estresse de térmico de um dado ambiente através do índice WBGT ou IBUTG, sendo este o primeiro índice que será aplicado nesta pesquisa, juntamente com índice a seguir.

### 2.3.2 $SW_{req}$ : Taxa requerida de suor

Quando os resultados do IBUTG estiverem acima dos limites estabelecidos na ISO 7243 (1989), indicados na Tabela 2, a própria norma sugere estudos mais aprofundados, utilizando-se outros métodos, entre eles o  $SW_{req}$ . Tanto o índice  $SW_{req}$  quanto o IBUTG foram adotados como padrões europeus para análise de

estresse térmico (EN 27243, 1993; EN 12515, 1997 *apud* FORSTHOFF; MEHNERT; NEFFGEN, 2001).

O índice  $SW_{req}$  vem suprir a necessidade de um método de avaliação com maiores detalhes, para avaliar o estresse térmico de ambientes de trabalho. O objetivo deste índice é calcular a taxa requerida de suor para manter o equilíbrio térmico no corpo humano. Esse equilíbrio depende da perda da mesma quantidade de calor que o corpo está recebendo do ambiente, seja por condução, convecção ou radiação, e assim evitar que o corpo atinja o estado psicofisiológico de estresse térmico por calor. No entanto, quando essa norma foi adotada como padrão europeu, foi declarada como não aplicável para situações onde os trabalhadores necessitam utilizar roupas especiais para trabalhar (devido ao novo ambiente muito mais quente e úmido criado dentro da roupa), em locais com temperatura radiante muito alta e também com velocidade do ar elevada (EM 12515, 1997 *apud* FORSTHOFF; MEHNERT; NEFFGEN, 2001).

Assim como o IBUTG, o índice  $SW_{req}$  também foi transformado em norma pela *International Organization for Standardization*, sendo portanto a norma internacional ISO 7933 - *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain* (2004). Esta norma teve seu título modificado em sua última revisão; na primeira versão, de 1989, seu título era “Ambientes quentes - determinação analítica e interpretação de estresse térmico pelo método de cálculo da taxa requerida de suor” (ISO 7933, 1989). A norma ISO 7933 representa o estágio final de desenvolvimento do índice de taxa requerida de suor, o qual começou a ser desenvolvido por Givoni em 1963, sendo derivado do balanço térmico do corpo humano (KAMPMANN; PIEKARSKI, 2000).

A ISO 7933 (2004) descreve um método para avaliação e interpretação do estresse térmico ao qual um trabalhador está sujeito em um ambiente quente, no qual é prevista a taxa de suor e a temperatura interna que o corpo humano poderá atingir ao reagir às condições ambientais de seu posto de trabalho.

Para o cálculo do índice  $SW_{req}$ , as seguintes variáveis precisam ser mensuradas:

-  $t_a$ : temperatura do ar (°C);

- $t_{rm}$ : temperatura radiante média (°C);
- $p_a$ : pressão parcial de vapor (kPa);
- $v_a$ : velocidade do ar (m/s);
- $M$ : taxa metabólica (W/m<sup>2</sup>);
- $I_{cl}$ : isolamento térmico da roupa (clo).

A equação geral do balanço térmico, conforme a norma ISO 7933 (2004), está apresentada a seguir (Equação 4):

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + S \quad (4)$$

Onde:

- $M$ : taxa metabólica (W/m<sup>2</sup>): calor gerado internamente devido à atividade executada;
- $W$ : energia mecânica efetiva (W/m<sup>2</sup>), valor considerado nulo, de acordo com a ISO 7933 (2004);
- $C_{res}$ : calor trocado por convecção pela respiração (W/m<sup>2</sup>);
- $E_{res}$ : calor latente trocado pela respiração (W/m<sup>2</sup>);
- $K$ : troca de calor por condução (W/m<sup>2</sup>), valor considerado nulo, de acordo com a ISO 7933 (2004);
- $C$ : troca de calor por convecção na superfície da pele (W/m<sup>2</sup>);
- $R$ : troca de calor por radiação na superfície da pele (W/m<sup>2</sup>);
- $E$ : troca de calor por evaporação na superfície da pele (W/m<sup>2</sup>);
- $S$ : calor armazenado no organismo (W/m<sup>2</sup>).

De acordo com as equações indicadas acima, a equação (4) pode ser reescrita, a partir da qual se obtém a equação (5):

$$E + S = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R \quad (5)$$

No estado de equilíbrio térmico, o calor armazenado no organismo é nulo, logo  $S$  é 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 (6):

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R \quad (6)$$

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 ( $E_{máx}$ , calculada pela diferença entre a pressão saturada de vapor e a pressão parcial de vapor no ambiente, dividida pela resistência do ar e roupa à evaporação) (LEITE, 2002). Assim,  $W_{req}$  é calculada pela equação (7), a seguir:

$$W_{req} = E_{req} / E_{máx} \quad (7)$$

Por fim, a taxa requerida de suor,  $SW_{req}$ , de acordo com a ISO 7933 (2004) é calculada conforme a equação (9), em função da taxa requerida de evaporação  $E_{req}$  (Equação (8)). Porém, levando-se em conta uma fração de suor que possa ocasionalmente escorrer da pele antes que se evapore (efeito que não resfria a pele, pois o suor não evapora levando calor consigo):

$$r_{req} = 1 - W_{req}^2 / 2 \quad (8)$$

$$SW_{req} = E_{req} / r_{req} \quad (9)$$

Para interpretar os valores obtidos pelo índice acima demonstrado, utilizam-se os seguintes critérios de análise (Leite, 2002; ISO 7933, 2004):

- Critérios de estresse:  $W_{máx}$  (máxima fração de pele molhada, adimensional) e  $SW_{máx}$  (máxima taxa de suor, em W/m<sup>2</sup> ou g);
- Limites permitidos sem a ocorrência de danos à saúde do trabalhador:  $Q_{máx}$  (calor máximo armazenado pelo corpo humano, W.h/m<sup>2</sup>) e  $D_{máx}$  (máxima perda de água do organismo, W.h/m<sup>2</sup> ou g);

Assim como no método IBUTG, esta norma apresenta também um quadro de referência para comparar os resultados obtidos (Tabela 3):

**Tabela 3 - Valores de referência para os diferentes critérios de Stress térmico na ISO 7933**

Critério	Pessoas não aclimatadas		Pessoas aclimatadas	
	Precaução	Perigo	Precaução	Perigo
Máxima fração de pele molhada ( $W_{máx}$ )	0,85	0,85	1,0	1,0
Máxima taxa de suor ( $SW_{máx}$ )				
Descanso				
M < 65	$SW_{máx}$	(W/m <sup>2</sup> )	100	150
		(g/h)	260	390
Trabalho				
M > 65	$SW_{máx}$	(W/m <sup>2</sup> )	200	250
		(g/h)	520	650
Máximo calor armazenado ( $Q_{máx}$ )				
	$Q_{máx}$	(W.h/m <sup>2</sup> )	50	60
Máxima perda de água do organismo ( $D_{máx}$ )				
	$D_{máx}$	(W.h/m <sup>2</sup> )	1000	1250
		(g)	2600	3250
			3900	5200

Fonte: Adaptado de Leite (2002) e ISO 7933 (2004)

Através da análise dos resultados e comparação dos mesmos com a Tabela 3, avalia-se o nível de estresse de térmico de um dado ambiente através do índice  $SW_{req}$ , o segundo índice de estresse térmico aplicado nesta pesquisa.

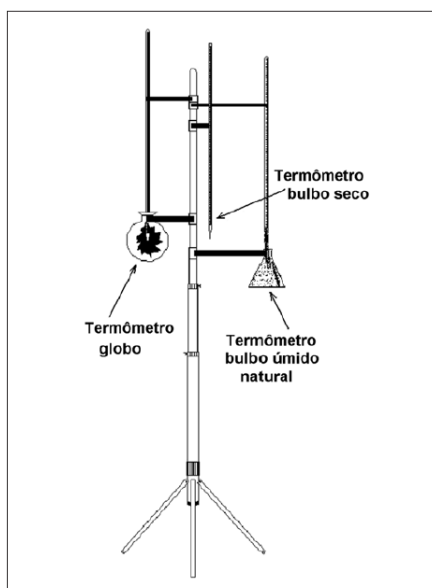
Percebe-se que neste método considera-se também se o trabalhador passou por um processo de aclimação, ou seja, se o indivíduo foi submetido progressivamente às condições de um ambiente, possivelmente insalubre termicamente, durante um determinado período de tempo antes da exposição total, com o objetivo de adaptar a resposta fisiológica do organismo do ser humano ao ambiente.

### 2.3.3 Equipamentos de medição de estresse térmico

A avaliação do estresse térmico consiste basicamente na medição das variáveis ambientais que compõem o ambiente térmico, e para isso, é necessário o emprego de diversos sensores que irão mensurar tais variáveis. Utilizar cada sensor individualmente pode tornar-se uma tarefa de pouca precisão, além da dificuldade

existente no registro dos dados. Assim, existem diversos equipamentos que buscam agrupar os sensores e facilitar a coleta de dados.

Na Figura 1 está apresentada uma árvore de IBUTG, um dos possíveis equipamentos que podem ser utilizados para medição das variáveis ambientais necessárias. O termômetro de globo é o instrumento mais comum para a mensuração da temperatura média radiante (ALFANO *et al*, 2013). A árvore de IBUTG permite que todos os equipamentos necessários à determinação do índice estejam em um único dispositivo. Tais equipamentos são: termômetro de bulbo seco, termômetro de bulbo úmido e termômetro de globo. No entanto, o equipamento não registra automaticamente os dados coletados, de modo que o pesquisador precisa anotar manualmente os valores das variáveis.



**Figura 1 – Árvore de Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo**  
**Fonte: Pinto (2006)**

Existem outros aparelhos de IBUTG mais compactos, porém o princípio dos sensores é o mesmo da Figura 1, porém podem ser utilizadas tecnologias diferentes. O tipo de termômetro auxilia na redução do tamanho dos equipamentos. Podem ser utilizados termômetros de mercúrio ou sensores que usam o princípio da resistência elétrica para mensurar a temperatura, buscando reduzir tamanho e aumentar a precisão das medições.

Para avaliar um ambiente pelo método da taxa requerida de suor é necessário o emprego de outros equipamentos, pois a árvore de IBUTG não possui

sensores suficientes. Um possível equipamento que pode ser empregado é o *Confortímetro Senu*®.

O *Confortímetro Senu*® é um equipamento produzido pela Universidade Federal de Santa Catarina e é capaz de mensurar temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro, umidade relativa do ar e velocidade do ar. O equipamento pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2 – Confortímetro Senu®**  
**Fonte: Autoria própria**

Uma grande vantagem do equipamento demonstrado na Figura 2 é a de que o mesmo registra automaticamente os dados mensurados em um computador, através de planilhas eletrônicas, facilitando a análise e interpretação posterior dos dados coletados.

## 2.4 PRODUTIVIDADE

### 2.4.1 Introdução

No cenário competitivo atual, qualquer tipo de empresa precisa buscar a melhoria contínua de seus processos, sempre se atualizando com as novas tecnologias lançadas, buscando diminuir custos, tempo de produção, matéria-prima, transporte, refugos e retrabalhos, e armazenando tais dados como experiência e



padronização do processo, para melhorá-lo e obter a melhoria contínua (SILVA, 2000). O aumento do desempenho é uma preocupação constante em qualquer ramo onde uma organização queira atuar no mercado de forma competitiva e atendendo os requisitos dos seus clientes (VILLAROUCO; ANDRETO, 2008).

Ettinger (1964) afirma que a preocupação com a produtividade industrial iniciou-se no início do século XX, com a introdução da Administração Científica por Taylor, o qual começou a analisar os processos de produção, com o objetivo de otimizá-los e obter o máximo de seus processos e funcionários. Seus estudos convergiram para o surgimento da Ergonomia, buscando adaptar o trabalho ao homem, também com o intuito de aumentar o seu desempenho, e também contribuiu para o desenvolvimento. Outro ramo iniciado foi o estudo da psicologia no trabalho, através de variáveis qualitativas e intangíveis, mas que afetam o estado psicológico do trabalhador e acabam influenciando na maneira com que o mesmo executa o seu trabalho (ANDRETO, 2005), como a agradabilidade ou o conforto que um ambiente proporciona ao seu usuário.

Portanto, a produtividade pode ser avaliada tanto à partir de parâmetros ergonômicos, como também através da visão da psicologia ambiental, ou seja, avalia-se o ambiente construído e também aspectos comportamentais (ELALI, 1997), pois ambos os ramos de estudo podem interferir na produtividade do trabalhador. No caso desta pesquisa, o foco é o estudo ergonômico do ambiente de trabalho, dentro da ergonomia ambiental, buscando analisar a influência do estresse térmico gerado por calor na produtividade do trabalhador. Neumann, Winkel, Medbo, Magneberg e Mathiassen (2006) afirmam que fatores estratégicos definidos antecipadamente no projeto do sistema de produção podem gerar consequências tanto ergonômicas, quanto de produtividade, como uma consequência, caso parâmetros ergonômicos para adaptar o trabalho ao homem não sejam considerados desde a concepção dos postos de trabalho.

Há vários modos de definir produtividade, onde em muitos casos utilizam-se diretamente indicadores de desempenho para defini-la. A definição utilizada por Moreira (1996) é a de que produtividade é uma medida de desempenho de um dado processo, de acordo com suas próprias características. Ela pode ser medida tanto em produtos quanto em serviços, e utiliza-se para tanto basicamente de: uma entrada (*input*), que pode ser a matéria-prima necessária para obter o produto ou realizar um serviço, e uma saída (*output*), que são os produtos finais ou a execução

do serviço proposto para um cliente. De acordo com Smith (1993), os *outputs* são a maneira mais simples de avaliar a produtividade, pois fornecem informações mais claras e simples de serem mensuradas. Assim, a produtividade seria, de maneira simplista, a razão entre a saída (produto ou serviço) e a entrada (insumos), expressa de modo simples pela equação (10), abaixo:

$$(output / input).100 = Produtividade (\%) \quad (10)$$

Para facilitar a compreensão, a equação (10) está expressa em porcentagem. Para o caso de o resultado obtido ser 100%, a interpretação do resultado significaria que todas entradas foram consumidas de maneira ótima, produzindo todos os produtos ou serviços planejados, sem ocorrer nenhuma perda de matéria-prima. Qualquer perda de insumo implicaria em diminuição da produção final, portanto o resultado final seria menor que 100%.

Em uma análise de produtividade realizada em indústrias por Shikdar e Sawaqed em 2003, foram listados alguns dos fatores que podem vir a influenciar a produtividade de trabalhadores, partindo do ponto de vista ergonômico. Os principais fatores foram: projeto local de trabalho, postos de trabalho mal estruturados, incompatibilidade entre as habilidades dos trabalhadores e exigências do trabalho, meio ambiente adverso, design pobre do sistema homem-máquina e programas de gestão inadequados. Nesta pesquisa, busca-se isolar a influência apenas do estresse térmico, adequada ao fator de meio ambiente adverso listado por Shikdar e Sawaqed (2003).

A etapa de mensurar a real influência na produtividade que um ambiente venha causar é uma das etapas mais difíceis, devido à dificuldade em isolar outras influências (FISK; ROSENFELD, 1997). Lan, Lian e Pan (2010) também ressaltam que analisar a influência dos efeitos do ambiente na produtividade permanece como um dos maiores desafios para os ergonomias. Até a possibilidade de testes neurais durante a realização das atividades foi aplicada para buscar mensurar o efeito do ambiente na produtividade (LAN; LIAN; PAN, 2009).

Porém cada produto ou serviço, e os processos pelos quais ambos necessitam passar para serem produzidos, possuem recursos diferentes para serem realizados, e em alguns casos mensurar tais recursos e o seu resultado final pode ser um processo de difícil coleta e análise, uma vez que devido à alta

competitividade, os meios de produção encontram-se cada vez mais complexos e desenvolvidos (DEVISE; PIERREVAL, 2000). Assim, segundo Andreto (2005), o primeiro passo para se realizar uma análise de produtividade deve ser conhecer a organização que se deseja estudar e identificar as abordagens de processo já empregadas pela organização. Isso por que é muito provável que a mesma já possua alguns critérios de avaliação de seu próprio desempenho, o que também facilita a identificação de todos os elementos que constituem a análise de desempenho da empresa, como por exemplo especificações de projeto, padronização e taxas. Sem essa análise prévia para obtenção das primeiras informações sobre o processo, não há como aplicar o conceito básico apresentado na Equação 10.

#### 2.4.2 Abordagens da Produtividade

Andreto, em seu trabalho realizado em 2005, lista cinco tipos de abordagens da produtividade, abrangendo o meio industrial e organizacional, contábil, econômico, de engenharia e gerencial, buscando auxiliar na identificação dos *inputs* e *outputs* da produtividade. A seguir, apresentam-se as abordagens (ANDRETO, 2005):

- Abordagem Industrial/Organizacional: busca definir padrões e critérios, baseado no desempenho dos trabalhadores, para explicar os efeitos de variáveis como clima organizacional e gerenciamento exercem no comportamento dos seus funcionários;

- Abordagem Contábil: definidos por dados financeiros da empresa. Comparando com a equação (10), tem-se como exemplo as relações lucro / vendas, vendas / estoques ou lucro / empregado;

- Abordagem Econômica: essa abordagem é uma das mais tradicionais e também mais simples de ser aplicada. Sua relação com a equação (10) dá-se pela razão entre a quantidade de produtos/serviços produzidos (*output*) e a quantidade de horas trabalhadas (*input*). Neste caso, é necessário comparar o valor encontrado com metas determinadas pela empresa para cada posto de trabalho ou etapa do

processo de fabricação, e assim obter uma relação de comparação entre o planejado e o executado;

- Abordagem de Engenharia: esta abordagem baseia-se no estudo aprofundado do sistema produtivo da empresa, analisando as entradas e saídas de cada processo da cadeia de valor, necessária para produzir um produto ou serviço. São aplicáveis tanto para máquinas, quanto para pessoas, e requerem grande estudo e conhecimento do fluxograma de produção da organização;

- Abordagem gerencial: esta abordagem foca o desenvolvimento de padrões/metras de desempenho, e também a análise do atingimento de tais metas. Essa abordagem possui pouco foco na metodologia de como medir os *input* e *outputs*, pois objetiva analisar os resultados atingidos e não atingidos, e assim planejar as metas para o futuro da organização.

Utilizando como base os conhecimentos apresentados na seção sobre Estresse Térmico, e analisando as cinco abordagens propostas por Andreto (2005), a Abordagem de Engenharia é a mais aconselhável ao ambiente analisado neste trabalho. Isso se deve ao fato de que foi necessária avaliação detalhada do processo de fabricação utilizado na organização na qual o presente estudo foi realizado e identificação de toda a cadeia de valor e análise dos postos de trabalho para definir como mensurar a produtividade.

#### 2.4.3 Avaliação de produtividade

A fim de mensurar a produtividade, é necessária a utilização de índices e indicadores de desempenho e produtividade. A Equação (10) pode ser considerada genérica e adaptável, pois é o conceito básico que define a produtividade. Entretanto, a maneira de medir precisamente o desempenho é um campo em crescimento tanto em organizações, como no meio acadêmico (FOLAN, BROWNE, 2005). Devido ao rápido desenvolvimento tecnológico que ocorre nos dias de hoje, e conseqüentemente, o aumento da competitividade, as relações que podem definir o desempenho tornam-se cada vez mais complexas (PIZO, 2011).

Devido à Abordagem de Engenharia apresentada acima, torna-se necessário conhecer em profundidade os processos de fabricação da organização

objeto de estudo, e também cada posto de trabalho. Isso se deve ao fato de que cada posto de trabalho pode ter *inputs* e *outputs* diferentes, mesmo sendo parte de um mesmo processo. Além disso, em um mesmo processo, o posto de trabalho anterior a outro acaba assumindo papel de fornecedor interno, enquanto o posto de trabalho seguinte assume o papel de cliente interno, influenciando diretamente em sua capacidade de produção.

A organização pode já utilizar indicadores próprios de desempenho para monitorar sua produção, os quais serão analisados para verificar se atendem os propósitos desta pesquisa. No entanto, há um método de cálculo baseado no tempo útil de produção, que fora proposto por Moreira (1996) e que pode ser aplicado tanto a produtos quanto a serviços.

O indicador consiste em primeiramente calcular o tempo total utilizado para produzir uma quantidade de diferentes de produtos, denominados  $n$ . É necessário que a organização e o avaliador conheçam ou determinem o tempo padrão para fabricação deste produto, pois o mesmo será inserido em seu método de cálculo. O cálculo do tempo total  $T$  é dado pela Equação (11), a seguir:

$$T = \sum(n_i \cdot t_i) \quad (11)$$

Onde:

$T$  = tempo total consumido

$n_i$  = quantidade produzida de um produto

$t_i$  = tempo unitário de fabricação

Possuindo o tempo total consumido para produção, a produtividade  $P$  é então calculada pela equação (12), abaixo:

$$P = (T / H) \cdot 100 \quad (12)$$

Onde:

$P$  = produtividade

$H$  = tempo disponibilizado para produção

O resultado de produtividade é obtido em porcentagem, e expressa o tempo efetivamente usado pela mão-de-obra. Portanto, quanto menor for este índice, maior será a produtividade do posto de trabalho, processo ou serviço avaliado. Esta

equação pode ser adaptada para outras variáveis do processo, caso necessário ou não se deseje avaliar a produtividade através do tempo.

No entanto, a própria unidade de tempo simplesmente pode ser um indicador da produtividade, visto que quanto menor for o tempo utilizado, melhor será a produtividade. Utilizar menos tempo para executar uma tarefa pode ser interpretado como uma eficiente utilização de recursos, que poderão ser empregados em outras atividades da organização.

Na produção de produtos em série e manualmente, o tempo necessário para a produção de uma peça ou um processo torna-se um indicador que permite visualizar diretamente o comportamento da produção em relação a dias anteriores e a produção programada. Dessa maneira, é possível verificar a variabilidade do processo e também se a meta estipulada pela gerência poderá ser atingida.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, do ponto de vista de sua natureza, pois objetiva obter conhecimentos para aplicação prática. Pela sua forma de abordagem, caracteriza-se também como uma pesquisa quantitativa, pois fará uso de indicadores numéricos normalizados internacionalmente, com o objetivo de compará-los com outros dados, também numéricos.

Do ponto de vista dos objetivos, a pesquisa possui caráter descritivo e exploratório, visto que se trata de análise profunda de uma situação real, buscando avaliá-la e fornecer fundamentos para comprovar uma hipótese. Por fim, esta pesquisa é classificada como um estudo de caso, pois envolve o estudo profundo de poucos objetos, buscando explorar uma situação real, e preservando o objeto estudado.

#### 3.2 LOCAL DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa foi realizada em uma fábrica de pequeno porte atuante no setor de fundição, localizada na cidade de Ponta Grossa, Paraná. Atualmente, a organização conta com um quadro de 25 funcionários, e horário de funcionamento comercial, de segunda a sexta. De acordo com o planejamento da empresa, pode haver expediente em alguns sábados do ano, quando não há produção, para manutenção nas esteiras e forno e limpeza do ambiente de trabalho.

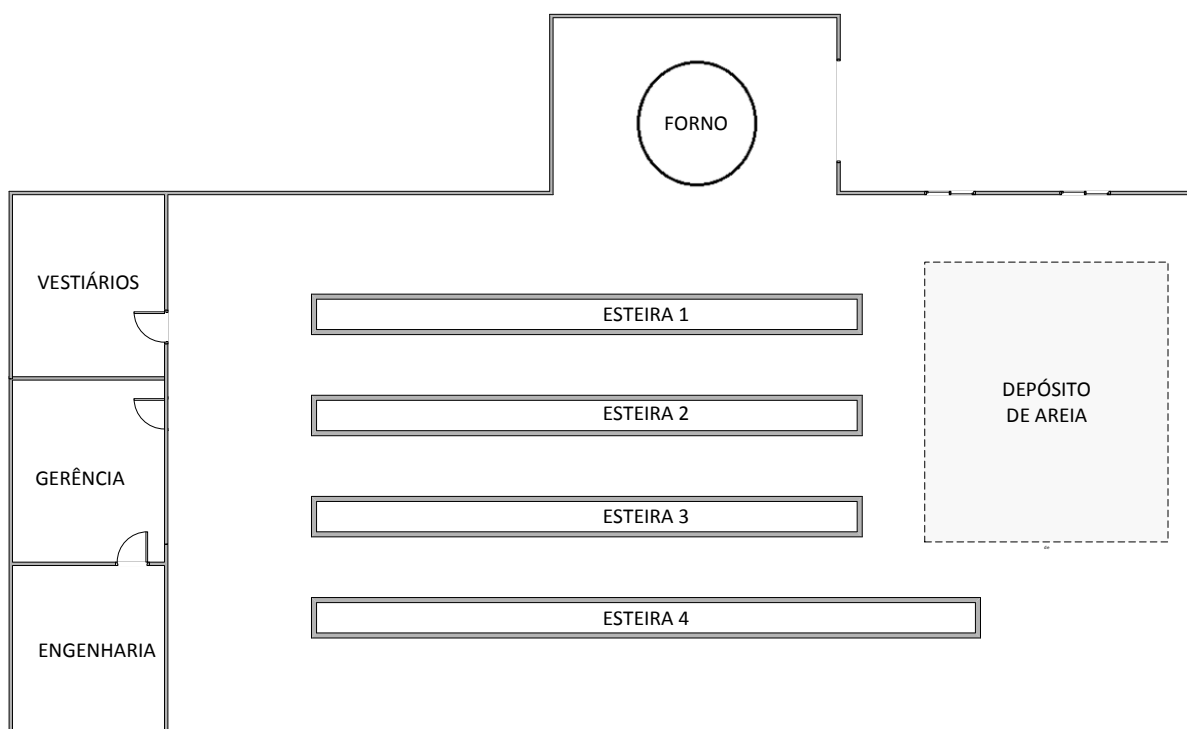
A organização apresenta em seu catálogo produtos à base de ferro e alumínio, sendo a maior parte da demanda da empresa proveniente de produtos com ferro. Seu catálogo de produtos envolve a indústria automotiva, construção civil e utensílios domésticos.

Na linha de produção desta empresa, o alumínio necessita de aproximadamente 700 °C de temperatura para ser fundido, e o ferro aproximadamente 1400 °C. Assim, justifica-se sua escolha para realização do trabalho, devido a que trabalha com fundição de metais, o que torna a alta

temperatura uma característica do processo, com ambiente propício para condições que levem ao estresse térmico.

A seleção do posto de trabalho atende ao critério de que seja uma tarefa manual ou semi-automatizada, para que o trabalhador possa influenciar em sua produtividade. Através de entrevistas não-estruturadas com os gestores da empresa e análise da linha de produção, decidiu-se que o posto a ser analisado seria o de vazamento manual de peças, operação vital dentro da linha de produção e que atende às condições da pesquisa.

O posto de vazamento de peças não é fixo, pois é realizado igualmente em toda a linha de produção, ao longo de quatro esteiras, conforme a Figura 3, sendo por isso, classificado como atividade, ao invés de posto de trabalho.



**Figura 3 – Visão geral da linha de produção da empresa**  
**Fonte: Autoria própria**

No vazamento de peças, dois operadores devem carregar um recipiente contendo material fundido até os moldes de areia armazenados na linha de produção e devem realizar o vazamento da peça, despejando o material fundido dentro dos moldes de areia onde as peças são fabricadas. A atividade de vazamento pode ser observada na Figura 4.





**Figura 4 – Atividade de vazamento manual de peças**  
**Fonte: Autoria própria**

Neste processo, é importante que o vazamento seja realizado rapidamente para que não ocorra a formação de escória (metal solidificado antes do preenchimento de todo o molde), que comprometerá a estrutura da peça. Porém, ao mesmo tempo, a tarefa deve ser realizada com cuidado para que não caia ferro fundido para fora do molde, formando o respingo, ou seja, desperdício de matéria prima, e ainda correndo o risco de um acidente de trabalho acontecer. Portanto, observa-se que o trabalhador possui influência direta na produtividade desta atividade.

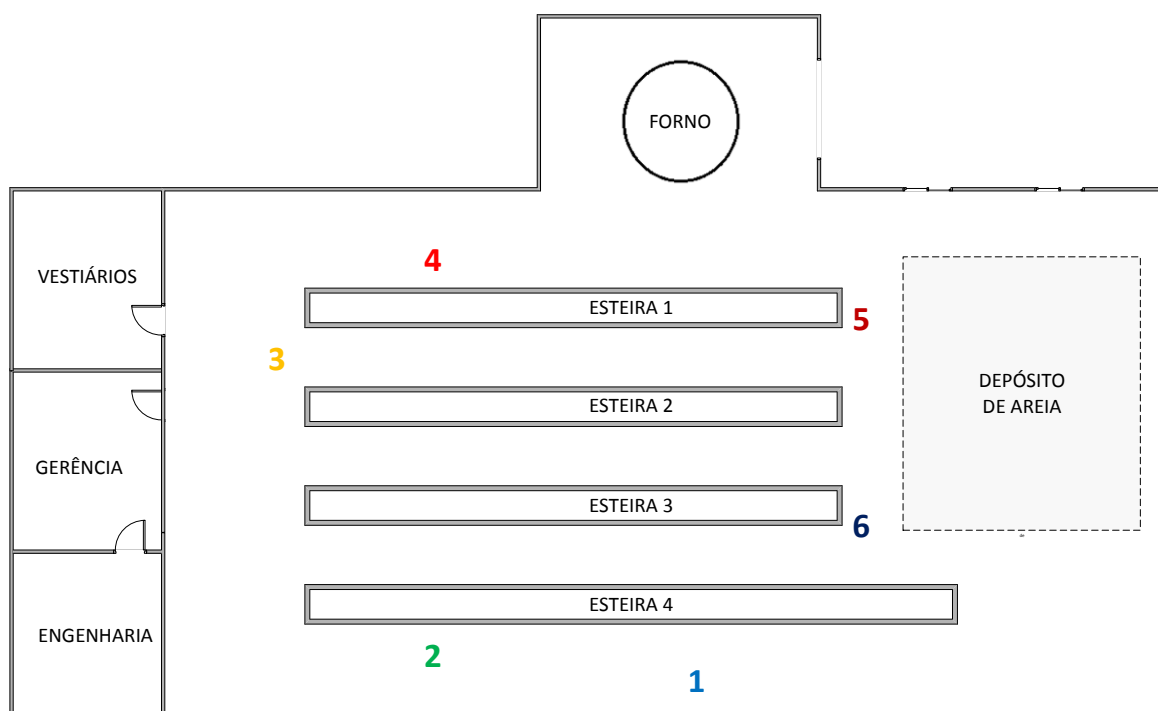
O forno (Figura 5) onde o ferro é fundido é o maior responsável pela geração de calor dentro do ambiente de trabalho. Isso se deve ao fato de que se encontra no mesmo ambiente em que todos os trabalhadores executam suas atividades diárias. O forno transmite calor através de radiação para os trabalhadores e para o ambiente, variando a quantidade de radiação de acordo com a localização ao longo da área da fábrica.



**Figura 5 – Forno de fusão de ferro**  
**Fonte: Autoria própria**

Além das condições térmicas proporcionadas pelo forno, o ambiente externo também influencia no ambiente interno, de modo que dias de tempo seco agregam calor ao ambiente, tornando-o ainda mais insalubre, enquanto que em dias de chuva, a umidade se eleva e as condições internas de calor diminuem consideravelmente, o que cria nova variação nos dados obtidos.

Na Figura 6, estão demonstrados os pontos da fábrica onde as medições foram realizadas, definidos respeitando as restrições de espaço e movimentação dos trabalhadores e também a disposição de equipamentos presentes no ambiente da empresa. Os pontos mais próximos ao forno, maior fonte de calor, não puderam ser utilizados na pesquisa, pois são locais com grande movimentação de funcionários carregando metais fundidos e em grande quantidade, e os equipamentos de medição poderiam ser obstáculo perigoso. Também não foi possível realizar medições entre as esteiras, pois o espaço é reduzido e utilizado totalmente para a movimentação dos trabalhadores durante a atividade de vazamento das peças.



**Figura 6 – Localização dos pontos de execução de medições**  
**Fonte: Autoria própria**

Devido ao *layout*, condições de estresse térmico diferentes são encontradas em diferentes pontos da fábrica, onde a esteira 1 apresenta os maiores níveis, e a esteira 4 os menores. Executando medições em pontos diferentes e em dias diferentes, obtém-se a variabilidade de níveis de estresse térmico necessária para a execução deste estudo.

### 3.3 COLETA DE DADOS

#### 3.3.1 Coleta de dados ambientais

Nesta pesquisa foram utilizados métodos de análise de estresse térmico normalizados pelas ISO 7243 (1989) e ISO 7933 (2004). Para isso, fez-se necessário mensurar diversas variáveis ambientais, para então aplicar os métodos normalizados. As seguintes variáveis ambientais foram mensuradas: temperatura de bulbo seco (°C), temperatura de bulbo úmido (°C), temperatura de globo negro (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do ar (m/s).

Para a medição das variáveis ambientais foram utilizados dois equipamentos de medição: *Confortímetro Sensu®* e uma árvore de IBUTG, de propriedade da

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa, devidamente calibrados pelo fabricante.

O *Confortímetro Senu®* foi utilizado para mensurar a temperatura de bulbo seco, a temperatura de globo negro, a umidade relativa do ar e a velocidade do ar. Apesar de ser capaz de mensurar outros parâmetros, nesta pesquisa, a árvore de IBUTG foi utilizada apenas para a temperatura de bulbo úmido, por ser o único equipamento com este sensor, mas com a desvantagem de não registrar automaticamente os dados.

Os equipamentos foram colocados o mais próximo possível dos trabalhadores, na altura do abdômen, de modo que os mesmos não afetassem a locomoção e execução das atividades e fossem capazes de coletar os valores ambientais necessários ao cálculo dos índices adotados nesse estudo. As medições foram executadas após o meio dia, sempre durante o vazamento de peças, o que ocorre de duas e três vezes ao dia, de acordo com o planejamento de produção da empresa. O horário das fornadas não é fixo, de modo que o pesquisador acompanhou toda a jornada de trabalho do período vespertino para a coleta de dados. Na Figura 7, observam-se os equipamentos em funcionamento, durante a execução de uma medição no ponto 1, o local de coleta mais afastado do forno.



Figura 7 – Árvore de IBUTG e *Confortímetro Senu®* posicionados no ponto 1 de medição  
Fonte: Autoria própria

O tempo de medição utilizado teve um total de 50 minutos para cada coleta, sendo que 30 minutos foram utilizados para estabilizar os sensores dos

equipamentos, em equilíbrio térmico com o ambiente. Os demais 20 minutos foram de efetiva coleta de dados, com registro a cada 2 minutos. Em cada ponto de medição demonstrado na Figura 6 foi realizada a coleta de dados por cinco vezes, o que resulta num total de 30 medições.

Foi também realizada a coleta de dados relativos a duas variáveis pessoais para utilização do método da taxa requerida de suor: isolamento térmico das roupas dos trabalhadores e a taxa metabólica dos mesmos. O isolamento térmico da vestimenta dos trabalhadores utilizado nos cálculos da taxa requerida de suor teve como base a norma internacional ISO 9920 (2007), a qual fornece valores estimados de isolamento térmico para diversas peças de roupa. Já a taxa metabólica utilizada nos cálculos foi de acordo com os valores fornecidos pelas respectivas normas de cada índice de estresse térmico utilizado nesta pesquisa.

### 3.3.2 Coleta de dados de produtividade

Inicialmente, a empresa foi analisada juntamente com o setor de Engenharia da organização para verificar quais os possíveis modos de analisar sua produtividade. Esses dados foram coletados da maneira sugerida pela organização, conforme a própria fábrica avalia seu desempenho.

Conforme explanado anteriormente, as etapas principais do vazamento e que podem comprometer as peças e desperdiçar material são: tempo utilizado para o vazamento e a formação de respingos. Os trabalhadores possuem influência direta nessas duas etapas, uma vez que todo o vazamento é feito manualmente. Na Figura 8, observa-se a formação de respingos sobre o molde, após o vazamento, desperdiçando material.



**Figura 8 – Formação de respingos (no interior da circunferência em vermelho) durante vazamento**  
**Fonte: Autoria própria**

O indicador de produtividade utilizado neste trabalho foi o tempo utilizado para vazamento das peças. Como o tamanho da peça e o número de cavidades do molde influenciam no tempo necessário para o vazamento, a medição foi restringida para as peças de maior produção da fábrica, de acordo com seu peso. Após consulta com os gestores da organização, optou-se por avaliar a produtividade dos produtos com maior demanda, ou seja, os que utilizam 15 Kg de ferro fundido.

A tomada de tempo foi realizada através de cronômetro digital, e envolveu o processo desde o início de inclinação do recipiente contendo material fundido para vazar o molde, até o retorno do recipiente ao seu estado original, na horizontal, conforme a Figura 4.

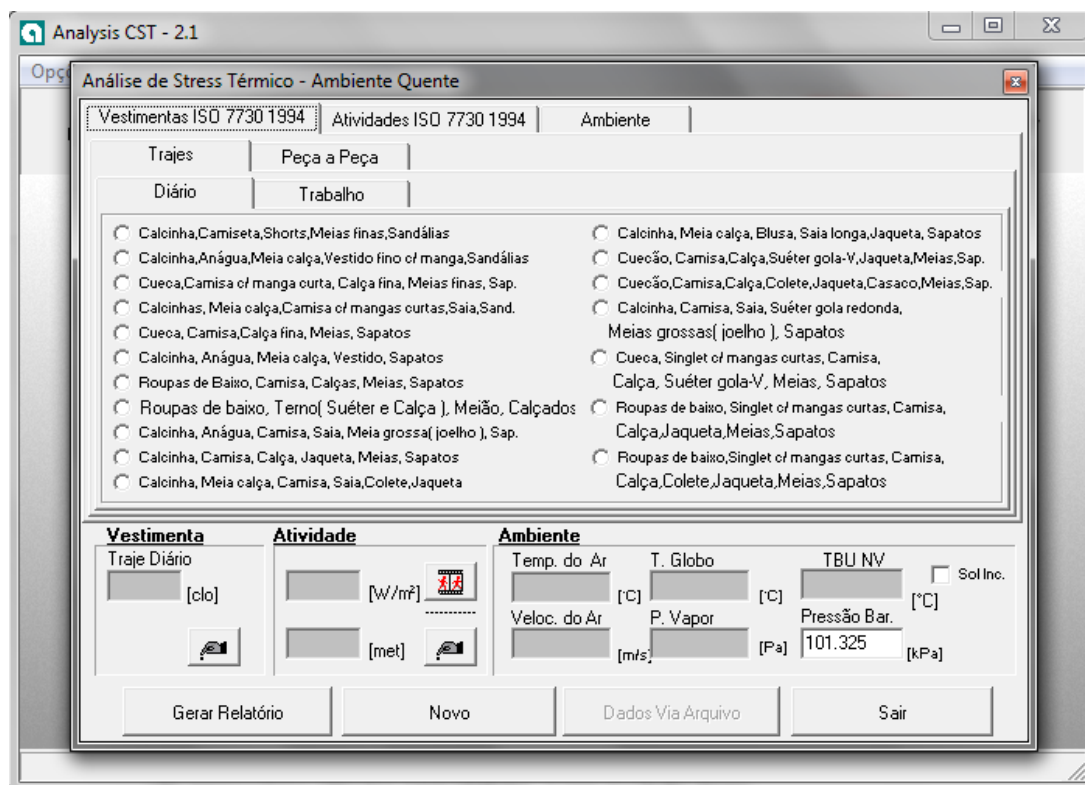
Em cada medição, de acordo com os pontos definidos na Figura 6, foram mensurados cinco vazamentos de peças, sendo que cada ponto foi mensurado cinco vezes, juntamente com a coleta de dados ambientais, com 150 medições no total.

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS

Para a análise dos dados coletados, tanto de ambiente e produtividade, foram utilizados softwares específicos para tratamento dos dados obtidos.

No que diz respeito ao cálculo dos índices IBUTG e  $SW_{req}$  foi utilizado o software Analysis CST (2013), desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina, e de distribuição gratuita para pesquisas acadêmicas. Por meio da inserção das variáveis ambientais coletadas, o software fornece um relatório com o

cálculo dos índices aplicados neste estudo. Na Figura 9 observa-se a tela principal de trabalho do software.



**Figura 9 – Tela principal de interface do software Analysis CST**  
**Fonte: adaptado de Analysis CST (2013)**

Os dados de produtividade foram analisados através de planilhas eletrônicas do software Microsoft Excel 2013, o qual permite a organização dos dados e cálculos estatísticos simples, como média e variância.

O software Minitab 16 foi utilizado para testar a normalidade das variáveis ambientais coletadas, com o objetivo de determinar se existem valores espúrios nas amostras coletadas. Tais valores podem prejudicar a análise de dados, pois se tratam de valores fora do padrão de dados coletados. Para o teste de normalidade foi aplicado o método de Anderson-Darling, utilizando teste de hipóteses com base no p-valor, com nível de confiança de 95%. Desse modo, se o p-valor encontrado foi maior que 0,05, a amostra terá sua normalidade de dados comprovada.

Por fim, para testar a hipótese desta pesquisa foi necessário determinar a correlação entre os índices de estresse térmico e índices de produtividade. Para tanto, dentro da estatística existe o coeficiente de correlação linear, que se trata de uma medida da força da relação entre duas variáveis que representam dados quantitativos (TRIOLA, 2008). Para efetuar tais cálculos, também foi utilizado o

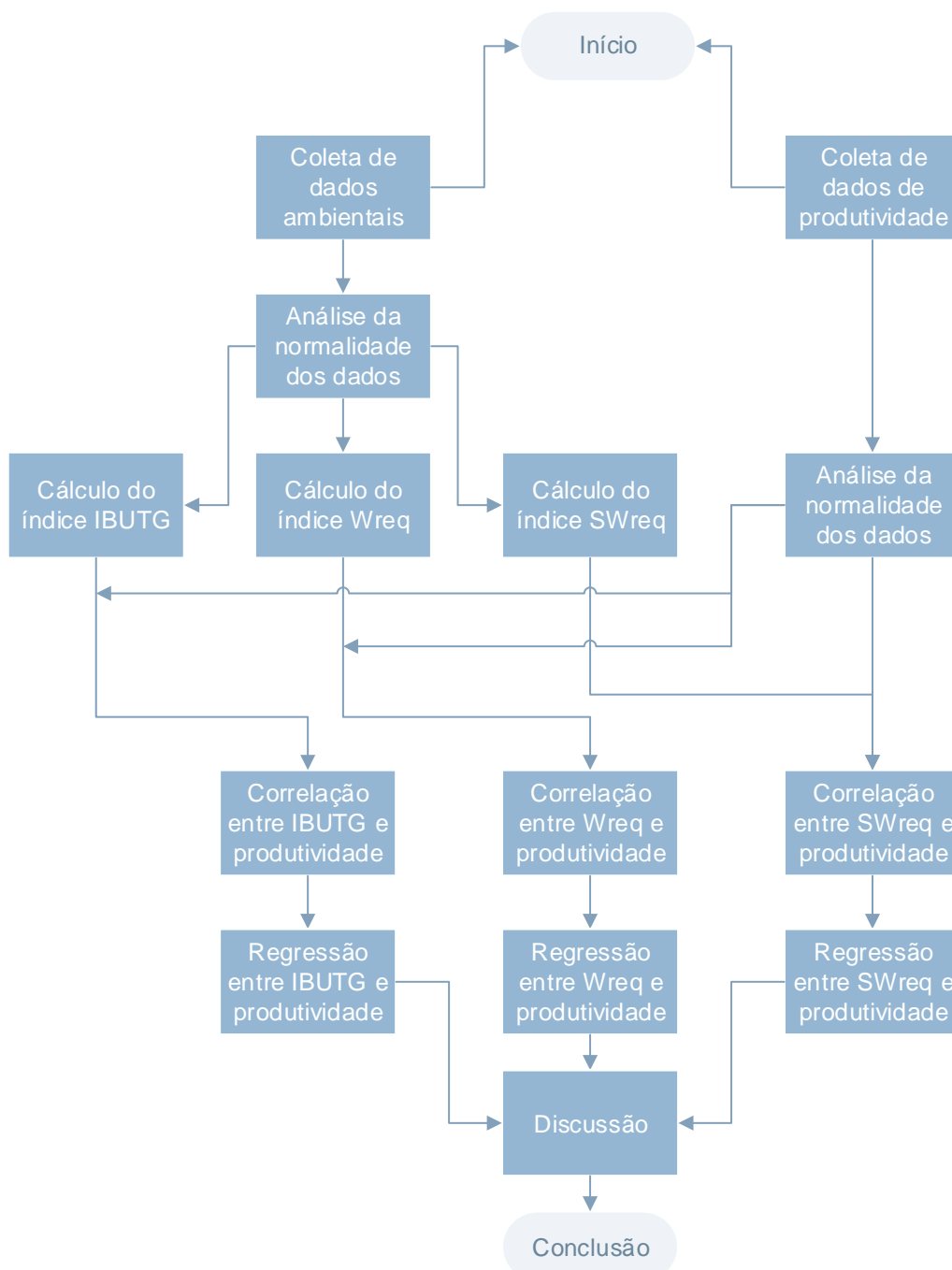
software Minitab 16, com testes de hipóteses e análise de correlação. A correlação entre os índices de produtividade e estresse térmico desejada deverão ser lineares, de modo que após a construção dos gráficos entre produtividade e estresse térmico, os pontos se aproximam do padrão de uma reta.

Foi realizada também análise de regressão linear entre a produtividade e os índices de estresse térmico, com o objetivo de determinar uma equação que possa prever a produtividade em função da variação dos índices de estresse térmico.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados desta pesquisa. A Figura 10, abaixo, demonstra todos os passos realizados para a obtenção dos resultados da pesquisa.



**Figura 10 – Fluxograma de pesquisa**  
**Fonte: Autoria própria**

Durante os meses de novembro e dezembro de 2013, foram realizadas medições das variáveis ambientais necessárias para avaliação de estresse térmico, de acordo com as metodologias IBUTG e  $SW_{req}$ , em uma indústria do setor de fundição na cidade de Ponta Grossa, Paraná. As variáveis ambientais mensuradas foram: temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo negro, temperatura do ar (bulbo seco), velocidade do ar e umidade relativa do ar.

A área da fábrica estudada foi dividida em seis pontos de medição, respeitando limitações de *layout* e circulação dos trabalhadores para execução de suas atividades. Cada um dos pontos foi mensurado cinco vezes, em cinco datas diferentes, o que leva a um total de 30 medições ambientais. A Tabela 4 apresenta as médias de cada variável ambiental, de acordo com sua respectiva medição.

**Tabela 4 – Valores médios obtidos para as variáveis ambientais mensuradas**

Med	Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)
1.1	22,03	25,62	24,26	0,47	62,80
1.2	22,82	26,18	27,05	0,46	57,40
1.3	23,70	29,59	29,20	0,45	54,40
1.4	20,94	24,96	23,39	0,50	78,00
1.5	23,04	26,84	27,14	0,49	58,20
2.1	23,39	30,53	29,85	0,46	62,00
2.2	26,53	30,78	29,77	0,48	56,40
2.3	25,20	31,87	31,14	0,42	58,30
2.4	22,32	29,04	26,61	0,44	61,70
2.5	24,57	27,73	26,36	0,41	60,10
3.1	23,12	29,75	29,37	0,17	55,00
3.2	23,83	31,39	31,26	0,18	52,20
3.3	26,83	31,63	31,60	0,19	53,90
3.4	25,30	31,06	30,49	0,20	56,30
3.5	26,27	31,15	30,92	0,18	55,30
4.1	26,40	34,12	32,89	0,36	51,80
4.2	25,81	32,45	31,57	0,35	54,30
4.3	26,81	34,55	33,16	0,45	51,10
4.4	25,33	32,29	31,52	0,35	54,60
4.5	25,57	32,94	32,45	0,40	52,50

**Tabela 4 - Valores médios obtidos para as variáveis ambientais mensuradas  
(conclusão)**

<b>5.1</b>	<b>23,20</b>	<b>33,12</b>	<b>31,19</b>	<b>0,34</b>	<b>48,30</b>
<b>5.2</b>	24,55	34,09	32,20	0,37	49,30
<b>5.3</b>	23,74	33,71	31,76	0,37	49,89
<b>5.4</b>	22,91	32,97	30,85	0,40	51,40
<b>5.5</b>	25,00	32,19	32,16	0,37	48,80
<b>6.1</b>	22,74	29,51	27,45	0,26	57,30
<b>6.2</b>	24,07	30,62	30,83	0,29	52,80
<b>6.3</b>	23,22	29,33	28,57	0,32	57,50
<b>6.4</b>	23,46	29,99	29,06	0,30	55,20
<b>6.5</b>	22,93	29,91	28,07	0,31	58,30

**Fonte: Autoria própria**

Na Tabela 4, a medição 1.1 significa que esta é a primeira medição no ponto 1, enquanto a medição 6.5 é a quinta medição no ponto 6.

#### 4.1 NORMALIDADE DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

A hipótese desta pesquisa foi testada através de análise estatística de correlação de variáveis. Por este motivo, é interessante verificar se as variáveis coletadas para o cálculo dos índices possuem distribuição normal, embora a não normalidade não invalide este estudo. Porém, a análise de normalidade permite que sejam encontrados possíveis valores espúrios para que possam ser retirados, e com isso melhorar a qualidade dos dados obtidos.

Para analisar a normalidade das variáveis foi utilizado o software Minitab, o qual utiliza o teste de Anderson-Darling. As análises de normalidade consistem basicamente em testes de hipótese baseados no p-valor, onde p deve ser maior que 0,05 para que a probabilidade de que a distribuição seja normal com um grau de confiança de 95%. A seguir estão as hipóteses para o teste de normalidade, de modo que se o p-valor for menor que 0,05, rejeita-se a hipótese nula.

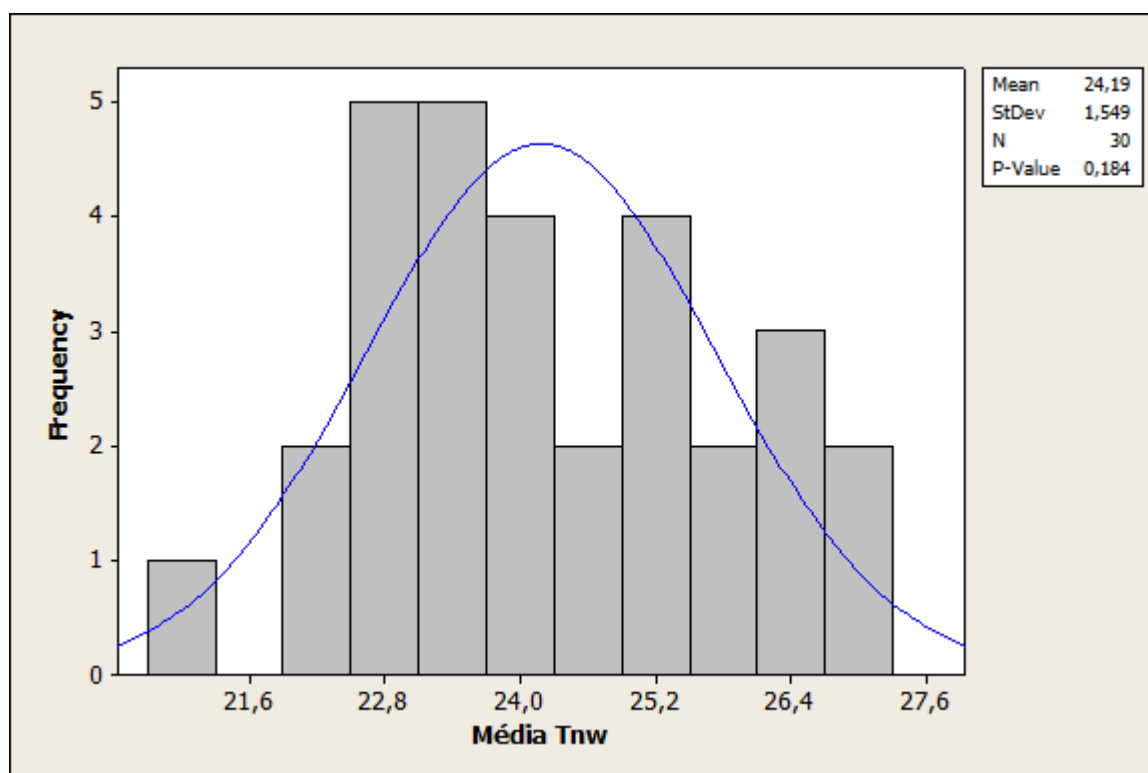
- H<sub>0</sub>: os dados seguem distribuição normal;
- H<sub>1</sub>: os dados não seguem distribuição normal.

Os testes de normalidade foram realizados para cada uma das variáveis ambientais necessárias ao cálculo dos índices IBUTG e  $SW_{req}$ , de acordo com as médias demonstradas na Tabela 4.

Não foram realizados testes de normalidade para a taxa metabólica e isolamento térmico, pois os mesmos foram considerados constantes, visto que os funcionários utilizam uniforme padrão da organização e realizam as mesmas atividades durante o vazamento de peças.

#### 4.1.1 Análise de normalidade: temperatura de bulbo úmido

A seguir observa-se o gráfico de normalidade para os dados coletados de temperatura de bulbo úmido.



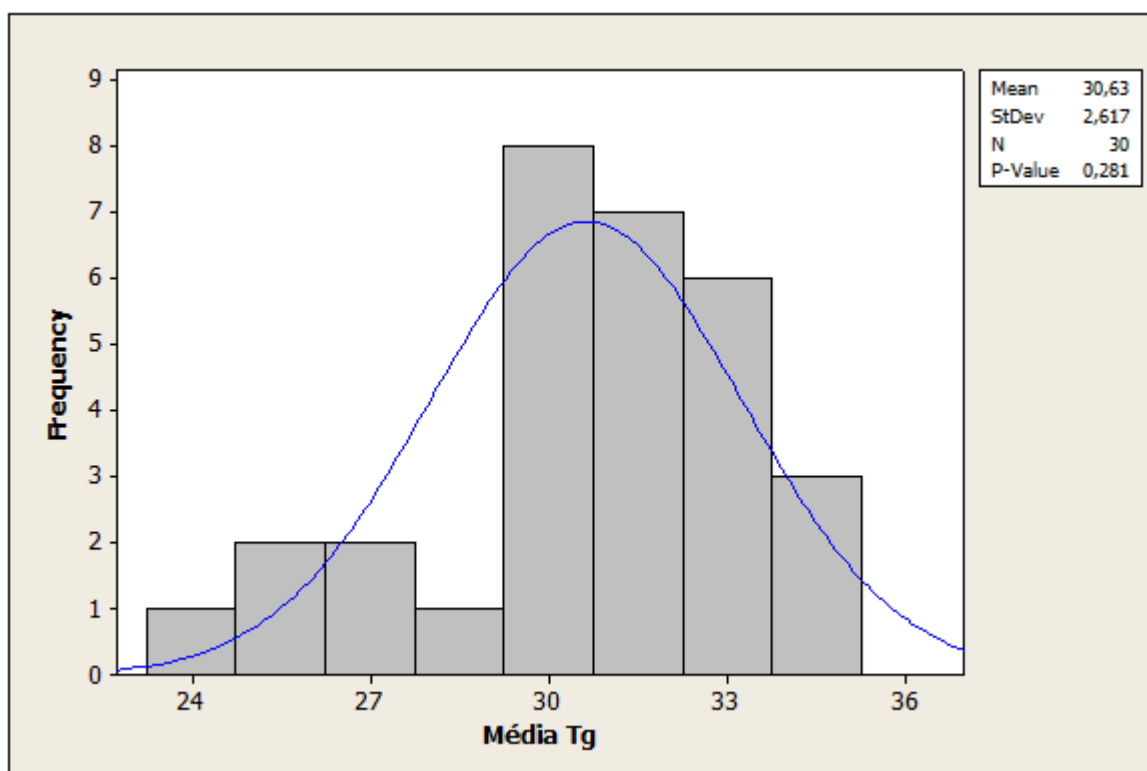
**Gráfico 3 – Normalidade – Temperatura de bulbo úmido**  
Fonte: Autoria própria

Observa-se que a temperatura de bulbo úmido possui distribuição normal, de acordo com o teste de Anderson-Darling. Obteve-se um valor de p de 0,184, ou seja maior que 0,05. Se p-valor for maior que o nível de significância, os dados apresentam distribuição normal. Assim, aceita-se a hipótese nula, o que significa

que há 95% de probabilidade de que a temperatura de bulbo úmido possua distribuição normal. A média obtida foi de 24,19 °C, com desvio padrão de 1,549.

#### 4.1.2 Análise de normalidade: temperatura de globo negro

A seguir observa-se o gráfico de normalidade para os dados coletados de temperatura de globo negro.

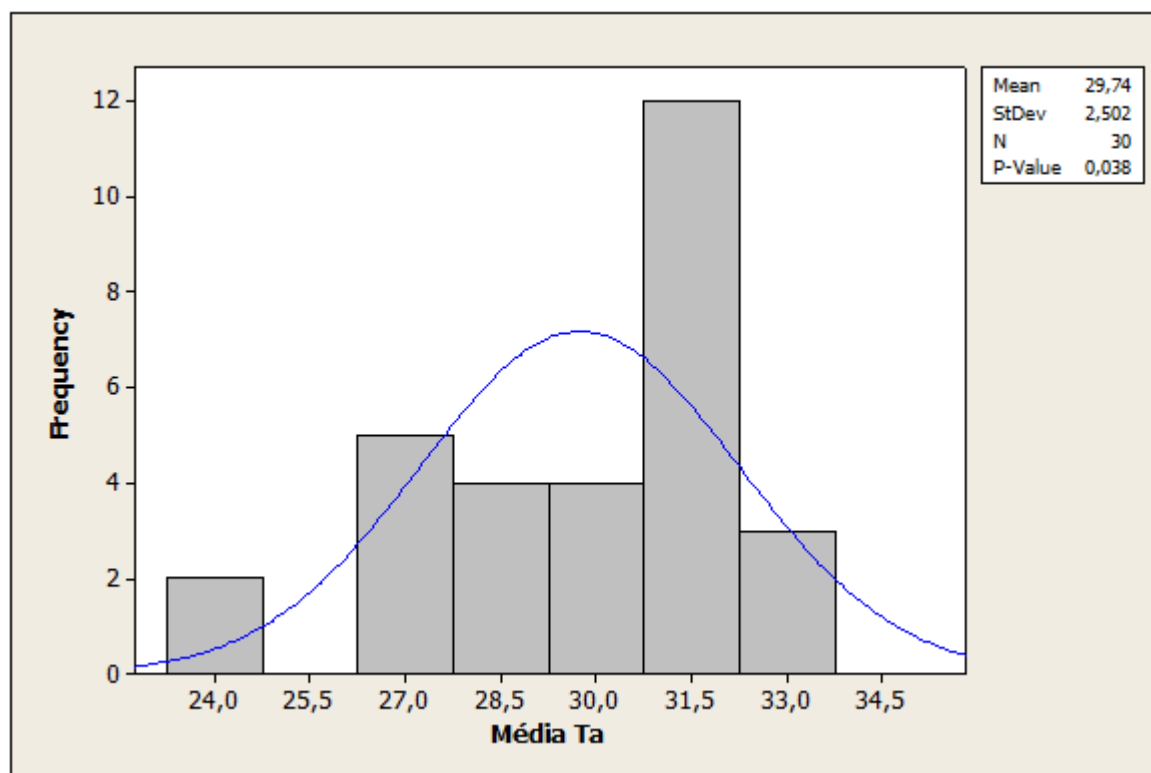


**Gráfico 4 – Normalidade – Temperatura de globo negro**  
Fonte: Autoria própria

Observa-se que a temperatura de bulbo negro possui distribuição normal, de acordo com o teste de Anderson-Darling. Obteve-se um valor de p de 0,281, ou seja maior que 0,05. Assim, aceita-se a hipótese nula, o que significa que há 95% de probabilidade de que a temperatura de bulbo negro possua distribuição normal. A média obtida foi de 30,63 °C, com desvio padrão de 2,617.

#### 4.1.3 Análise de normalidade: temperatura do ar

A seguir observa-se o gráfico de normalidade para os dados coletados de temperatura do ar, ou temperatura de bulbo seco.

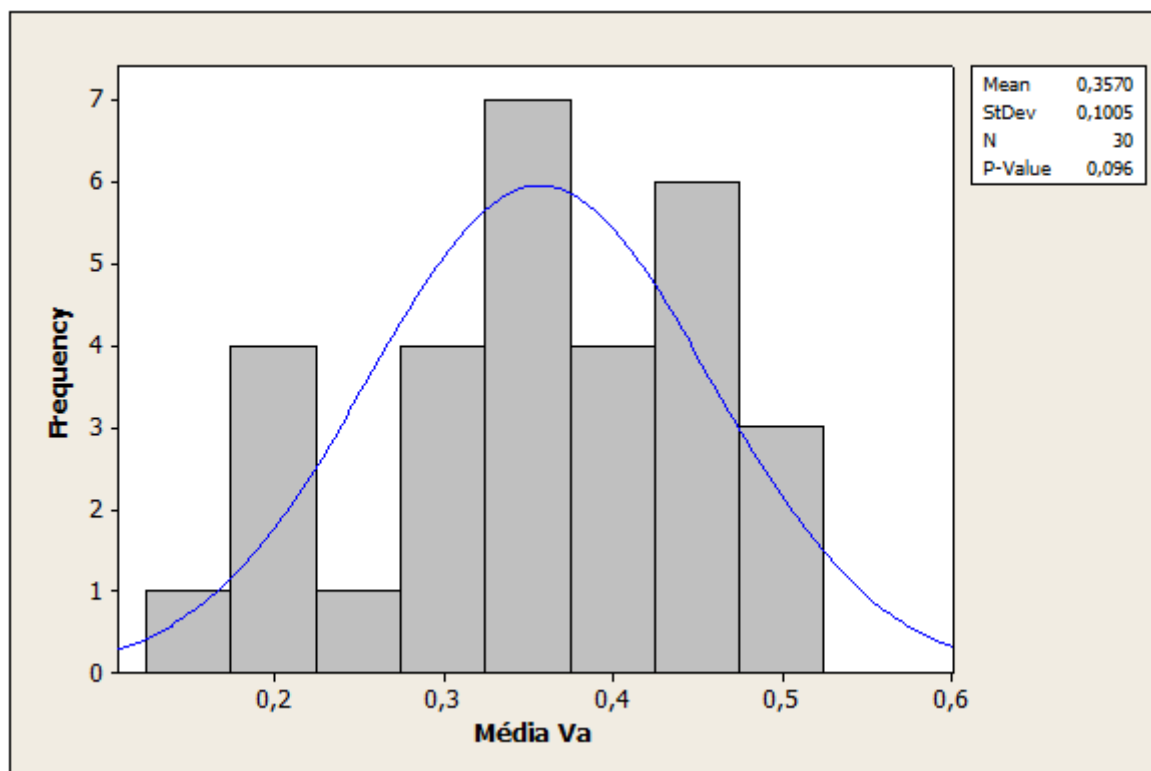


**Gráfico 5 – Normalidade – Temperatura do ar**  
Fonte: Autoria própria

A temperatura do ar possui distribuição normal, de acordo com o teste de Anderson-Darling. Obteve-se um valor de  $p$  de 0,038, ou seja menor que 0,05. Assim, rejeita-se a hipótese nula. A média obtida foi de 29,74 °C, com desvio padrão de 2,502.

#### 4.1.4 Análise de normalidade: velocidade do ar

A seguir observa-se o gráfico de normalidade para os dados coletados de velocidade do ar.



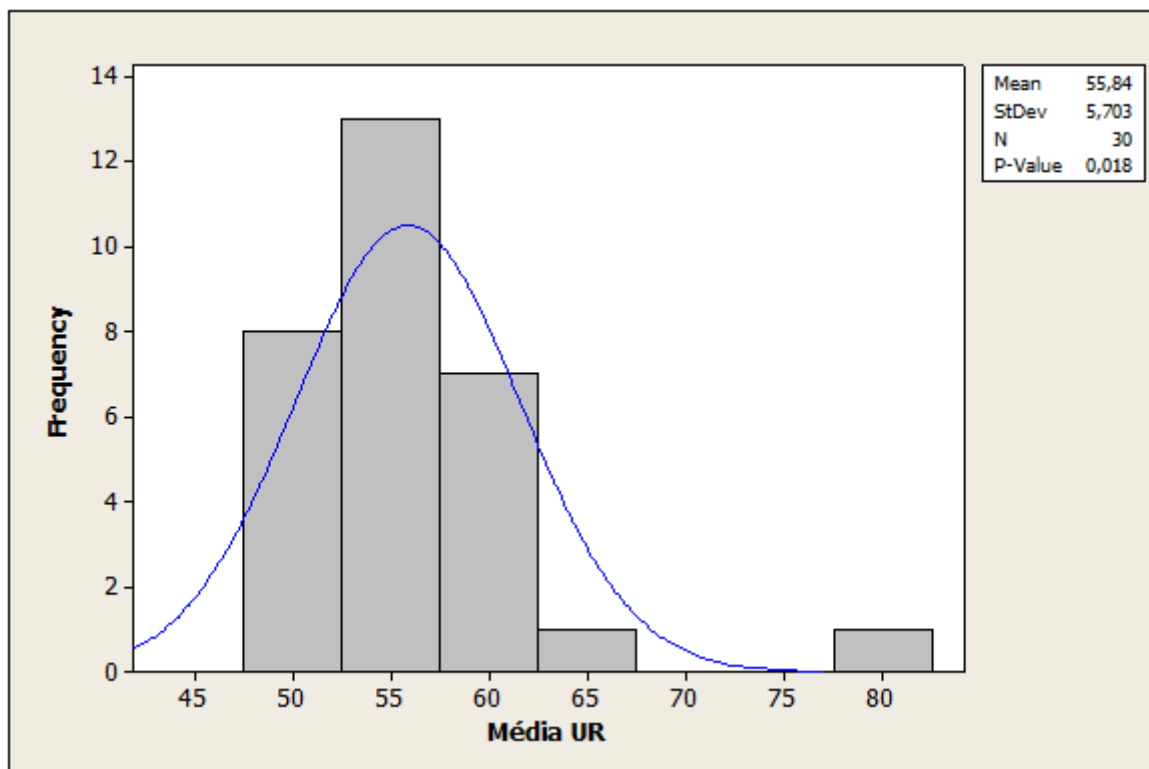
**Gráfico 6 – Normalidade – Velocidade do ar**  
**Fonte: Autoria própria**

A velocidade do ar possui distribuição normal, de acordo com o teste de Anderson-Darling. Obteve-se um valor de p de 0,096, ou seja maior que 0,05.

Assim, aceita-se a hipótese nula, o que significa que há 95% de probabilidade de que a velocidade do ar possua distribuição normal. A média obtida foi de 0,357 m/s, com desvio padrão de 0,1005.

#### 4.1.5 Análise de normalidade: umidade relativa do ar

Por fim, no gráfico a seguir observa-se a curva normal para a variável umidade relativa do ar, última das variáveis ambientais coletadas na organização em que este estudo fora realizado.



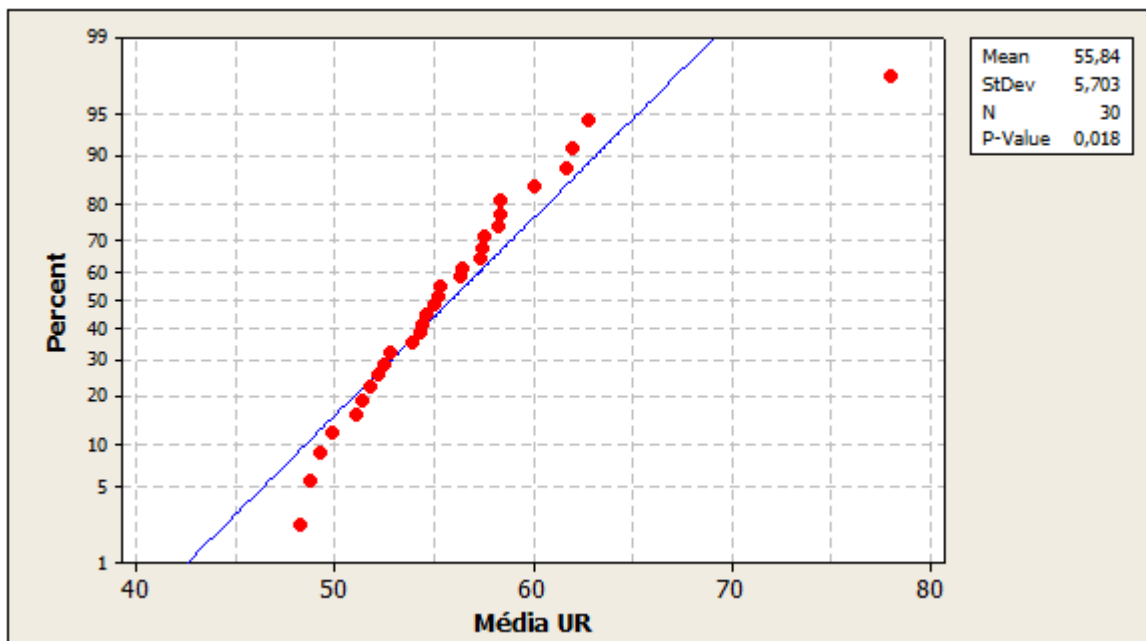
**Gráfico 7 – Normalidade – Umidade relativa do ar**  
**Fonte: Autoria própria**

A umidade relativa do ar possui distribuição normal, de acordo com o teste de Anderson-Darling. Obteve-se um valor de p de 0,018, ou seja menor que 0,05.

Assim, rejeita-se a hipótese nula, o que significa que há 95% de probabilidade de que a velocidade do ar possua distribuição normal. A média obtida foi de 55,84 %, com desvio padrão de 5,703. Nota-se que há um valor espúrio, localizado fora da curva normal, na medição 1.4 (Tabela 4), ou seja, a quarta medição no ponto 1, e deu-se pelo fato de ter chovido no dia da medição, o que elevou consideravelmente os valores de umidade relativa, como era-se de esperar.

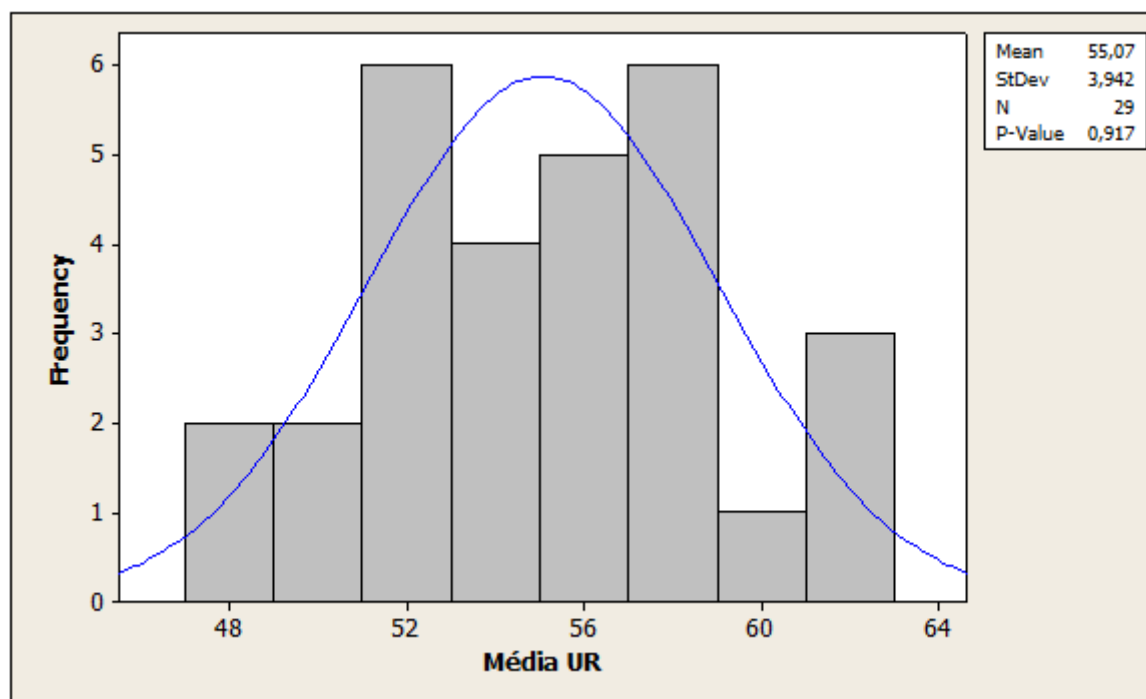
Em outra forma de representar os resultados, no Gráfico 8 observa-se claramente como o valor espúrio afasta-se dos demais dados coletados.





**Gráfico 8 – Normalidade – Análise do valor espúrio da medição 1.4**  
 Fonte: Autoria própria

Para uma melhor validação das análises, o ponto considerado espúrio pode ser removido, e outra análise pode ser realizada. A seguir observa-se o novo teste de normalidade, após a remoção do valor de umidade de 78%.



**Gráfico 9 – Normalidade – Análise após retirada do valor espúrio**  
 Fonte: Autoria própria

Após a retirada do valor espúrio e a realização de novo teste de normalidade de acordo com o método Anderson-Darling, obteve-se o Gráfico 9. O novo p-valor foi de 0,917, muito acima do valor encontrado anteriormente de apenas 0,018, e a hipótese nula passou a ser aceita. O valor da média diminuiu para 55,07%, e o desvio padrão diminuiu para 3,942, portanto, melhorando a qualidade dos dados.

Após a análise realizada para todas as variáveis ambientais, comprovou-se que todos os valores mensurados atendem às condições de normalidade, de acordo com o método Anderson-Darling.

## 4.2 ANÁLISE DO ESTRESSE TÉRMICO

A seguir serão analisados os dados obtidos nas medições, porém do ponto de vista térmico. Serão aplicado os índices IBUTG e  $SW_{req}$ , sendo que o índice IBUTG será interpretado de acordo com duas normas: NR 15 (2011) e ISO 7243 (1989).

O objetivo destas análises é, primeiramente, verificar a existência do estresse térmico no ambiente estudado, e, posteriormente, aplicar a análise de correlação com a produtividade para testar a hipótese da pesquisa.

### 4.2.1 IBUTG: estresse térmico segundo a NR 15 (2011) e ISO 7243 (1989)

O Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo está presente em duas normalizações, sendo que a única diferença das mesmas é a interpretação dos dados, visto que o método de cálculo é idêntico, conforme demonstrado nas Equações 1 e 2. Como a fábrica analisada neste estudo constitui-se em um ambiente fechado, a equação aplicada foi a Equação 1.

A fim de testar a hipótese proposta em 1.6, é necessário determinar o índice IBUTG para cada uma das 30 medições executadas, para que posteriormente possam ser comparadas com a produtividade da fábrica.

Os resultados obtidos para o índice IBUTG são apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7, a seguir.

**Tabela 5 – Cálculo do índice IBUTG para os Pontos 1 e 2**

Ponto 1	Tnw (°C)	Tg (°C)	IBUTG	Ponto 2	Tnw (°C)	Tg (°C)	IBUTG
1.1	22,03	25,62	23,11	2.1	23,39	30,53	25,53
1.2	22,82	26,18	23,83	2.2	26,53	30,78	27,81
1.3	23,70	29,59	25,47	2.3	25,20	31,87	27,20
1.4	20,94	23,96	21,85	2.4	22,32	29,04	24,34
1.5	23,04	26,84	24,18	2.5	24,57	27,73	25,52

Fonte: Autoria própria

**Tabela 6 – Cálculo do índice IBUTG para os Pontos 3 e 4**

Ponto 3	Tnw (°C)	Tg (°C)	IBUTG	Ponto 4	Tnw (°C)	Tg (°C)	IBUTG
3.1	23,12	29,75	25,11	4.1	26,40	34,12	28,72
3.2	23,83	31,39	26,10	4.2	25,81	32,45	27,80
3.3	26,83	31,63	28,27	4.3	26,81	34,55	29,13
3.4	25,30	31,06	27,03	4.4	25,33	32,29	27,42
3.5	26,27	31,15	27,73	4.5	25,57	32,94	27,78

Fonte: Autoria própria

**Tabela 7 – Cálculo do índice IBUTG para os Pontos 5 e 6**

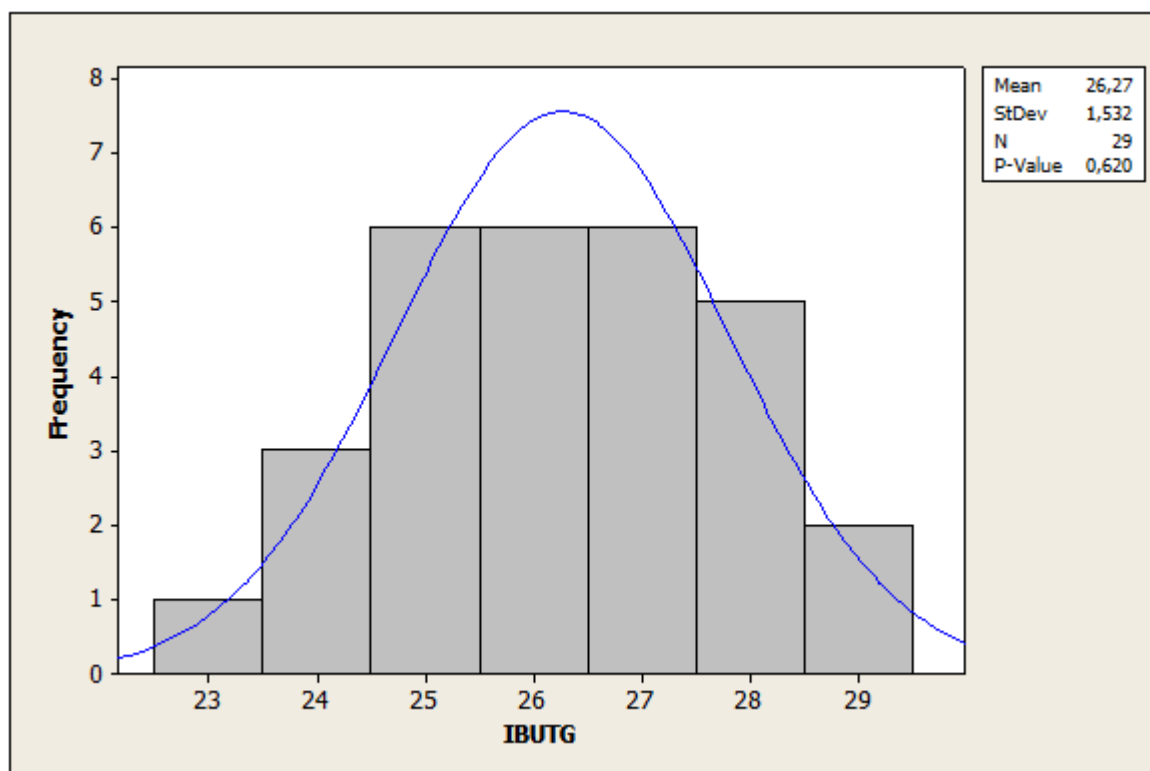
Ponto 5	Tnw (°C)	Tg (°C)	IBUTG	Ponto 6	Tnw (°C)	Tg (°C)	IBUTG
5.1	23,20	33,12	26,18	6.1	22,74	29,51	24,77
5.2	24,55	34,09	27,41	6.2	24,07	30,62	26,04
5.3	23,74	33,71	26,73	6.3	23,22	29,33	25,05
5.4	22,91	32,97	25,93	6.4	23,46	29,99	25,42
5.5	25,00	32,19	27,16	6.5	22,93	29,91	25,02

Fonte: Autoria própria

Devido à diferença entre os limites máximos de exposição e de determinação da taxa metabólica entre as duas normas utilizadas, as interpretações de estresse térmico serão realizadas separadamente, nos tópicos a seguir.

No entanto, como o índice IBUTG é fator crucial no presente estudo, foi realizada a análise de normalidade de acordo com o método Anderson-Darling para os resultados obtidos nas Tabelas 5, 6 e 7.

O Gráfico 10 apresenta o teste de normalidade realizado para o IBUTG, contendo 29 medições, pois de acordo com a análise de normalidade demonstrada em 4.1.5, a medição 1.4 foi considerada espúria e foi descartada.



**Gráfico 10 – Normalidade do índice IBUTG**  
**Fonte: Autoria própria**

Observa-se que a normalidade foi comprovada de acordo com o teste Anderson-Darling, pois o p-valor encontrado foi de 0,620, o que permite aceitar a hipótese nula de que os dados seguem distribuição normal com 95% de confiança. A média de IBUTG foi de 26,27 °C, com desvio padrão de 1,532.

#### 4.2.1.1 IBUTG segundo a NR 15 (2011)

Para avaliar o estresse térmico de um determinado local pelo método IBUTG deve-se, primeiramente, mensurar as variáveis ambientais e calcular o índice aplicando a Equação 1. O próximo passo é determinar a taxa metabólica da atividade do trabalhador, o que de acordo com a NR 15 é realizado através do quadro contido em seu Anexo 3, e que pode ser visualizado no Quadro 1, a seguir.

Atividade	Tipo de trabalho
Sentado, movimentos moderados com braço e tronco Sentado, movimentos moderados com braços e pernas De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços	Leve
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 e empurrar	Moderado
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos Trabalho fatigante	Pesado

**Quadro 1 – Classificação de atividades segundo a NR 15**  
**Fonte: Adaptado da NR 15 – Anexo 3 (2011)**

De acordo com a descrição de atividades realizadas em 3.2, a atividade de vazamento caracteriza-se como uma atividade pesada, pois de acordo com o Quadro 1 pode ser classificada como “Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos”, descrição compatível com a atividade de vazamento de peças manualmente.

O passo seguinte da análise de estresse térmico pelo método IBUTG segundo a NR 15 (2011) é comparar o índice calculado com a Tabela 2 e determinar qual o limite máximo de IBUTG, de acordo com a classificação de atividades do Quadro 1.

De acordo com a Tabela 2, para que o trabalho de vazamento possa ser executado durante 60 minutos por hora, ou seja, sem interrupções, o limite máximo de IBUTG para que o trabalhador não entre em condição de estresse térmico é de 25 °C.

Em situações em que o valor do IBUTG ultrapasse esse valor, a jornada de trabalho deve ser reduzida, de acordo com a Tabela 2, sendo que o limite máximo de IBUTG para que não ocorra nenhum tipo de atividade é de 30 °C.

Cada ponto de medição foi avaliado individualmente, considerando como índice IBUTG a média entre os índices calculados e demonstrados nas Tabelas 5, 6 e 7. Porém, qualquer valor de IBUTG acima do de 25 °C torna o local insalubre, com condições de estresse térmico. A Tabela 8 apresenta os resultados da interpretação dos dados de acordo com a NR 15 (2011).

**Tabela 8 – Análise de estresse térmico segundo a NR 15 (2011) para o limite de IBUTG de 25 °C**  
**Fonte: Autoria própria**

A Tabela 8 demonstra que apenas o ponto 1 não apresenta características de estresse térmico. Isso se deve ao fato deste ponto ser um dos mais afastados do forno de fusão e estar próximo de uma das entradas da fábrica, o que lhe confere maior ventilação e menos influência da radiação proveniente do forno.

Todos os demais pontos apresentaram condições de estresse térmico, porém em níveis diferentes. Destaca-se o ponto 4, pois o mesmo atingiu as condições mais graves de estresse térmico, permitindo uma jornada de trabalho de apenas 15 minutos de trabalho e 45 minutos de descanso. O ponto 4 foi o ponto de medição mais próximo do forno de fusão, o que justifica sua condição insalubre, devido principalmente à radiação proveniente do forno, com temperaturas de globo de até 34,7 °C.

#### 4.2.1.2 IBUTG segundo a ISO 7243 (1989)

Assim como na NR 15, para avaliar o estresse térmico de um determinado local pelo método IBUTG segundo a ISO 7243 (1989) deve-se, primeiramente, mensurar as variáveis ambientais e calcular o índice aplicando a Equação 1, determinar a taxa metabólica da atividade do trabalhador, e comparar os valores obtidos com os limites máximos de IBUTG de acordo com a respectiva norma.

Pela ISO 7243 (1989), considera-se também se o trabalhador passou por um processo de aclimatação, ou seja, se o indivíduo foi submetido progressivamente às condições térmicas do ambiente. Nesta pesquisa, como os trabalhadores já trabalham há meses na organização, considerou-se que os mesmos já estão aclimatados. Ainda existe outra particularidade, pois dependendo do nível de IBUTG, é necessário avaliar se existe movimento de ar perceptível. Neste trabalho, considerou-se que existe movimento de ar perceptível, pois em todas as medições foram mensuradas velocidades de ar maiores do que 0 m/s.

A Tabela 9, abaixo, apresenta a classificação das atividades de acordo com sua respectiva taxa metabólica.

Tabela 9 – Valores de referência para o índice IBUTG

Class	Metabolic rate range, $M$		Value to be used for calculation of mean metabolic rate		Examples
	related to a unit skin surface area $W/m^2$	for a mean skin surface area of $1,8 m^2$ $W$	$W/m^2$	$W$	
0 Resting	$M \leq 65$	$M \leq 117$	65	117	Resting
1 Low metabolic rate	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	100	180	<b>Sitting at ease</b> : light manual work (writing, typing, drawing, sewing, book-keeping); hand and arm work (small bench tools, inspection, assembly or sorting of light materials); arm and leg work (driving vehicle in normal conditions, operating foot switch or pedal).  <b>Standing</b> : drill (small parts); milling machine (small parts); coil winding; small armature winding; machining with low power tools; casual walking (speed up to 3,5 km/h).
2 Moderate metabolic rate	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	165	297	Sustained hand and arm work (hammering in nails, filling); arm and leg work (off-road operation of lorries, tractors or construction equipment); arm and trunk work (work with pneumatic hammer, tractor assembly, plastering, intermittent handling of moderately heavy material, weeding, hoeing, picking fruit or vegetables); pushing or pulling light-weight carts or wheelbarrows; walking at a speed of 3,5 km/h to 5,5 km/h; forging.
3 High metabolic rate	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	230	414	Intense arm and trunk work; carrying heavy material; shovelling; sledge hammer work; sawing, planing or chiselling hard wood; hand mowing; digging; walking at a speed of 5,5 km/h to 7 km/h.  Pushing or pulling heavily loaded handcarts or wheelbarrows; chipping castings; concrete block laying.
4 Very high metabolic rate	$M > 260$	$M > 468$	290	522	Very intense activity at fast to maximum pace; working with an axe; intense shovelling or digging; climbing stairs, ramp or ladder; walking quickly with small steps, running, walking at a speed greater than 7 km/h.

Fonte: ISO 7243 (1989)

De acordo com a descrição de atividades realizadas em 3.2, a atividade de vazamento caracteriza-se como uma atividade taxa metabólica alta, pois de acordo com a Tabela 9, pode ser classificada como “Trabalho intenso de braços e tronco; carregando material pesado”, descrição compatível com a atividade de vazamento de peças manualmente. Percebe-se uma maior precisão na determinação da taxa metabólica pela ISO 7243 (1989), uma vez que a mesma possui cinco níveis de taxa metabólica diferentes (a NR 15 do ano de 2011 possui apenas três níveis), além de descrições mais detalhadas de cada nível metabólico.

Os limites de IBUTG de acordo com a ISO 7243 (1989) foram demonstrados na Tabela 1. Para que o trabalho de vazamento possa ser executado, o limite máximo de IBUTG para que o trabalhador não entre em condição de estresse térmico é de 26 °C. No caso da ISO 7243 (1989) não existem jornadas menores que possam empregadas para adequar o ambiente, de modo que se houver estresse térmico o trabalho deve ser interrompido até que as medidas para reduzir o estresse térmico sejam tomadas. Alguns exemplos de ações são, por exemplo: controle das

variáveis do ambiente, modificação do nível da atividade (e assim, a taxa metabólica) e uso de equipamentos de proteção individual.

A Tabela 10 apresenta os resultados da interpretação dos dados de acordo com a ISO 7243 (1989).

**Tabela 10 – Análise de estresse térmico segundo a ISO 7243 (1989) para o limite de IBUTG de 26 °C**

Ponto	IBUTG Real (°C)	Jornada recomendada
1	24,15	Trabalho permitido
2	26,08	Trabalho não permitido
3	26,85	Trabalho não permitido
4	28,17	Trabalho não permitido
5	26,68	Trabalho não permitido
6	25,26	Trabalho permitido

**Fonte: Autoria própria**

A Tabela 10 demonstra que os pontos 1 e 6 não apresentam características de estresse térmico, permitindo a execução das atividades sem que os trabalhadores entrem em condição de estresse térmico.

Todos os demais pontos apresentaram condições de estresse térmico, de modo que não é permitida a execução de atividades nestes locais sem que sejam tomadas medidas para levar à redução do nível de estresse térmico no pontos 2, 3, 4 e 5.

#### 4.2.2 SWreq: estresse térmico de acordo com a ISO 7933 (2004)

A análise do estresse térmico pelo método da taxa requerida de suor é mais complexa do que o índice IBUTG pois envolve mais variáveis ambientais além da temperatura de globo negro e da temperatura de bulbo úmido, e também duas variáveis pessoais: isolamento térmico da vestimenta e taxa metabólica.

O isolamento térmico da vestimenta dos trabalhadores foi obtido com base na norma ISO 9920 (2007) – Ergonomia do ambiente térmico – Estimativa do isolamento térmico e da resistência ao vapor de água de vestimentas. Essa norma foi utilizada em função de que fornece uma quantidade maior de peças de roupa para cálculo do isolamento térmico, ao contrário da ISO 7933 (2004) que fornece



apenas uma tabela bastante restrita. A Tabela 11 apresenta o isolamento térmico do uniforme dos trabalhadores.

**Tabela 11 – Isolamento térmico do uniforme dos trabalhadores**

Peça de roupa	Isolamento térmico (clo)
Cueca	0,04
Meias	0,02
Calças	0,24
Camiseta	0,12
Botas	0,03
Boné	0,01
<b>Total</b>	<b>0,46</b>

Fonte: Adaptado da ISO 9920 (2007)

Verificou-se na Tabela 11 que o isolamento térmico das roupas é de 0,46 clo. Esse valor seria maior se os operadores utilizassem os demais equipamentos de proteção individual fornecidos, como perneiras e braçadeiras para proteção contra respingos de material fundido.

A organização reconhece o problema da não utilização dos equipamentos de proteção individual e afirmou buscar investimentos para o ano de 2014, sendo este um dos motivos para que o nome da organização não fosse divulgado nesta pesquisa.

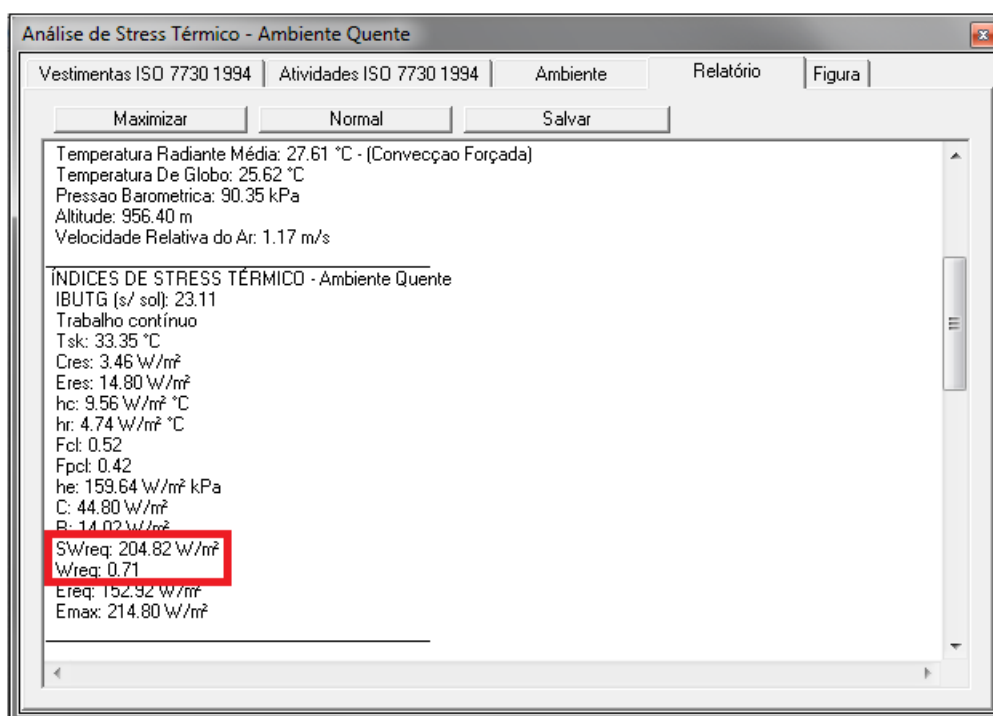
Assim como nos métodos anteriores é necessário determinar a taxa metabólica da atividade, sendo que a própria ISO 7933 (2004) fornece uma tabela para consulta. No entanto, as atividades descritas nesta norma não condizem com a atividade de vazamento de peças, ou seja, não é possível determinar a correta taxa metabólica para o vazamento.

Diante dessa dificuldade, optou-se por utilizar o valor médio de taxa metabólica fornecida pela norma ISO 7243 (1989), que fornece um intervalo de taxa metabólica de  $200 < M \leq 260$ . Assim, para a aplicação do método da taxa requerida de suor, foi utilizada a taxa metabólica de 230 W/m<sup>2</sup>.

A análise de estresse térmico de acordo com a ISO 7243 (2004) caracteriza-se pelo cálculo de dois índices: fração de pele molhada (W) e a taxa de suor (SW) propriamente dita. A análise caracteriza-se por calcular os valores requeridos desses dois índices para impedir que o corpo entre em condição de estresse térmico, e

compará-los com os valores máximos informados na Tabela 3. Assim, calcula-se o  $W_{req}$  e  $SW_{req}$  para analisar o ambiente.

Como informado no tópico 3.4, o estresse térmico pela metodologia da taxa requerida de suor foi avaliado através da utilização do software Analysis CST. Foram realizadas 29 análises, visto que uma das medições foi descartada por conter dados espúrios. Na Figura 5 observa-se o relatório da análise 1.1, com destaque para o cálculo dos índices  $W_{req}$  e  $SW_{req}$ .



**Figura 11 – Tela de relatório do software Analysis CST**  
Fonte: adaptado de Analysis CST

Os resultados obtidos para o método da taxa requerida de suor são apresentados, nas Tabelas 12, 13 e 14, a seguir.

**Tabela 12 – Cálculo dos índices  $W_{req}$  e  $SW_{req}$  para os Pontos 1 e 2**

Ponto 1	$W_{req}$	$SW_{req}$	Ponto 2	$W_{req}$	$SW_{req}$
1.1	0,71	204,82	2.1	1,01	376,06
1.2	0,77	228,43	2.2	0,94	338,01
1.3	0,88	294,99	2.3	1,06	393,71
1.4	0,75	200,73	2.4	0,84	270,45
1.5	0,79	237,78	2.5	0,80	246,73

Fonte: Autoria própria

**Tabela 13 – Cálculo dos índices  $W_{req}$  e  $SW_{req}$  para os Pontos 3 e 4**

Ponto 3	$W_{req}$	$SW_{req}$	Ponto 4	$W_{req}$	$SW_{req}$
---------	-----------	------------	---------	-----------	------------

3.1	0,94	329,39	4.1	1,09	421,06
3.2	1,01	388,02	4.2	0,94	303,64
3.3	1,06	392,07	4.3	1,09	427,33
3.4	1,06	382,24	4.4	1,04	398,27
3.5	1,04	384,93	4.5	1,06	408,24

Fonte: Autoria própria

**Tabela 14 – Cálculo dos índices  $W_{req}$  e  $SW_{req}$  para os Pontos 5 e 6**

Ponto 5	$W_{req}$	$SW_{req}$	Ponto 6	$W_{req}$	$SW_{req}$
5.1	0,95	369,64	6.1	0,87	284,99
5.2	1,02	417,56	6.2	0,97	357,47
5.3	0,99	403,80	6.3	0,90	302,09
5.4	0,97	378,16	6.4	0,91	312,66
5.5	0,98	385,33	6.5	0,90	304,18

Fonte: Autoria própria

Os Gráficos 11 e 12 apresentam os testes de normalidade realizados para o  $W_{req}$  e  $SW_{req}$ , contendo 29 medições, pois de acordo com a análise de normalidade demonstrada em 4.1.5, a medição 1.4 foi considerada espúria e foi descartada.

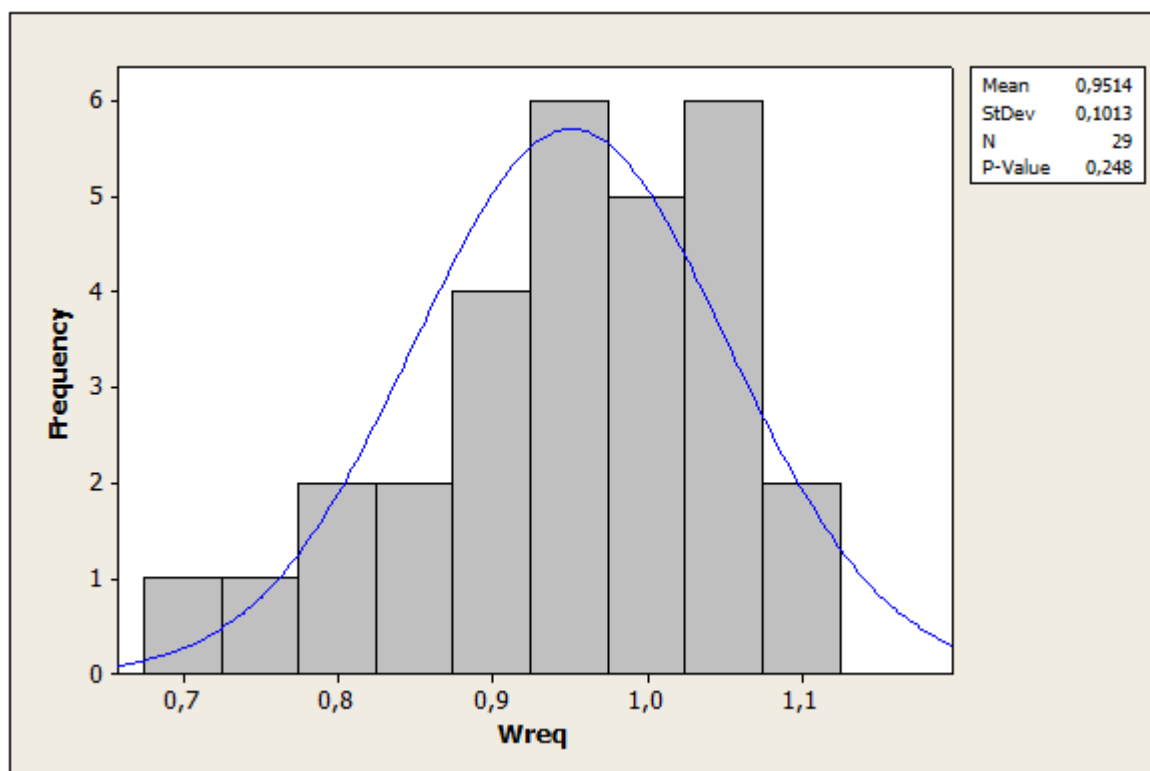
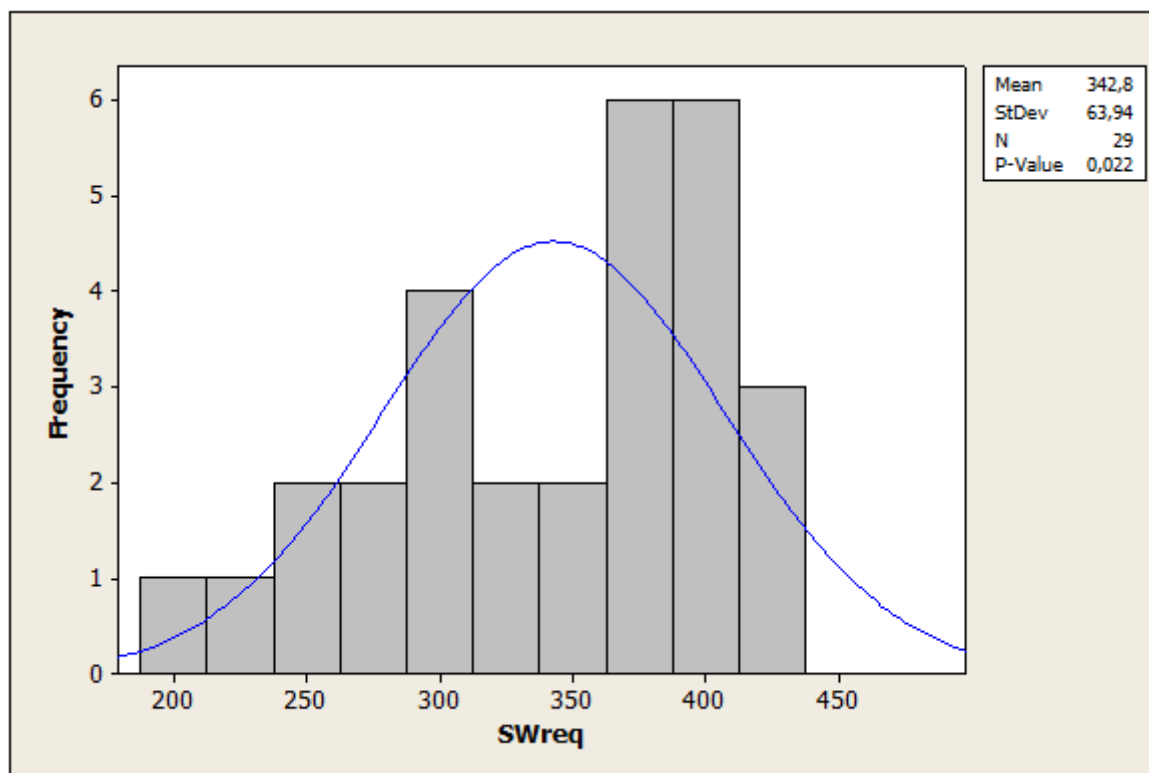


Gráfico 11 – Normalidade do índice  $W_{req}$   
Fonte: Autoria própria

Observa-se que a normalidade foi comprovada de acordo com o teste Anderson-Darling, pois o p-valor encontrado foi de 0,248, o que permite aceitar a hipótese nula de que os dados seguem distribuição normal com 95% de confiança. A média de  $W_{req}$  foi de 0,9514, com desvio padrão de 0,1013.



**Gráfico 12 – Normalidade do índice  $SW_{req}$**   
**Fonte: Autoria própria**

A normalidade foi comprovada de acordo com o teste Anderson-Darling, pois o p-valor encontrado foi de 0,022, logo rejeita-se a hipótese nula de que os dados seguem distribuição normal com 95% de confiança. A média de  $SW_{req}$  foi de 342,8 com desvio padrão de 63,94.

A interpretação dos índices  $W_{req}$  e  $SW_{req}$  normalizados pela norma 7933 (2004) é realizada separadamente, já que este método avalia o estresse térmico causado por duas condições: aumento da temperatura interna e a perda hídrica.

De acordo com a Tabela 3, se o valor de  $W_{req}$  for maior que  $W_{max}$ , o indivíduo estará em condição de estresse térmico por aumento da temperatura interna. O valor de  $W_{max}$  para pessoas aclimatadas é de 1,0, o que significa que 100% da pele estaria molhada, como forma de combater o aumento de temperatura.

Portanto, qualquer valor de  $W_{req}$  maior do que 1,0 indicaria condição de estresse térmico, visto que é impossível que mais do que 100% da pele esteja molhada.

Para análise do índice  $SW_{req}$  também consulta-se a Tabela 3. Se o valor de  $SW_{req}$  for maior do  $SW_{max}$ , o indivíduo estará em estresse térmico devido à perda hídrica, de modo que sofrerá desidratação. O valor máximo de  $SW$  é 300  $W/m^2$  para situação de precaução, portanto qualquer valor de  $SW_{req}$  acima de 300  $W/m^2$  indicaria situação de estresse térmico por perda hídrica.

As Tabelas 15 e 16 apresentam os resultados da interpretação dos dados de acordo com a ISO 7243 (1989).

**Tabela 15 – Análise de  $W_{req}$  comparada ao valor de  $W_{max}$  de 1,00**

Ponto	$W_{req}$	Condição
1	0,79	Condição normal
2	0,93	Condição normal
3	1,02	Estresse térmico por aumento de temperatura
4	1,04	Estresse térmico por aumento de temperatura
5	0,98	Condição normal
6	0,91	Condição normal

**Fonte: Autoria própria**

Observa-se na Tabela 15 que os pontos 3 e 4 apresentam condições de estresse térmico por aumento da temperatura interna, enquanto os demais pontos apresentam condições normais de trabalho.

**Tabela 16 – Análise de  $SW_{req}$  para um  $SW_{max}$  ( $W/m^2$ ) de 300,00**

Ponto	$SW_{req}$ ( $W/m^2$ )	Condição
1	241,51	Condição normal
2	324,99	Estresse térmico por perda hídrica
3	375,33	Estresse térmico por perda hídrica
4	391,71	Estresse térmico por perda hídrica
5	390,90	Estresse térmico por perda hídrica
6	312,28	Estresse térmico por perda hídrica

**Fonte: Autoria própria**

Nota-se na Tabela 16 que apenas o ponto 1 apresenta condições normais de trabalho, e os demais pontos apresentam condição de estresse térmico por perda hídrica.

Ao interpretarmos os dois índices em conjunto (tabelas 15 e 16), nota-se que o único ponto que não apresenta nenhuma condição de estresse térmico é o ponto

1, por ser um dos mais afastados do forno de fusão e estar próximo de uma das entradas da fábrica, o que lhe confere maior ventilação e menos influência da radiação proveniente do forno.

Todos os demais pontos apresentam ao menos uma das condições de estresse térmico, sendo que os pontos 3 e 4 apresentam condição de estresse térmico tanto por aumento de temperatura quanto por perda hídrica, tornando esses os pontos mais críticos no ambiente analisado.

A interpretação anterior condiz com a análise de estresse térmico pelo método IBUTG, onde o ponto 4 também foi considerado o ponto crítico da organização, seguido pelos pontos 2, 3 e 5. No entanto, através da análise pelo método da taxa requerida de suor é possível identificar qual o tipo de estresse térmico que está sendo gerado no corpo do trabalhador.

#### 4.3 ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE

A produtividade da organização foi mensurada a partir do tempo de vazamento das peças no momento das medições, através do uso de cronômetro digital. Foram mensurados os vazamentos de cinco peças durante cada uma das 30 medições executadas.

Cogitou-se nessa pesquisa a avaliação de produtividade pelo desperdício de material durante o vazamento de peças. Diariamente, as peças do dia anterior são separadas de seus respingos e canais de ferro fundido. Então, tais materiais que não compõem a peça final são pesados em uma balança industrial e os dados recolhidos são armazenados em planilhas eletrônicas. Ao fim, obtém-se quanto material foi fundido, e quanto realmente transformou-se em peças, tornando possível aplicar um indicador conforme a Equação 10.

$$(output / input).100 = Produtividade (\%) \quad (10)$$

No entanto, este índice não é aplicado a apenas um tipo de peça, e sim em relação à produção total do dia anterior. Portanto, este índice reflete a produção realizada em todas as esteiras da fábrica, usando sua capacidade total.

Para que a utilização desse índice fosse válida, as condições térmicas dos pontos 1 a 6 deveriam ser iguais, para que pudesse ser realizada uma análise de produtividade global da fábrica. Para verificar a aplicabilidade deste índice pode-se empregar um teste de hipótese, para comparar a igualdade das médias entre dois pontos mensurados e verificar se os mesmos podem ser considerados iguais.

Através do software Minitab, comparou-se o ponto 1, comprovadamente sem condições de estresse térmico, com o ponto 4, ponto que apresentou estresse térmico por IBUTG, aumento de temperatura e perda hídrica. Como a maior fonte de calor na fábrica é o forno de fusão, e este é o maior responsável pelo calor por radiação, realizou-se o teste de hipótese para a temperatura de globo negro, a qual é a variável mais influenciada pela radiação, e teoricamente apresentará a maior diferença entre os pontos mensurados.

Para comparar as duas amostras de dados, ambas devem possuir distribuição normal (TRIOLA, 2008). Assim, através da análise de inferência entre duas médias, com amostras grandes e independentes, elaboram-se as seguintes hipóteses:

-  $H_0: \mu_1 = \mu_2$

-  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

A Figura 6 demonstra a tela de teste de hipótese para a igualdade das médias de temperatura de globo entre os pontos 1 e 4.

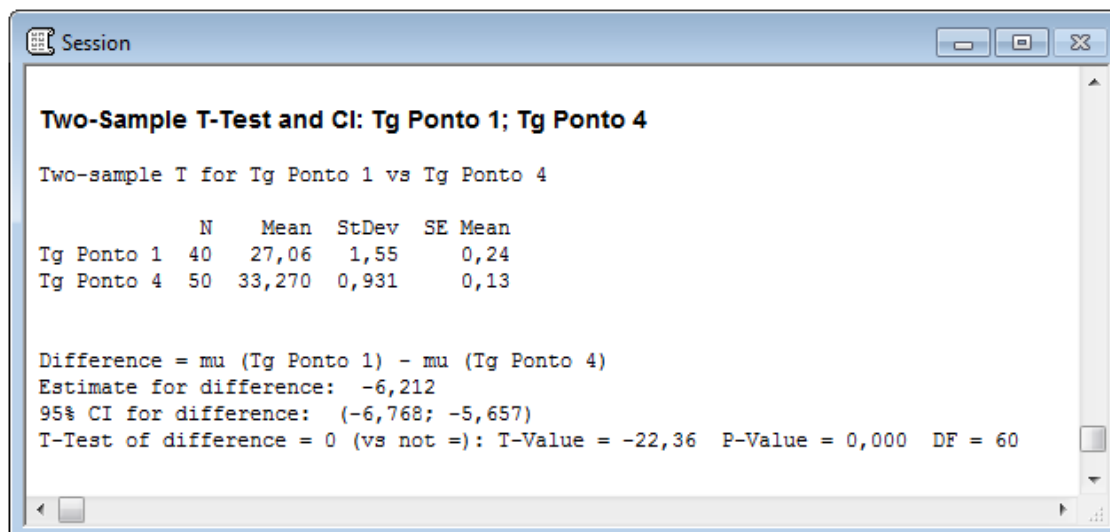


Figura 12 – Teste de hipótese para comparação da temperatura de globo nos pontos 1 e 4  
 Fonte: Autoria própria

O p-valor obtido foi de 0,000, logo, rejeita-se a hipótese nula, pois este valor deveria ser maior do que 0,05. Assim, como esperado, comprova-se que os pontos 1 e 4 são diferentes, e portanto a análise de produtividade global não pode ser comparada com o estresse térmico de apenas um ponto, pois os pontos de medição tiveram sua diferença estatisticamente comprovada.

Portanto, apenas o tempo de vazamento foi utilizado como índice de produtividade. As médias de cada medição podem ser observadas nas Tabela 17, 18 e 19, a seguir.

Tabela 17 – Tempos de vazamento de peças para os Pontos 1 e 2

Ponto 1	Tempo (s)	Ponto 2	Tempo (s)
1.1	10,90	2.1	11,36
1.2	11,18	2.2	11,63
1.3	11,40	2.3	11,59
1.4	9,92	2.4	11,25
1.5	11,25	2.5	11,50

Fonte: Autoria própria

Tabela 18 – Tempos de vazamento de peças para os Pontos 3 e 4

Ponto 3	Tempo (s)	Ponto 4	Tempo (s)
3.1	11,48	4.1	11,70
3.2	11,53	4.2	11,62
3.3	11,66	4.3	11,73
3.4	11,62	4.4	11,61
3.5	11,61	4.5	11,60



Fonte: Autoria própria

Tabela 19 – Tempos de vazamento de peças para os Pontos 5 e 6

Ponto 5	Tempo (s)	Ponto 6	Tempo (s)
5.1	11,49	6.1	11,29
5.2	11,59	6.2	11,52
5.3	11,53	6.3	11,41
5.4	11,50	6.4	11,50
5.5	11,58	6.5	11,41

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 13 apresenta o teste de normalidade realizado para os tempos de vazamento de peças, contendo 29 medições, pois de acordo com a análise de normalidade demonstrada em 4.1.5, a medição 1.4 foi considerada espúria e foi descartada.

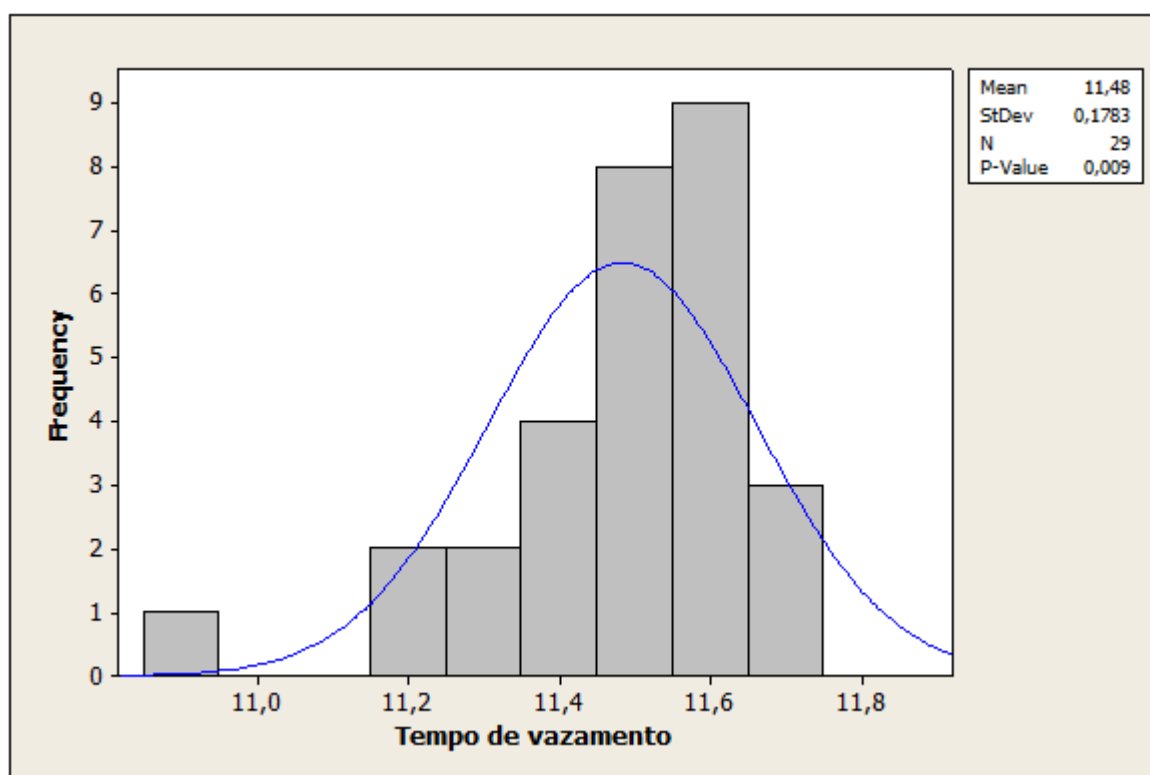


Gráfico 13 – Normalidade dos tempos de vazamento de peças

Fonte: Autoria própria

A normalidade foi comprovada de acordo com o teste Anderson-Darling, pois o p-valor encontrado foi de 0,009, e assim rejeita-se hipótese nula de que os dados seguem distribuição normal. A média dos tempos de vazamento, considerando toda a fábrica, foi de 11,48 segundos com desvio padrão de 0,1783.

A produtividade é inversamente proporcional ao tempo utilizado para vazamento das peças. Ou seja, quanto maior for o tempo gasto, menor será a produtividade.

#### 4.4 ANÁLISE DO EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO NA PRODUTIVIDADE

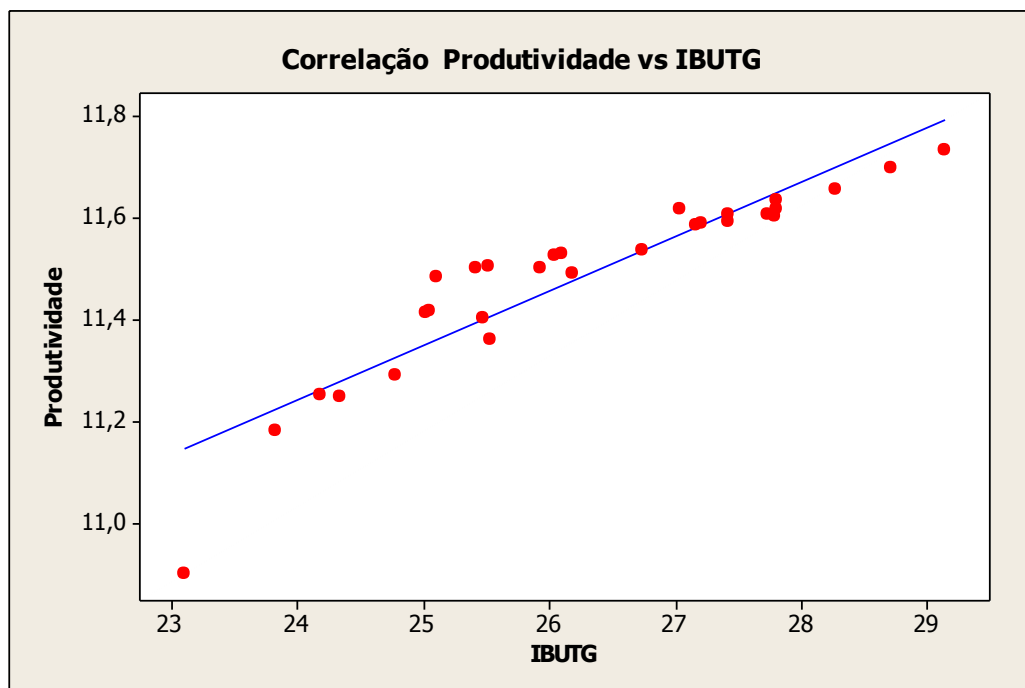
A seguir, após análise referente ao estresse térmico e da análise de produtividade, será testada a hipótese desta pesquisa: quanto maior for o nível de estresse térmico, menor será a produtividade.

Para tal, esta fase será dividida em três etapas: IBUTG x produtividade,  $W_{req}$  x produtividade e  $SW_{req}$  x produtividade.

##### 4.4.1 IBUTG X Produtividade

A primeira análise comparativa entre estresse térmico e produtividade será através da metodologia IBUTG. Os dados térmicos foram analisados no tópico 4.2.1, onde foi comprovada a normalidade dos dados de IBUTG.

O Gráfico 14, a seguir, demonstra a correlação entre o índice IBUTG e produtividade.

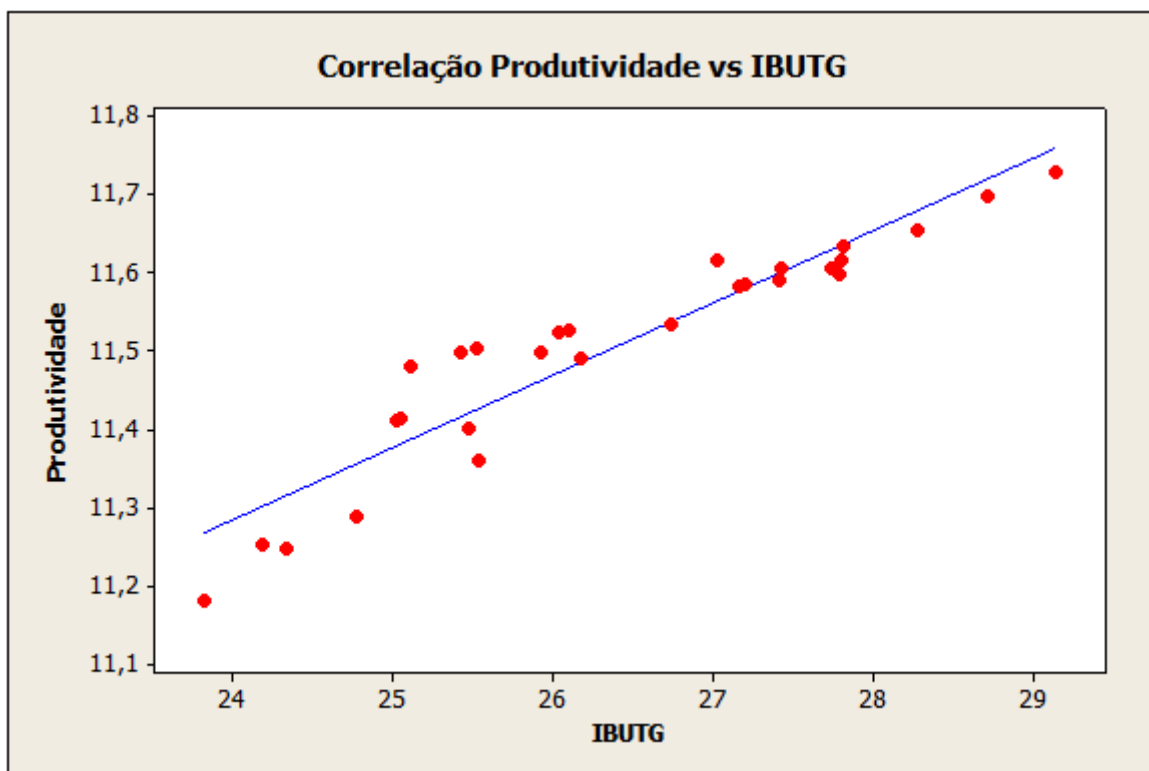


**Gráfico 14 – Correlação entre produtividade e IBUTG**  
 Fonte: Autoria própria

O gráfico acima representa a correlação entre a produtividade e o índice IBUTG. O coeficiente de determinação,  $R^2$ , para esta relação foi de 0,9202. Esse coeficiente significa que 92,02% da variação encontrada para o tempo de vazamento de peças, indicador de produtividade, é justificada pela variação do índice IBUTG.

A relação entre as variáveis foi caracterizada como diretamente proporcional, devido ao gráfico possuir a característica de uma reta crescente. Ou seja, quanto maior for o índice IBUTG, maior será o tempo gasto para vazamento das peças, e, conseqüentemente, menor será a produtividade.

Observou-se ainda no gráfico a presença de mais um dado afastado do grupo amostral de produtividade. Trata-se da medição 1.1, que também pôde ser observada no Gráfico 13, a esquerda. A amostra de dados de produtividade provou ter distribuição normal, mesmo com a presença deste dado. No entanto, a análise de correlação foi realizada novamente, após a retirada da medição 1.1. O resultado da nova análise é demonstrado no Gráfico 15, plotado com 28 amostras.



**Gráfico 15 – Correlação entre produtividade e IBUTG**  
 Fonte: Autoria própria

Após executar-se nova análise de correlação o coeficiente de determinação  $R^2$  foi recalculado. Para esta relação obteve-se  $R^2=0,9405$ . Esse coeficiente significa que 94,05% da variação encontrada para o tempo de vazamento de peças, indicador de produtividade, é justificada pela variação do índice IBUTG.

Percebe-se nesse caso a grande influência que um valor espúrio pode causar na análise de correlação. Devido a retirada dessa amostra, o coeficiente de determinação aumentou para 94,05%, representando a influência da variável IBUTG na variável produtividade.

Por fim, foi realizada uma análise de regressão linear entre a produtividade e os índices de estresse térmico, com o objetivo de determinar uma equação que possa prever a produtividade em função da variação dos índices de estresse térmico. A equação obtida foi a seguinte:

$$y = 0,0925.x + 9,0654 \quad (13)$$

Onde:

$y$  = produtividade

$x$  = IBUTG

A Equação 13 busca prever o valor de produtividade em decorrência da variação do índice IBUTG. Se o coeficiente de determinação  $R^2$  determinado fosse 1,0, a correlação seria perfeita. No entanto, neste caso a correlação de 88,46% é considerada uma correlação forte, porém não perfeita, de modo que a Equação 13 será capaz de prever aproximadamente a produtividade em função do IBUTG. A título de comparação, a Equação 13 foi aplicada para os dados reais, para verificar a sua aplicabilidade. Os resultados são demonstrados na Tabela 21.

**Tabela 20 – Comparativo entre a produtividade real e calculada**

<b>Medição</b>	<b>Produtividade Real (s)</b>	<b>Produtividade Calculada (s)</b>	<b>Erro (s)</b>
2.1	11,36	11,43	-0,07
3.1	11,48	11,39	0,09
4.1	11,70	11,72	-0,02
5.1	11,49	11,49	0,00
6.1	11,29	11,36	-0,07
1.2	11,18	11,27	-0,09
2.2	11,63	11,64	0,00
3.2	11,53	11,48	0,05
4.2	11,62	11,64	-0,02
5.2	11,59	11,60	-0,01
6.2	11,52	11,47	0,05
1.3	11,40	11,42	-0,02
2.3	11,59	11,58	0,00
3.3	11,66	11,68	-0,02
4.3	11,73	11,76	-0,03
5.3	11,53	11,54	0,00
6.3	11,41	11,38	0,03
2.4	11,25	11,32	-0,07
3.4	11,62	11,57	0,05
4.4	11,61	11,60	0,00
5.4	11,50	11,46	0,03
6.4	11,50	11,42	0,08
1.5	11,25	11,30	-0,05
2.5	11,50	11,43	0,08
3.5	11,61	11,63	-0,02
4.5	11,60	11,64	-0,04
5.5	11,58	11,58	0,01
6.5	11,41	11,38	0,03

**Fonte: Autoria própria**

A Tabela 21 demonstra a predictibilidade da Equação 13. Conforme esperado, a equação não é capaz de prever perfeitamente a produtividade, devido a

relação de correlação não ser 100%. Porém a mesma é capaz de prever de modo aproximado a produtividade.

#### 4.4.2 $W_{req}$ X Produtividade

A segunda análise comparativa entre estresse térmico e produtividade será através do índice  $W_{req}$ . A Tabela 22, abaixo, apresenta-se o resumo dos dados.

**Tabela 21 – Resumo da análise de  $W_{req}$  e produtividade**

<b>Medição</b>	<b><math>W_{req}</math></b>	<b>Produtividade (s)</b>
2.1	1,01	11,36
3.1	0,94	11,48
4.1	1,09	11,70
5.1	0,95	11,49
6.1	0,87	11,29
1.2	0,77	11,18
2.2	0,94	11,63
3.2	1,01	11,53
4.2	0,94	11,62
5.2	1,02	11,59
6.2	0,97	11,52
1.3	0,88	11,40
2.3	1,06	11,59
3.3	1,06	11,66
4.3	1,09	11,73
5.3	0,99	11,53
6.3	0,90	11,41
2.4	0,84	11,25
3.4	1,06	11,62
4.4	1,04	11,61
5.4	0,97	11,50
6.4	0,91	11,50
1.5	0,79	11,25
2.5	0,80	11,50
3.5	1,04	11,61
4.5	1,06	11,60
5.5	0,98	11,58
6.5	0,90	11,41

**Fonte: Autoria própria**

O Gráfico 16, a seguir, demonstra a correlação entre o índice  $W_{req}$  e produtividade. A medição 1.1 foi retirada do grupo de amostras, pois foi considerada um valor espúrio, conforme demonstrado no tópico 4.4.1.

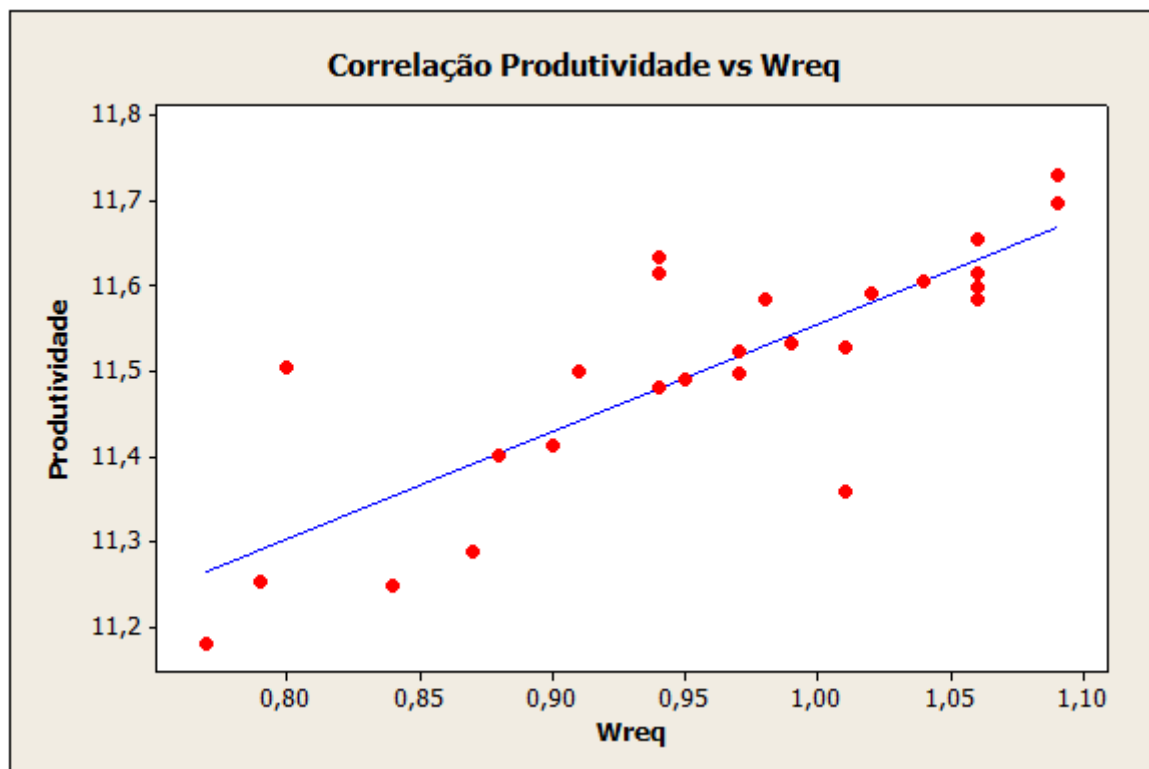


Gráfico 16 – Correlação entre produtividade e  $W_{req}$   
Fonte: Autoria própria

O coeficiente de correlação calculado para a relação entre produtividade e  $W_{req}$  foi  $R^2=0,8216$ . Isso significa que 82,16% da variação encontrada para o tempo de vazamento de peças, indicador de produtividade, é justificada pela variação do índice  $W_{req}$ .

Observa-se pelo Gráfico 16 que a correlação entre a produtividade e o índice  $W_{req}$  foi menor, representando 82,16%. O índice  $W_{req}$  foi projetado para ter uma variação apenas entre zero e um, ou seja, 0% da pele molhada, ou 100% da pele molhada. No caso do ambiente analisado foram encontrados vários índices acima 1,0, como pode ser visualizado também no Gráfico 15, o que representou condição de estresse térmico. No entanto, este índice não se mostrou um bom comparativo para analisar a hipótese desta pesquisa tão forte quanto o IBUTG.

A análise de regressão foi executada para a previsão da produtividade em função da variação do estresse térmico, e pode ser visualizada através da Equação 14. Comparou-se o valor real de produtividade com o valor calculado a partir da equação 14, conforme a Tabela 23.

$$y = 1,2615.x + 10,294$$

(14)

Onde:

$y$  = produtividade

$x = W_{req}$

**Tabela 22 – Comparativo entre a produtividade real e calculada**

Medição	Produtividade Real (s)	Produtividade Calculada (s)	Erro (s)
2.1	11,36	11,57	-0,21
3.1	11,48	11,48	0,00
4.1	11,70	11,67	0,03
5.1	11,49	11,49	0,00
6.1	11,29	11,39	-0,10
1.2	11,18	11,27	-0,09
2.2	11,63	11,48	0,15
3.2	11,53	11,57	-0,04
4.2	11,62	11,48	0,14
5.2	11,59	11,58	0,01
6.2	11,52	11,52	0,01
1.3	11,40	11,40	0,00
2.3	11,59	11,63	-0,05
3.3	11,66	11,63	0,02
4.3	11,73	11,67	0,06
5.3	11,53	11,54	-0,01
6.3	11,41	11,43	-0,02
2.4	11,25	11,35	-0,11
3.4	11,62	11,63	-0,02
4.4	11,61	11,61	0,00
5.4	11,50	11,52	-0,02
6.4	11,50	11,44	0,06
1.5	11,25	11,29	-0,04
2.5	11,50	11,30	0,20
3.5	11,61	11,61	0,00
4.5	11,60	11,63	-0,03
5.5	11,58	11,53	0,05
6.5	11,41	11,43	-0,02

**Fonte: Autoria própria**

Apesar do índice  $W_{req}$  ter apresentado menor correlação com a produtividade, a relação de regressão permitiu prever aproximadamente a produtividade em função da variação do estresse térmico.



#### 4.4.3 $SW_{req}$ X Produtividade

A última análise comparativa entre estresse térmico e produtividade será através do índice  $SW_{req}$ . A Tabela 24, abaixo, apresenta-se o resumo dos dados.

**Tabela 23 – Resumo da análise de  $SW_{req}$  e produtividade**

Medição	$SW_{req}$ (W/m <sup>2</sup> )	Produtividade (s)
2.1	376,06	11,36
3.1	329,39	11,48
4.1	421,06	11,70
5.1	369,64	11,49
6.1	284,99	11,29
1.2	228,43	11,18
2.2	338,01	11,63
3.2	388,02	11,53
4.2	303,64	11,62
5.2	417,56	11,59
6.2	357,47	11,52
1.3	294,99	11,40
2.3	393,71	11,59
3.3	392,07	11,66
4.3	427,33	11,73
5.3	403,80	11,53
6.3	302,09	11,41
2.4	270,45	11,25
3.4	382,24	11,62
4.4	398,27	11,61
5.4	378,16	11,50
6.4	312,66	11,50
1.5	237,78	11,25
2.5	246,73	11,50
3.5	384,93	11,61
4.5	408,24	11,60
5.5	385,33	11,58
6.5	304,18	11,41

**Fonte: Autoria própria**

O Gráfico 17 demonstra a correlação entre o índice  $SW_{req}$  e a produtividade. A medição 1.1 foi retirada do grupo de amostras, pois foi considerada um valor espúrio, conforme demonstrado no tópico 4.4.1.

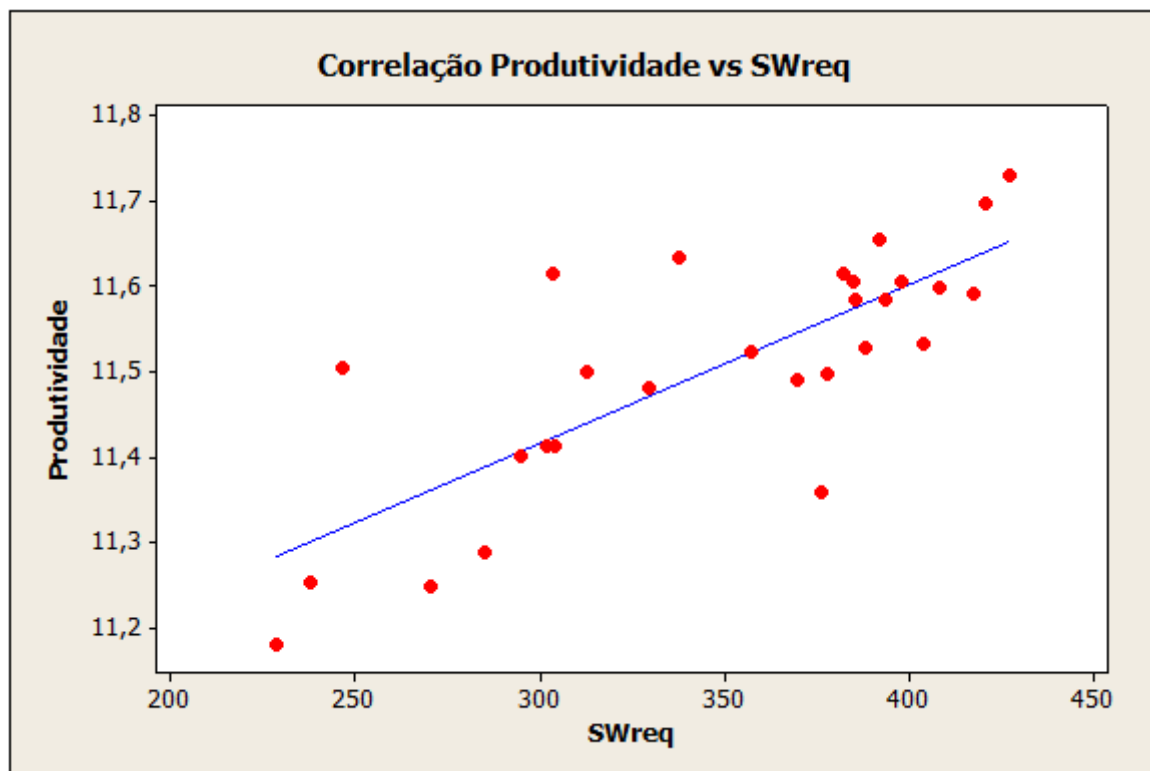


Gráfico 17 – Correlação entre produtividade e SW<sub>req</sub>  
Fonte: Autoria própria

O coeficiente de correlação calculado para a relação entre produtividade e SW<sub>req</sub> foi  $R^2=0,7826$ . Isso significa que 78,26% da variação encontrada para o tempo de vazamento de peças, indicador de produtividade, é justificada pela variação do índice SW<sub>req</sub>.

Novamente observa-se que os índices normalizados pela ISO 7933 (2004) não mostraram forte correlação com a produtividade, sendo que o índice SW<sub>req</sub> apresentou correlação 3,9% menor do que o índice W<sub>req</sub>, e 15,79% menor do que o índice IBUTG. Portanto, o índice SW<sub>req</sub> apresentou a menor correlação com a produtividade, em comparação aos demais índices de estresse térmico aplicados.

Após executada a regressão linear obteve-se a seguinte equação:

$$y = 0,0019.x + 10,858 \quad (15)$$

Onde:

$y$  = produtividade

$x$  = W<sub>req</sub>

A comparação entre a produtividade real e a produtividade calculada através da equação 15 encontram-se na Tabela 25, abaixo.

**Tabela 24 – Comparativo entre a produtividade real e calculada**

Medição	Produtividade Real (s)	Produtividade Calculada (s)	Erro (s)
2.1	11,36	11,57	-0,21
3.1	11,48	11,48	<b>0,00</b>
4.1	11,70	11,66	0,04
5.1	11,49	11,56	-0,07
6.1	11,29	11,40	-0,11
1.2	11,18	11,29	-0,11
2.2	11,63	11,50	0,13
3.2	11,53	11,60	-0,07
4.2	11,62	11,43	0,18
5.2	11,59	11,65	-0,06
6.2	11,52	11,54	<b>-0,01</b>
1.3	11,40	11,42	<b>-0,02</b>
2.3	11,59	11,61	<b>-0,02</b>
3.3	11,66	11,60	0,05
4.3	11,73	11,67	0,06
5.3	11,53	11,63	-0,09
6.3	11,41	11,43	<b>-0,02</b>
2.4	11,25	11,37	-0,12
3.4	11,62	11,58	0,03
4.4	11,61	11,61	<b>-0,01</b>
5.4	11,50	11,58	-0,08
6.4	11,50	11,45	0,05
1.5	11,25	11,31	-0,06
2.5	11,50	11,33	0,18
3.5	11,61	11,59	<b>0,02</b>
4.5	11,60	11,63	-0,03
5.5	11,58	11,59	<b>-0,01</b>
6.5	11,41	11,44	<b>-0,02</b>

**Fonte: Autoria própria**

O índice  $SW_{req}$  apresentou baixa correlação com a variação de produtividade, conforme visualizado no Gráfico 17. No entanto a regressão aplicada permite prever aproximadamente os resultados, conforme apresentado na Tabela 25.

## 4.5 DISCUSSÃO

O objetivo deste trabalho busca comprovar a influência inversamente proporcional do estresse térmico na produtividade. Para tal, empregaram-se três índices de estresse térmico normalizados internacionalmente pelas normas ISO 7243 (1989) e ISO 7933 (2004).

Os índices de estresse térmico foram comparados com a produtividade, a qual foi mensurada através do tempo utilizado para vazamento, e correlacionadas nos tópicos anteriores.

A hipótese de que quanto maior for o estresse térmico, menor seria a produtividade foi comprovada, o que pode ser visualizado nos Gráficos 15, 16 e 17, pois todos apresentaram a mesma característica de uma reta crescente. Quanto maior o tempo gasto para vazamento de peças, maior o tempo gasto para realizar a atividade de vazamento manual de peças, portanto, menor seria a produtividade, confirmando a hipótese desta pesquisa.

No entanto houve grande variabilidade nos coeficientes de determinação encontrados nos cálculos de correlação, conforme a Tabela 26 demonstra.

**Tabela 25 – Coeficientes de determinação para os índices de estresse térmico e produtividade**

Índice de estresse térmico	Coefficiente de determinação R <sup>2</sup>
<b>IBUTG</b>	94,05%
<b>Wreq</b>	82,16%
<b>SWreq</b>	78,26%

**Fonte: Autoria própria**

Os índices Wreq e SWreq, normalizados pela norma ISO 7933 (2004) apresentaram as menores correlações com a produtividade, sendo 82,16% e 78,26%, respectivamente.

O índice IBUTG, normalizado pela norma brasileira NR 15 (2011) e internacionalmente pela ISO 7243 (1989) apresentou ótima correlação, de 94,05%. Porém, isso só foi possível após a detecção de uma nova amostra espúria, que inicialmente gerou uma correlação de 92,02%, sendo que este dado espúrio foi proveniente do ponto 1, assim como a segunda amostra espúria determinada nesta pesquisa, no tópico 4.4.1.

O índice IBUTG utiliza apenas duas variáveis em seu cálculo: temperatura de bulbo úmido e temperatura de globo negro, sendo que são duas variáveis que variam lentamente ao longo do tempo, o que facilita o emprego deste índice e justifica sua boa correlação com a produtividade. No índice IBUTG há menor número de variáveis influenciando o processo de análise de estresse térmico, o que implica em menos variabilidade do resultado final, o que levou à melhor correlação com a produtividade.

Já os índices  $W_{req}$  e  $SW_{req}$  utilizam seis variáveis em seu cálculo: temperatura de globo negro, temperatura do ar, velocidade do ar, umidade relativa, taxa metabólica e isolamento térmico, sendo que taxa metabólica e isolamento térmico foram consideradas constantes, de acordo com a normalização. No entanto, o cálculo ainda envolve quatro variáveis, sendo que a velocidade do ar e umidade relativa do ar podem variar rapidamente, alterando o resultado final do índice. Desse modo, justifica-se a menor correlação existente entre os índices  $W_{req}$  e  $SW_{req}$  com a produtividade.

Por fim, apesar de terem sido calculados diferentes coeficientes de determinação, conforme a Tabela 26 demonstra, a análise de regressão foi satisfatória em todos os índices. As Tabelas 21, 23 e 25 demonstram que as equações obtidas após a regressão conseguem prever de modo aproximado a produtividade em função da variação dos respectivos índices de estresse térmico.

Apesar da proposta desta pesquisa não possuir caráter econômico, é possível fazer uma pequena estimativa sobre o ganho de tempo que a empresa obterá se realizasse mudanças ambientais para tornar o ambiente similar ao ponto 1, analisado.

O menor tempo de vazamento encontrado foi de 11,18 segundos, e o maior foi de 11,7 segundos, logo o ganho seria de 0,52 segundos por peça. Estimando-se que são produzidas 150 peças por dia, isso resultaria em uma economia de 1560 segundos por mês, e 18720 segundos por ano, ou seja, 312 minutos (5,2 horas). Se a produção aumentar, o tempo extra gasto devido ao estresse térmico também aumentaria, resultando em gastos extras com mão de obra e processamento.

#### 4.6 SUGESTÕES DE MELHORIA NO AMBIENTE TÉRMICO

Após a apresentação dos dados aos gestores da organização, discutiram-se possibilidades de melhoria para o ambiente, e, conseqüentemente para os trabalhadores. O princípio da Ergonomia diz que o trabalho deve ser adaptado ao homem, e não o homem deve adaptar-se ao trabalho, portanto, o ambiente deve ser modificado para proporcionar melhores condições de trabalho.

Conforme observado nas medições ambientais, e comparando-as com os demais pontos de medição, notou-se que o forno de fusão é o maior elemento gerador de calor na fábrica, responsável principalmente pelo calor transmitido por radiação. Assim, a principal sugestão de melhoria para a organização seria isolar termicamente o forno, visto que o mesmo encontra-se no mesmo ambiente em que a linha de produção, afetando todo o ambiente devido ao seu funcionamento. Isso reduziria a carga térmica em todo o ambiente, trazendo melhorias nas condições de estresse térmico.

O segundo fato observado no ambiente da fábrica é o de que o mesmo não possui nenhum tipo de exaustão de calor, ou ventilação cruzada. Assim, o calor não é retirado do ambiente, e a circulação de ar é baixa. Portanto, sugere-se a instalação de exaustores ao longo da fábrica, além de um exaustor individual para o forno de fusão, maior fonte de calor.

A taxa metabólica da atividade foi considerada alta, de acordo com as normalizações empregadas neste trabalho. Reduzi-la não é possível, segundo a organização, pois não há como fazer com que os trabalhadores carreguem menos material, visto que os recipientes já são considerados pequenos. No entanto, a gerência estuda para o ano de 2014 a implantação de pontes rolantes sobre todas as esteiras da fábrica, para que a atividade de vazamento de peças seja realizada de modo totalmente automático. Com isso, a atividade manual seria eliminada, e os trabalhadores seriam realocados para a produção de moldes, visto que o vazamento automático geraria maior demanda de moldes para produção de peças, necessitando assim de mais mão-de-obra.

Por fim, sugere-se a implantação de um programa de conscientização dos trabalhadores quanto ao uso de equipamentos de proteção individual (EPI) pertinentes com a atividade executada, buscando a proteção contra queimaduras e respingos de material. Esse plano deve conter palestras explicativas sobre o correto

uso dos equipamentos de proteção individual, e, principalmente, as consequências para a saúde dos trabalhadores caso os mesmos não utilizem de modo apropriado os equipamentos fornecidos pela organização.

Deve dar-se destaque para a saúde e proteção dos dois operadores do forno de fusão, visto que os mesmos não possuem os equipamentos de proteção individual adequados ao seu trabalho. Os mesmos devem utilizar vestimenta especial, aluminizada, com o objetivo de diminuir a influência da radiação proveniente do forno de fusão em seus corpos. Além disso, a visão deve ser protegida adequadamente, visto que o trabalho é executado com materiais em alta temperatura, e grande emissão de luz. Existem vestimentas que englobam em um único conjunto: perneira, braçadeira, óculos de proteção e avental, todos aluminizados, sendo esta uma das possíveis soluções para este posto de trabalho.

## 5 CONCLUSÃO

A análise de estresse térmico foi realizada de acordo com os índices IBUTG,  $W_{req}$  e  $SW_{req}$ , e após as análises, verificou-se que o único ponto mensurado da fábrica onde não existiam condições de estresse térmico foi o ponto 1, sendo este o ponto mais afastado do forno de fusão, e também mais próximo da saída da fábrica. Todos os outros 5 pontos de medição apresentaram condição de estresse térmico por pelo menos um dos métodos propostos, sendo que o ponto 4 foi considerado o ponto crítico, pois apresentou estresse térmico por todos os métodos utilizados: Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo, aumento da temperatura interna e perda hídrica. Esse fato justifica-se pois este ponto é o local mais próximo do forno de fusão em que as medições foram executadas e é realizada a atividade de vazamento de peças, e está sujeito a grandes quantidades de calor devido à radiação proveniente do forno.

A análise de produtividade demonstrou os dados coletados, bem como a análise da distribuição normal, comprovada de acordo com o método de Anderson-Darling.

A hipótese desta pesquisa foi testada em três etapas: IBUTG x produtividade,  $W_{req}$  x produtividade e  $SW_{req}$  x produtividade. Foi empregada a análise de correlação (através do coeficiente de determinação) e de regressão, para determinar uma equação que possa prever a variação da produtividade em função do estresse térmico.

A análise de IBUTG e produtividade demonstrou que a relação entre produtividade e estresse térmico é inversamente proporcional, conforme a hipótese desta pesquisa. Notou-se a presença de uma nova medição espúria durante essa análise, a qual foi excluída, e a análise de correlação foi realizada novamente, obtendo-se um  $R^2=0,9405$ . Esse coeficiente significa que 94,05% da variação encontrada para o tempo de vazamento de peças, indicador de produtividade, é justificada pela variação do índice IBUTG.

As análises referentes à ISO 7933 (2004) aplicaram a comparação dos índices  $W_{req}$  e  $SW_{req}$  com a produtividade, e para ambos os casos, obteve-se baixa correlação, de 82,16% e 78,26% respectivamente. Atribui-se esse fato ao maior número de variáveis que envolvem o cálculo destes índices, em relação ao IBUTG que possui apenas duas variáveis. Os índices da taxa requerida de suor utilizam seis



variáveis em seus cálculos, apesar de duas terem sido consideradas constantes. No entanto, o cálculo ainda envolve quatro variáveis, sendo que a velocidade do ar e umidade relativa do ar podem variar rapidamente, alterando o resultado final do índice. Desse modo, justifica-se a menor correlação existente entre os índices  $W_{req}$  e  $SW_{req}$  com a produtividade.

Para as três análises de correlação foram realizadas também análises de regressão linear, com o objetivo de determinar uma equação que possa prever a variação da produtividade em função da variação do nível de estresse térmico. As três análises de regressão linear realizadas foram consideradas satisfatórias, e só poderiam ser perfeitas se a correlação entre produtividade e estresse térmico fossem de 100%.

Mesmo obtendo-se valores de correlação diferenciados e variando entre 94,05% e 78,26%, considera-se que os objetivos desta pesquisa foram atingidos com sucesso, e a hipótese de que a produtividade é inversamente proporcional ao estresse térmico foi comprovada. Obter correlação de 100% para qualquer uma das análises pode ser considerado impossível, pois existem outras variáveis, que não as térmicas, que podem influenciar no tempo de vazamento de peças, como a habilidade do trabalhador ou layout da fábrica. No entanto, comprovou-se a influência do estresse térmico na produtividade de trabalhadores ao executarem tarefas manuais de vazamento de peças em uma fundição.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A área de estudos da influência do estresse térmico ainda possui lacunas a serem preenchidas. Abaixo são propostas novas análises pertinentes à área de estudo, que poderiam proporcionar novos conhecimentos à comunidade científica:

- Através do emprego de um manequim térmico, mensurar o isolamento térmico real da vestimenta dos trabalhadores;
- Utilizar um analisador metabólico para determinar a taxa metabólica real da atividade. No entanto, o equipamento deve ser compacto e de fácil utilização, para que não atrapalhe a atividade do trabalhador, que estará caminhando e carregando grande quantidade de material fundido;

- Após a implantação de melhorias no local onde o estudo foi realizado, repetir este estudo, buscando quantificar economicamente a melhoria que investimentos em condições térmicas podem proporcionar às organizações que buscam adaptar o ambiente térmico às condições humanas.

## REFERÊNCIAS

ALFANO, F.; DELL'ISOLA, M.; PALELLA, B.; RICCIO, G.; RUSSI, A. On the measurement of the mean radiant temperature and its influence on the indoor thermal environment assessment. **Building and Environment**. Vol. 63, p. 79-88, jan. 2013.

ALMEIDA, R. A. C. S; VEIGA, M. M. Processo de trabalho rural e EPI's: discussão sobre termorregulação corporal. **Revista P&D em Engenharia de Produção**. Vol. 08, p. 39-39, 2010.

ALONSO, J.; CALLEJÓN-FERRE, A.; CARREÑO-ORTEGA, A; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J. Approach to the evaluation of the thermal work environment in the greenhouse-construction industry of SE Spain. **Building and Environment**. Vol. 46, p. 1725-1734, ago. 2011.

ANALYSIS CST. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.labeeee.ufsc.br/antigo/software/analysisCst.html>> Acesso em: 15 de julho de 2013.

ANDRETO, L. **Influência do espaço construído na produtividade: avaliação baseada na Ergonomia do Ambiente Construído e na Psicologia dos Espaços de Trabalho**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

BERNARD, T. E.; CROSS, R. Case Study Heat stress management: Case study in an aluminum smelter. **International Journal of Industrial Ergonomics**. Vol. 23, p. 609-620, mar. 1999.

BESHIR, M.; RAMSEY, Jerry D. Heat stress indices: a review paper. **International Journal of Industrial Ergonomics**. Vol. 3, p. 89-102, dez. 1988.

BISHOP, P.; GU, D.; CALPP, A. Climate under impermeable protective clothing. **International Journal of Industrial Ergonomics**. Vol 25, p. 233-238, fev. 2000.

BUDD, G.M. Assessment of thermal stress—the essentials. **Journal of Thermal Biology**. Vol. 26, p. 371-374, set. 2001.

BUDD, G. Wet-bulb globe temperature (WBGT) - its history and its limitations. **Journal of Science and Medicine in Sport** . Vol. 11, p. 20-32, jan. 2008.

BURR, R.E. **Heat illness**: a handbook for medical officers. USARIEM Technical Note 91-3, US Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, 1991.

CARLUCCI, S.; PAGLIANO, L. A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings. **Energy and Buildings**. Vol. 53, p. 194-205, jun. 2012.

COHEN, P.; POTCHTER, O.; MATZARAKIS, A. Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments. **Applied Geography**. Vol. 37, p. 1-10, 2013.

COUTINHO, A.S. **Conforto e insalubridade térmica em ambientes de trabalho**. 1. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 1998.

DEVISE, O.; PIERREVAL, H. Indicators for measuring performances of morphology and material handling systems in flexible manufacturing systems. **International Journal of Production Economics**. Vol. 64, p. 209-218, mar. 2000.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia Prática**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

ELALI, G.A. **Psicologia e Arquitetura**: em busca do lócus interdisciplinar. *Psicologia Ambiental: Estudos de Psicologia*, p. 349-362, 1997.

ETTINGER, K. **Direção e Produtividade**. Direção, Organização e Administração de Empresas. Manual de Ensino 1. São Paulo, IBRASA, 1964.

FABBRI, K. Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. **Building and Environment**. Vol. 68, p. 202-214, jul. 2013.

FIEDLER, N. C.; VENTUROLI, F.; MINETTI, L. J. Análise de fatores ambientais em marcenarias no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, vol.10, n.3, p. 679-685, jan. 2006.

FISK, William J.; ROSENFELD, Arthur H. Estimates of improved productivity and health from better indoor environments. **Indoor Air**. Vol. 7, p. 158-172, set. 1997.

FOLAN, P; NROWNE, J. A review of performance measurement: towards performance management. **Computer in Industry**. Vol. 56, p. 663-680, 2005.

FORSTHOFF, Alfons; MEHNERT, Peter; NEFFGEN, Hortense. Comparison of laboratory studies with predictions of the required sweat rate index (ISO 7933) for climates with moderate to high thermal radiation. **Applied Ergonomics**. Vol. 32, p. 299-303, jun. 2001.

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

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain**, ISO 7933, Genebra, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate**, ISO 8996, Genebra, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing assemble**, ISO 9920, Genebra, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Hot environments - Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate**, ISO 7933, Genebra, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)**, ISO 7243, Genebra, 1989.

KAMPMANN, B.; PIEKARSKI, C. The evaluation of workplaces subjected to heat stress: can ISO 7933 (1989) adequately describe heat strain in industrial workplaces? **Applied Ergonomics**. Vol. 31, p. 59-71, jan. 2000.

KARJALAINEN, S. Thermal comfort and gender: a literature review. **Indoor Air**. Vol. 22, p. 96-109, abr. 2012.

XAVIER, A.A.P; LAMBERTS, R;. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Apostila LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações , Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

LAN, L., LIAN, Z.W., PAN, L., YE, Q. Neurobehavioral approach for evaluation of office workers' productivity: the effects of room temperature. **Building and Environment**. Vol.44, p. 1578-1588, 2009.

LAN, L; LIAN, Z.; PAN, L. The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings. **Applied Ergonomics**. Vol. 42, p. 29-36, dez. 2010.

LEITE, E.S.C.M. **Stress térmico pr calor – Estudo comparativo dos métodos e normas de quantificação**. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

LIANG, C., ZHENG, G.; ZHU, N.; TIAN, Z.; LU, S.; CHEN, Y. A new environmental heat stress index for indoor hot and humid environments based on Cox regression. **Building and Environment**. Vol.46, p. 2472-2479, 2011.

LIN, Y.; CHANG, C.; LI, M.; WU, Y.; WANG, Y. High-temperature indices associated with mortality and outpatient visits: characterizing the association with elevated temperature. **Science of the Total Environment**. Vol. 427-428, p. 41-49, mai. 2012.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – **NR-15 – Atividades e operações insalubres – Anexo 3 – Limites de tolerância para exposição ao calor**. 2011.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – **NR-17 – Ergonomia**. 2007.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – **NR-5 – Comissão interna de prevenção de acidentes**. 2011.

MORAN, D.S.; PANDOLF, K.B.; SHAPIROA, Y.;LAORA, A.; HELEDA, Y.; GONZALEZ, R.R. Evaluation of the environmental stress index for physiological variables. **Journal of Thermal Biology**. Vol. 28, p. 43–49, jan. 2003.

MORAN, D.S.; PANDOLF, K.B.; SHAPIRO, Y.; HELED, Y.; SHANI, Y.; MATHEW, W.T.; GONZALEZ, R.R. An Environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). **Journal of Thermal Biology**. Vol. 26, p. 427-431, set. 2001.

MORAN, D.S.; PANDOLF, K.B.; SHAPIRO, Y.; HELED, Y.; SHANI, Y.; MATHEW, W.T.; GONZALEZ, R.R. The role of global radiation measured by a light sensor on heat stress assesment. **Journal of Thermal Biology**. Vol. 26, p. 433-436, set. 2001.

MORAN, D.S.; PANDOLF, K.B.; VITALIS, A.; HELED, Y.; PARKER, R.;GONZALEZ, R.R. Evaluation of the environmental stress index (ESI) for the southern hemisphere. **Journal of Thermal Biology**. Vol. 29, p. 427-431, out. 2004.

MOREIRA, D.A. **Dimensões do desempenho em manufatura e serviços**. São Paulo, Pioneira, 1996.

NEUMANN, W.P.; WINKEL, J.; MEDBO, L.; MAGNEBERG, R.; MATHIASSEN, S.E. Production system design elements influencing productivity and ergonomics: A case study of parallel and serial flow strategies. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol. 26, p. 904 - 923, 2006.

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. **Occupational exposure to hot environments**. Department of Health and Human Services, Washington, DC, Report No.: DHHS86-113, 1986.

OXFORD ONLINE DICTIONARY. **Definição: Stress**. Disponível em: <<http://oxforddictionaries.com/definition/stress?region=us&q=stress>> Acesso em: 17 de junho de 2011.

PETERS, Helmut. Evaluating the heat stress indices recommended by ISO. **International Journal of Industrial Ergonomics**. Vol. 7, p. 1-9, jan. 1991.

PINTO, P. C. Avaliação das condições ambientais na mineração em subsolo. **Revista Escola de Minas** [online]. Vol.59, p. 311-316, 2006.

PIZO, A. C. **Medição de desempenho numa confecção de vestuário**: integrando ergonomia situada ao processo de implementação e uso de indicadores de desempenho. 2011. 294 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

SAKOI, T., MOCHIDA, T. Concept of the equivalent wet bulb globe temperature index for indicating safe thermal occupational environments. **Building and Environment**. Vol.67, p. 167-178, mai. 2013.

SHI, X., ZHU, N., ZHENG, G. The combined effect of temperature, relative humidity and work intensity on human strain in hot and humid environments. **Building and Environment**. Vol.69, p. 72-80, jul. 2013.

SHIKDAR, A. A.; SAWAQED, N. M. Worker productivity, and occupational health and safety issues in selected industries. **Computers & Industrial Engineering**. Vol. 45, p. 563-572, dez. 2003.

SILVA, I. B. **Modelo de sistema integrado de produto e processo com melhoria contínua da qualidade**. 2000. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SILVA, M. P.; AMARAL, F. G.; MANDAGAARA, H.; LESO, B. H. Difficulties in quantifying financial losses that could be reduced by ergonomic solutions. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**. Vol. 22, p. 1-13, mai. 2012.

SMITH, E.A. **Manual da produtividade**: métodos e atividades para envolver os funcionários na melhoria da produtividade. Rio de Janeiro, Qualitymark, 1993.

TALEGHANI, M.; TENPIERIK, M.; KURVERS, S.; DOBBELSTEEN, A. A review into thermal comfort in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Vol.26, p. 201-215, mai. 2013.

TIAN, Z.; ZHU, N.; ZHENG, G.; WEI, H. Experimental study on physiological and psychological effects of heat acclimatization in extreme hot environments. **Building and Environment**. Vol.46, p. 2033-2041, abril 2011.

TRIOLA, M.F. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro, LTC, 2008.

VILLAROUCO, V.; ANDRETO, L. F. M. Avaliando desempenho de espaços de trabalho sob o enfoque da ergonomia do ambiente construído: an ergonomic assessment of the constructed environment. **Produção**, São Paulo, vol.18, n.3, p. 523-539, set./dez. 2008.



WITTERSEH, T.; WYON, D. P.; CLAUSEN, G. The effect of moderate heat stress and open-plan office noise distractions on SBS symptoms and on the performance of office work. **Indoor Air**. Vol. 14, p. 30-40, dez. 2004.

YI, W.; CHAN, A. Optimizing workerest schedule for construction rebar workers in hot and humid environment. **Building and Environment**. Vol.61, p. 104-113, dez. 2012.

ZHANG, Y.; CHEN, H.; MENG, Q. Thermal comfort in buildings with split air-conditioners in hot-humid area of China. **Building and Environment**. Vol.64, p. 213-224, set. 2012.

**ANEXO A - Dados ambientais obtidos nas medições**

Medições realizadas no ponto 1.

**Tabela 26 – Medição 1.1**

	<b>Tnw (°C)</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Ta (°C)</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>UR (%)</b>
	21,90	25,60	24,10	0,51	64,00
	21,70	25,40	24,00	0,45	65,00
	21,80	25,40	24,10	0,42	65,00
	21,90	25,50	24,30	0,41	64,00
	22,00	25,60	24,20	0,46	63,00
	22,00	25,60	24,30	0,52	62,00
	22,20	25,70	24,30	0,51	61,00
	22,30	25,80	24,40	0,55	61,00
	22,20	25,80	24,50	0,43	62,00
	22,30	25,80	24,40	0,48	61,00
<b>Média</b>	<b>22,03</b>	<b>25,62</b>	<b>24,26</b>	<b>0,47</b>	<b>62,80</b>

Fonte: Autoria própria

**Tabela 27 – Medição 1.2**

	<b>Tnw (°C)</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Ta (°C)</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>UR (%)</b>
	22,70	26,10	26,80	0,42	58,00
	22,70	26,20	26,90	0,46	57,00
	22,80	26,10	27,00	0,45	58,00
	22,70	26,20	26,90	0,49	58,00
	22,80	26,20	27,10	0,52	57,00
	22,90	26,10	27,10	0,49	57,00
	22,80	26,20	27,20	0,48	56,00
	22,90	26,20	27,10	0,41	57,00
	22,90	26,30	27,20	0,50	58,00
	23,00	26,20	27,20	0,40	58,00
<b>Média</b>	<b>22,82</b>	<b>26,18</b>	<b>27,05</b>	<b>0,46</b>	<b>57,40</b>

Fonte: Autoria própria

**Tabela 28 – Medição 1.3**

	<b>Tnw (°C)</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Ta (°C)</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>UR (%)</b>
	23,70	29,50	29,00	0,51	55,00
	23,50	29,40	29,00	0,43	56,00
	23,70	29,50	29,10	0,40	56,00
	23,60	29,60	29,20	0,39	55,00
	23,70	29,60	29,20	0,45	54,00
	23,80	29,60	29,30	0,48	54,00
	23,70	29,70	29,20	0,50	54,00
	23,70	29,60	29,30	0,51	53,00
	23,80	29,70	29,30	0,49	54,00
	23,80	29,70	29,40	0,30	53,00
<b>Média</b>	<b>23,70</b>	<b>29,59</b>	<b>29,20</b>	<b>0,45</b>	<b>54,40</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 29 – Medição 1.4

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
21,00	24,70	23,70	0,53	75,00	
21,90	24,60	23,60	0,50	74,00	
21,80	24,60	23,60	0,49	74,00	
20,70	24,50	23,60	0,47	75,00	
20,80	24,20	23,50	0,37	78,00	
20,80	24,10	23,40	0,53	77,00	
20,70	24,10	23,40	0,50	77,00	
20,60	24,00	23,20	0,51	78,00	
20,60	23,90	23,00	0,53	78,00	
20,50	23,90	22,90	0,52	79,00	
<b>Média</b>	<b>20,94</b>	<b>24,26</b>	<b>23,39</b>	<b>0,50</b>	<b>78,00</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 30 – Medição 1.5

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
22,90	26,70	27,20	0,36	59,00	
23,00	26,80	27,10	0,50	59,00	
23,10	26,80	27,20	0,51	58,00	
23,00	26,80	27,00	0,47	58,00	
22,90	26,90	27,10	0,46	59,00	
23,00	26,80	27,00	0,49	59,00	
23,10	26,80	27,10	0,48	58,00	
23,10	26,90	27,20	0,54	57,00	
23,20	26,90	27,20	0,53	57,00	
23,10	27,00	27,30	0,52	58,00	
<b>Média</b>	<b>23,04</b>	<b>26,84</b>	<b>27,14</b>	<b>0,49</b>	<b>58,20</b>

Fonte: Autoria própria

Medições realizadas no ponto 2.

Tabela 31 – Medição 2.1

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
23,50	30,30	29,70	0,54	62,00	
23,50	30,40	29,70	0,55	61,00	
23,40	30,40	29,80	0,40	61,00	
23,50	30,50	29,90	0,48	62,00	
23,30	30,50	29,80	0,45	62,00	
23,40	30,60	29,80	0,40	63,00	
23,40	30,70	29,90	0,43	62,00	
23,30	30,60	29,90	0,40	62,00	
23,30	30,60	30,00	0,49	62,00	
23,30	30,70	30,00	0,45	63,00	
<b>Média</b>	<b>23,39</b>	<b>30,53</b>	<b>29,85</b>	<b>0,46</b>	<b>62,00</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 32 – Medição 2.2

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
26,40	30,50	29,70	0,47	55,00	
26,40	30,60	29,60	0,49	58,00	
26,50	30,70	29,70	0,45	57,00	
26,60	30,70	29,70	0,43	55,00	
26,60	30,80	29,80	0,44	56,00	
26,50	30,90	29,70	0,50	57,00	
26,60	30,80	29,80	0,51	57,00	
26,60	30,90	29,90	0,49	56,00	
26,60	30,90	29,90	0,52	56,00	
26,50	31,00	29,90	0,49	57,00	
<b>Média</b>	<b>26,53</b>	<b>30,78</b>	<b>29,77</b>	<b>0,48</b>	<b>56,40</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 33 – Medição 2.3

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
25,10	31,70	30,90	0,39	57,00	
25,20	31,80	31,00	0,40	58,00	
25,10	31,80	31,10	0,48	58,00	
25,20	31,90	31,10	0,45	59,00	
25,20	31,80	31,20	0,41	58,00	
25,30	31,90	31,20	0,43	59,00	
25,20	31,90	31,30	0,42	59,00	
25,20	31,90	31,30	0,47	58,00	
25,30	32,00	31,20	0,37	58,00	
25,20	32,00	31,10	0,41	59,00	
<b>Média</b>	<b>25,20</b>	<b>31,87</b>	<b>31,14</b>	<b>0,42</b>	<b>58,30</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 34 – Medição 2.4

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
22,50	28,90	26,40	0,51	64,00	
22,40	28,90	26,50	0,42	63,00	
22,40	29,00	26,50	0,47	63,00	
22,30	29,00	26,60	0,40	62,00	
22,30	28,90	26,70	0,36	61,00	
22,30	29,00	26,60	0,42	62,00	
22,20	29,10	26,60	0,41	61,00	
22,30	29,10	26,70	0,49	61,00	
22,30	29,20	26,70	0,45	60,00	
22,20	29,30	26,80	0,47	60,00	
<b>Média</b>	<b>22,32</b>	<b>29,04</b>	<b>26,61</b>	<b>0,44</b>	<b>61,70</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 35 – Medição 2.5

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
24,30	28,00	26,30	0,37	59,00	
24,40	27,90	26,50	0,35	59,00	
24,50	27,80	26,40	0,41	60,00	
24,40	27,80	26,50	0,39	59,00	
24,60	27,70	26,40	0,42	60,00	
24,60	27,60	26,40	0,45	60,00	
24,70	27,60	26,30	0,47	60,00	
24,70	27,70	26,30	0,45	61,00	
24,80	27,60	26,30	0,41	61,00	
24,70	27,60	26,20	0,42	62,00	
<b>Média</b>	<b>24,57</b>	<b>27,73</b>	<b>26,36</b>	<b>0,41</b>	<b>60,10</b>

Fonte: Autoria própria

Medições realizadas no ponto 3.

Tabela 36 – Medição 3.1

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
22,90	29,10	29,20	0,12	56,00	
22,80	29,30	29,30	0,20	55,00	
22,90	29,50	29,30	0,22	54,00	
23,00	29,80	29,30	0,17	54,00	
23,30	29,90	29,40	0,17	55,00	
23,10	29,80	29,40	0,19	55,00	
23,20	29,90	29,50	0,15	56,00	
23,30	30,00	29,40	0,13	55,00	
23,30	30,10	29,40	0,15	55,00	
23,40	30,10	29,50	0,18	55,00	
<b>Média</b>	<b>23,12</b>	<b>29,75</b>	<b>29,37</b>	<b>0,17</b>	<b>55,00</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 37 – Medição 3.2

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
23,70	31,30	31,00	0,15	52,00	
23,80	31,20	31,10	0,12	53,00	
23,80	31,30	31,10	0,10	53,00	
23,80	31,30	31,20	0,20	53,00	
23,90	31,40	31,30	0,23	53,00	
23,90	31,50	31,40	0,19	52,00	
23,80	31,40	31,40	0,17	52,00	
23,90	31,50	31,30	0,18	51,00	
23,90	31,50	31,40	0,22	52,00	
23,80	31,50	31,40	0,20	51,00	
<b>Média</b>	<b>23,83</b>	<b>31,39</b>	<b>31,26</b>	<b>0,18</b>	<b>52,20</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 38 – Medição 3.3

	Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)
	26,80	31,50	31,60	0,13	53,00
	26,70	31,50	31,50	0,27	54,00
	26,70	31,60	31,50	0,23	54,00
	26,80	31,60	31,60	0,25	54,00
	26,80	31,70	31,60	0,18	53,00
	26,90	31,60	31,60	0,19	53,00
	26,80	31,70	31,70	0,20	54,00
	26,90	31,70	31,60	0,13	54,00
	26,90	31,70	31,60	0,15	55,00
	27,00	31,70	31,70	0,21	55,00
<b>Média</b>	<b>26,83</b>	<b>31,63</b>	<b>31,60</b>	<b>0,19</b>	<b>53,90</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 39 – Medição 3.4

	Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)
	25,40	30,90	30,40	0,22	57,00
	25,30	30,90	30,40	0,25	58,00
	25,30	31,00	30,50	0,28	57,00
	25,20	31,10	30,40	0,17	57,00
	25,20	31,30	30,50	0,13	56,00
	25,30	31,20	30,50	0,15	56,00
	25,20	31,10	30,60	0,19	55,00
	25,30	31,10	30,50	0,21	56,00
	25,40	31,00	30,60	0,23	55,00
	25,40	31,00	30,50	0,16	56,00
<b>Média</b>	<b>25,30</b>	<b>31,06</b>	<b>30,49</b>	<b>0,20</b>	<b>56,30</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 40 – Medição 3.5

	Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)
	26,10	31,20	30,90	0,15	55,00
	26,20	31,30	30,90	0,18	54,00
	26,20	31,10	30,90	0,13	55,00
	26,30	31,00	30,80	0,21	55,00
	26,20	31,10	30,90	0,19	55,00
	26,30	31,10	30,90	0,16	56,00
	26,30	31,20	31,00	0,15	56,00
	26,30	31,20	30,90	0,19	56,00
	26,40	31,10	31,00	0,25	55,00
	26,40	31,20	31,00	0,23	56,00
<b>Média</b>	<b>26,27</b>	<b>31,15</b>	<b>30,92</b>	<b>0,18</b>	<b>55,30</b>

Fonte: Autoria própria

Medições realizadas no ponto 4.

**Tabela 41 – Medição 4.1**

	<b>Tnw (°C)</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Ta (°C)</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>UR (%)</b>
	26,50	34,30	33,20	0,30	52,00
	26,40	34,30	33,10	0,25	52,00
	26,50	34,20	33,00	0,28	51,00
	26,50	34,20	32,90	0,31	52,00
	26,40	34,10	32,80	0,50	52,00
	26,40	34,10	32,80	0,31	52,00
	26,30	34,10	32,90	0,50	51,00
	26,30	34,00	32,70	0,34	52,00
	26,40	33,90	32,80	0,36	52,00
	26,30	34,00	32,70	0,40	52,00
<b>Média</b>	<b>26,40</b>	<b>34,12</b>	<b>32,89</b>	<b>0,36</b>	<b>51,80</b>

Fonte: Autoria própria

**Tabela 42 – Medição 4.2**

	<b>Tnw (°C)</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Ta (°C)</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>UR (%)</b>
	25,90	32,40	31,60	0,26	54,00
	25,80	32,50	31,70	0,31	54,00
	25,90	32,50	31,70	0,29	54,00
	25,90	32,30	31,60	0,27	53,00
	25,80	32,40	31,60	0,26	54,00
	25,80	32,50	31,60	0,48	54,00
	25,80	32,40	31,50	0,30	55,00
	25,70	32,50	31,50	0,52	55,00
	25,80	32,50	31,50	0,42	56,00
	25,70	32,50	31,40	0,37	54,00
<b>Média</b>	<b>25,81</b>	<b>32,45</b>	<b>31,57</b>	<b>0,35</b>	<b>54,30</b>

Fonte: Autoria própria

**Tabela 43 – Medição 4.3**

	<b>Tnw (°C)</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Ta (°C)</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>UR (%)</b>
	26,70	34,40	33,10	0,34	51,00
	26,80	34,40	33,00	0,45	52,00
	26,80	34,50	33,10	0,51	51,00
	26,90	34,60	33,10	0,37	51,00
	26,90	34,60	33,20	0,42	52,00
	26,80	34,50	33,20	0,45	51,00
	26,80	34,60	33,20	0,51	51,00
	26,70	34,60	33,20	0,49	51,00
	26,80	34,60	33,30	0,47	50,00
	26,88	34,70	33,20	0,49	51,00
<b>Média</b>	<b>26,81</b>	<b>34,55</b>	<b>33,16</b>	<b>0,45</b>	<b>51,10</b>

Fonte: Autoria própria



Tabela 44 – Medição 4.4

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)
25,20	32,10	30,90	0,26	54,00
25,20	32,20	31,00	0,32	55,00
25,20	32,20	31,00	0,35	54,00
25,30	32,30	31,10	0,40	54,00
25,40	32,30	31,20	0,12	54,00
25,30	32,30	32,20	0,51	54,00
25,40	32,40	31,10	0,34	55,00
25,40	32,30	32,20	0,40	55,00
25,40	32,40	32,30	0,40	55,00
25,50	32,40	32,20	0,36	56,00
<b>Média</b>	<b>25,33</b>	<b>32,29</b>	<b>0,35</b>	<b>54,60</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 45 – Medição 4.5

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)
25,70	32,90	32,50	0,35	53,00
25,60	33,00	32,50	0,37	52,00
25,60	33,90	32,50	0,39	52,00
25,60	32,80	32,40	0,32	53,00
25,50	32,90	32,50	0,45	53,00
25,60	32,80	32,40	0,51	52,00
25,50	32,80	32,40	0,42	52,00
25,50	32,70	32,40	0,38	53,00
25,60	32,80	32,40	0,37	52,00
25,50	32,80	32,50	0,41	53,00
<b>Média</b>	<b>25,57</b>	<b>32,94</b>	<b>0,40</b>	<b>52,50</b>

Fonte: Autoria própria

Medições realizadas no ponto 5.

Tabela 46 – Medição 5.1

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)
22,90	32,90	30,90	0,30	50,00
23,00	32,80	30,90	0,48	49,00
23,10	32,90	31,10	0,30	49,00
23,20	33,10	31,20	0,31	47,00
23,30	33,20	31,30	0,31	48,00
23,20	33,20	31,30	0,32	47,00
23,30	33,30	31,20	0,35	48,00
23,30	33,20	31,30	0,36	48,00
23,30	33,30	31,30	0,32	49,00
23,40	33,30	31,40	0,31	48,00
<b>Média</b>	<b>23,20</b>	<b>33,12</b>	<b>0,34</b>	<b>48,30</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 47 – Medição 5.2

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
24,50	34,10	32,20	0,37	49,00	
24,40	34,00	32,20	0,32	48,00	
24,50	34,10	32,10	0,36	49,00	
24,50	34,10	32,20	0,39	49,00	
24,60	34,10	32,20	0,34	49,00	
24,50	34,20	32,20	0,31	50,00	
24,60	34,10	32,20	0,40	49,00	
24,60	34,10	32,30	0,32	50,00	
24,70	34,00	32,20	0,45	50,00	
24,60	34,10	32,20	0,41	50,00	
<b>Média</b>	<b>24,55</b>	<b>34,09</b>	<b>32,20</b>	<b>0,37</b>	<b>49,30</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 48 – Medição 5.3

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
23,60	33,60	31,60	0,35	50,20	
23,80	33,80	31,60	0,30	50,20	
23,70	33,80	31,70	0,37	50,10	
23,70	33,80	31,70	0,39	50,20	
23,80	33,70	31,70	0,34	50,10	
23,80	33,70	31,80	0,39	50,10	
23,80	33,70	31,90	0,41	50,00	
23,70	33,60	31,90	0,40	49,00	
23,80	33,70	31,80	0,42	49,00	
23,70	33,70	31,90	0,32	50,00	
<b>Média</b>	<b>23,74</b>	<b>33,71</b>	<b>31,76</b>	<b>0,37</b>	<b>49,89</b>

Fonte: Autoria própria

Tabela 49 – Medição 5.4

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)	
22,80	33,10	30,70	0,37	52,00	
22,90	33,00	30,70	0,32	51,00	
22,80	33,00	30,80	0,36	52,00	
22,90	32,90	30,70	0,41	50,00	
22,90	33,00	30,80	0,32	51,00	
22,90	32,90	31,00	0,52	52,00	
23,00	33,00	30,90	0,37	52,00	
22,90	32,90	30,90	0,39	51,00	
23,00	32,90	31,00	0,41	52,00	
23,00	33,00	31,00	0,48	51,00	
<b>Média</b>	<b>22,91</b>	<b>32,97</b>	<b>30,85</b>	<b>0,40</b>	<b>51,40</b>

Fonte: Autoria própria

**Tabela 50 – Medição 5.5**

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)
24,90	32,30	32,30	0,35	49,00
25,00	32,00	32,20	0,36	48,00
25,10	32,00	32,20	0,34	48,00
25,00	32,10	32,10	0,35	49,00
25,00	32,20	32,20	0,47	48,00
24,90	32,20	32,10	0,42	49,00
25,00	32,30	32,10	0,37	49,00
25,00	32,20	32,10	0,38	49,00
25,10	32,30	32,20	0,36	50,00
25,00	32,30	32,10	0,34	49,00
<b>Média</b>	<b>25,00</b>	<b>32,19</b>	<b>0,37</b>	<b>48,80</b>

Fonte: Autoria própria

Medições realizadas no ponto 6.

**Tabela 51 – Medição 6.1**

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)
22,70	29,60	27,60	0,25	58,00
22,70	29,60	27,50	0,24	57,00
22,80	29,50	27,50	0,27	58,00
22,80	29,50	27,50	0,31	58,00
22,70	29,50	27,40	0,30	57,00
22,80	29,50	27,50	0,20	58,00
22,80	29,40	27,40	0,23	57,00
22,70	29,40	27,40	0,27	57,00
22,70	29,50	27,30	0,24	57,00
22,70	29,60	27,40	0,26	56,00
<b>Média</b>	<b>22,74</b>	<b>29,51</b>	<b>0,26</b>	<b>57,30</b>

Fonte: Autoria própria

**Tabela 52 – Medição 6.2**

Tnw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Va (m/s)	UR (%)
23,90	30,50	30,70	0,27	52,00
23,90	30,60	30,70	0,26	53,00
24,00	30,50	30,70	0,25	53,00
24,00	30,60	30,80	0,31	52,00
24,10	30,70	30,80	0,32	54,00
24,10	30,60	30,90	0,26	53,00
24,20	30,60	31,00	0,29	53,00
24,10	30,70	30,90	0,35	52,00
24,20	30,70	30,90	0,30	53,00
24,20	30,70	30,90	0,24	53,00

<b>Média</b>	<b>24,07</b>	<b>30,62</b>	<b>30,83</b>	<b>0,29</b>	<b>52,80</b>
--------------	--------------	--------------	--------------	-------------	--------------

Fonte: Autoria própria

**Tabela 53 – Medição 6.3**

<b>Tnw (°C)</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Ta (°C)</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>UR (%)</b>
23,10	29,40	28,50	0,32	58,00
23,30	29,40	28,60	0,34	58,00
23,20	29,30	28,60	0,37	57,00
23,10	29,40	28,70	0,32	57,00
23,20	29,40	28,60	0,35	57,00
23,20	29,40	28,60	0,29	57,00
23,20	29,30	28,50	0,27	58,00
23,30	29,30	28,60	0,39	58,00
23,30	29,20	28,50	0,29	57,00
23,30	29,20	28,50	0,30	58,00
<b>Média</b>	<b>23,22</b>	<b>29,33</b>	<b>0,32</b>	<b>57,50</b>

Fonte: Autoria própria

**Tabela 54 – Medição 6.4**

<b>Tnw (°C)</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Ta (°C)</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>UR (%)</b>
23,40	30,20	29,20	0,28	54,00
23,60	30,10	29,20	0,32	55,00
23,40	30,10	29,10	0,29	55,00
23,50	30,10	29,10	0,34	55,00
23,50	30,00	29,10	0,31	56,00
23,50	29,90	29,00	0,25	56,00
23,40	29,90	29,00	0,27	55,00
23,50	29,90	28,90	0,35	56,00
23,40	29,80	29,00	0,30	55,00
23,40	29,90	29,00	0,29	55,00
<b>Média</b>	<b>23,46</b>	<b>29,99</b>	<b>0,30</b>	<b>55,20</b>

Fonte: Autoria própria

**Tabela 55 – Medição 6.5**

<b>Tnw (°C)</b>	<b>Tg (°C)</b>	<b>Ta (°C)</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>UR (%)</b>
22,90	29,80	27,90	0,25	57,00
22,80	29,80	28,00	0,29	58,00
22,80	29,80	28,00	0,24	58,00
22,90	29,90	28,00	0,35	58,00
22,90	30,00	28,10	0,31	59,00
23,00	29,90	28,10	0,29	58,00
23,00	30,00	28,20	0,32	59,00
22,90	30,00	28,10	0,34	59,00
23,00	29,90	28,20	0,36	58,00
23,10	30,00	28,10	0,34	59,00
<b>Média</b>	<b>22,93</b>	<b>29,91</b>	<b>0,31</b>	<b>58,30</b>

Fonte: Autoria própria

**ANEXO B - Dados de produtividade obtidos nas medições**

Tabela 56 – Tempos de vazamento de peças

Medição	Peça 1 (s)	Peça 2 (s)	Peça 3 (s)	Peça 4 (s)	Peça 5 (s)	Média (s)
1.1	11,02	10,90	10,77	10,94	10,87	<b>10,90</b>
2.1	11,38	11,12	11,47	11,30	11,53	<b>11,36</b>
3.1	11,51	11,39	11,42	11,67	11,42	<b>11,48</b>
4.1	11,65	11,73	11,69	11,74	11,68	<b>11,70</b>
5.1	11,37	11,49	11,54	11,49	11,56	<b>11,49</b>
6.1	11,14	11,23	11,42	11,29	11,36	<b>11,29</b>
1.2	11,09	11,15	11,27	11,21	11,18	<b>11,18</b>
2.2	11,64	11,57	11,68	11,65	11,63	<b>11,63</b>
3.2	11,46	11,54	11,63	11,59	11,42	<b>11,53</b>
4.2	11,63	11,67	11,59	11,57	11,62	<b>11,62</b>
5.2	11,63	11,64	11,52	11,54	11,63	<b>11,59</b>
6.2	11,50	11,53	11,45	11,55	11,59	<b>11,52</b>
1.3	11,34	11,54	11,29	11,47	11,37	<b>11,40</b>
2.3	11,52	11,63	11,60	11,57	11,61	<b>11,59</b>
3.3	11,67	11,62	11,68	11,72	11,59	<b>11,66</b>
4.3	11,69	11,75	11,71	11,74	11,76	<b>11,73</b>
5.3	11,53	11,49	11,57	11,63	11,45	<b>11,53</b>
6.3	11,37	11,18	11,54	11,62	11,36	<b>11,41</b>
1.4	9,79	9,63	10,08	9,97	10,12	<b>9,92</b>
2.4	11,25	11,23	11,23	11,27	11,26	<b>11,25</b>
3.4	11,52	11,68	11,57	11,69	11,62	<b>11,62</b>
4.4	11,63	11,60	11,57	11,64	11,59	<b>11,61</b>
5.4	11,63	11,58	11,34	11,49	11,45	<b>11,50</b>
6.4	11,47	11,34	11,59	11,46	11,64	<b>11,50</b>
1.5	11,24	11,28	11,22	11,34	11,18	<b>11,25</b>
2.5	11,52	11,46	11,34	11,58	11,62	<b>11,50</b>
3.5	11,62	11,58	11,59	11,64	11,60	<b>11,61</b>
4.5	11,64	11,59	11,56	11,62	11,59	<b>11,60</b>
5.5	11,55	11,52	11,67	11,62	11,56	<b>11,58</b>
6.5	11,37	11,53	11,46	11,32	11,38	<b>11,41</b>

Fonte: Autoria própria