



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

**JOÃO BATISTA REGIS PIRES**

**PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM ALTERNATIVO COM  
INCREMENTO DE SEÇÕES DE PRÉ E PÓS-CÂMARA DE  
AQUECIMENTO: DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO**

Salvador – BA  
2021

**JOÃO BATISTA REGIS PIRES**

**PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM ALTERNATIVO COM  
INCREMENTO DE SEÇÕES DE PRÉ E PÓS-CÂMARA DE  
AQUECIMENTO: DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientadores:

Prof. Dr. Márcio André Fernandes Martins

Prof. Dr. João Erivando Soares Marques

Salvador – BA

2021

Pires, João Batista Regis

Processo de rotomoldagem alternativo com incremento de seções de pré- e pós câmara de aquecimento: desenvolvimento de um protótipo/João Batista Regis Pires. - Salvador, 2021

82f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Márcio André Fernandes Martins.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2021.

1. Processo de rotomoldagem. 2. Transferência de calor. 3. Eficiência energética. 4. Propriedades físicas dos materiais. 5. Engenharia de produção. I. Martins, Márcio André Fernandes. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDD

# PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM ALTERNATIVO COM INCREMENTO DE SEÇÕES DE PRÉ E PÓS-CÂMARA DE AQUECIMENTO: DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO

JOÃO BATISTA REGIS  
PIRES

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Aprovada em: 08 de julho de 2021.

Examinada por:

Prof. Dr. Márcio André Fernandes Martins – Orientador  
Universidade Federal da Bahia (UFBA)



Prof. Dr. Ângelo Márcio Oliveira Sant'anna  
Universidade Federal da Bahia (DEM-UFBA)



Prof. Dr. Luciano Pisanu  
Senai-Cimatec (Bahia)



A Deus, que me ama, me deu força e me protegeu nas minhas idas e vindas. Meus pais, Deusdete e Carmelita, que me ensinaram a trabalhar. Minha esposa, Miryan, e minhas filhas, Stefanny e Stella, que me fazem ser uma pessoa vitoriosa a cada dia.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me permitido chegar até aqui, e a todos que colaboraram com a minha jornada.

Agradeço à minha mãe, que me ensinou a ser honesto e não cobiçar o que é dos outros; ao meu pai, que me deu uma profissão de pedreiro que foi a base de tudo para eu chegar até aqui; e aos meus irmãos, que me permitiram ampliar o meu conhecimento.

Agradeço à minha família, que me deu forças e me apoiou. Em especial, a minhas filhas, Stefanny e Stella, e à minha esposa, Miryan, que esteve sempre presente.

Aos meus irmãos de fé, Valdomiro e todos da família de minha esposa, Zeca, Alaíde, Munda, Zezão. Em especial, Zezão e Alaíde, que contribuíram para a conquista do título.

Aos meus professores: Ricardo Carvalho, Iuri Pepe, Márcio Martins, Karen, Cristiano, Roberto, pelo apoio e dedicação demonstrada durante todo o período do mestrado.

A equipe docente do SENAI-CIMATEC, em especial o prof. Luciano Pisanu e técnicos da área plástica que me orientaram e me forneceram a matéria-prima para produzir as amostras com o equipamento protótipo.

A equipe técnica da UFBA, em especial os técnicos de laboratório pela sua boa vontade e dedicação no empenho dos testes e ensaios realizados com as amostras.

Ao grande colegas de trabalho e amigo prof. Ismar andrade, que me ajudou e disponibilizou o laboratório de metrologia para realização de alguns testes com o corpo de provas.

Aos meus colegas: Mario, Javier, Angela; em especial, a meu grande mestre, Jean Claude Cailleaux, que teve uma participação decisiva para a conquista deste

mestrado. Aos companheiros e amigos que fizeram o curso comigo, além dos membros dos laboratórios de geologia, pelo carinho e amizade que me dedicaram.

Aos meus colegas de trabalho do IFBA: Funcionários terceirizados que me apoiaram; técnicos administrativos Joab, Eriswagner, Maribaldo, os professores Ismar, Maximiliano, Henrique (física) Cléia e ao grande amigo João Erisvando.

A todos meu muito obrigado.

Ainda que eu andasse pelo vale da  
sombra da morte, nada temerei, porque o  
Senhor é meu pastor, e nada me faltará.

*Salmos 23:1*

PIRES, João Batista Regis. **Processo de rotomoldagem alternativo com incremento de seções de pré e pós-câmara de aquecimento**: desenvolvimento de um protótipo. 83p. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

## RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados da produção com o desenvolvimento de um processo de rotomoldagem alternativo com o incremento de seções de pré câmara e pós câmara de aquecimento, realizados com a construção de uma máquina de rotomoldagem protótipo. Esta invenção cobriu algumas lacunas que limitam os processos convencionais, caracterizados por longos períodos de ciclo e desperdício energético. O trabalho foi focado, inicialmente, no principal objetivo: a redução do tempo de ciclo; a partir deste, conseqüentemente, proporcionaram-se os demais ganhos e modelagem do novo processo. Isso só foi possível com a manipulação e reutilização do próprio calor gerado pelo processo, graças à proposição de um novo arranjo arquitetônico. O método utilizado contemplou a construção do protótipo para a produção de amostras, seguida de testes para avaliar a qualidade das principais propriedades físicas do produto produzido e estudo energético do processo. Os resultados mostraram uma redução do tempo de ciclo e, conseqüentemente, redução do consumo de energia, devido à reutilização do próprio calor que, antes, era desperdiçado para o meio ambiente no final de cada ciclo; em seguida, houve a produção de peças que tiveram suas principais propriedades mecânicas validadas através de suas incertezas de medição, avaliadas pela norma *Guia para a expressão da incerteza de medição* – GUM. A partir dos resultados gerais obtidos do protótipo proposto, constata-se que a produção manteve a qualidade das principais propriedades físicas avaliadas, inclusive, foi atestada a uniformidade das amostras, o que comprova a garantia de estabilidade desse protótipo na produção seriada de peças em escala industrial; também, verificou-se redução dos custos de produção; tal fato proporciona a um futuro investidor visualizar que, para cada unidade monetária gasta em kWh de energia consumida, obtém-se um percentual de redução de custo em cada ciclo produtivo. Esses ganhos comprovam a factibilidade e superioridade em eficiência e desempenho dessa máquina protótipo frente aos outros fabricantes renomados de máquina de rotomoldagem industrial.

Palavras-chave: Máquina de rotomoldagem. Processo de rotomoldagem..  
Eficiência energética. Propriedades físicas dos materiais.

PIRES, João Batista Regis. **Alternative rotational molding process with increment of pre and post heating chamber sections**: development of a prototype. 83p. 2021. Dissertation (Master em Engenharia Industrial) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

## ABSTRACT

This work presents results of the development of production the an alternative rotomolding process with the increase of pre heating and post heating chamber sections, carried out with the construction of a rotomolding prototype-machine. This invention covers some gaps that have limited conventional processes, which are characterized by long cycle times and energy waste. The work was initially focused on the main objective: the reduction of cycle time; from this, consequently, the other gains and modeling of the new process were provided. This was only possible with the manipulation and reuse of the heat generated by the process, thanks to the purpose of a new architectural arrangement. The proposed method included the construction of the prototype for the production of samples, followed by tests to certify the quality of the main physical properties of the product produced and an energetic study of the process. The results showed a reduction in the cycle time and, consequently, a reduction in energy consumption, due to the reuse of the heat itself, which was previously wasted on the environment at the end of each cycle; then, machined parts had their main mechanical properties validated through their measurement uncertainties, evaluated in accordance with the internationally recognized method concerning this task, namely the GUM framework. From the general results obtained from the proposed prototype, it appears that the production maintained the quality of the main physical properties evaluated, including the uniformity of the samples, which proves the guarantee of stability of this prototype in the serial production of parts in scale industrial; also, there was a reduction in production costs; this fact allows a future investor to visualize that, for each monetary unit spent in kWh of energy consumed, a percentage of cost reduction is obtained in each production cycle. These gains prove the feasibility and superiority in efficiency and performance of this prototype machine compared to the other renowned manufacturers of industrial rotational molding machines.

Keywords: Rotomolding machine. Rotational molding process. Energy efficiency. Physical properties of materials. Measurement uncertainty.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Dados de processo na produção das amostras - Modo convencional.....	35
<b>Tabela 2</b> - Dados de processo na produção das amostras - Modos pré câmara e pós câmara com controlador desligado (off).....	35
<b>Tabela 3</b> - Dados de processo na produção das amostras - Modos pré câmara e pós câmara com controlador ligado (on).....	36
<b>Tabela 4-</b> Câmara de aquecimento: modo convencional, considerando a temperatura ambiente de 19 °C.....	38
<b>Tabela 5</b> – Pré câmara e pós câmara de aquecimento: modo controlador desligado (off), considerando a temperatura ambiente de 20 °C.....	38
<b>Tabela 6</b> - Pré câmara e pós câmara de aquecimento: modo controlador ligado (on), considerando a temperatura ambiente 20 °C.....	39
<b>Tabela 7</b> - Exemplo Demonstrativo: Densidade-Modo convencional.....	40
<b>Tabela 8</b> - Exemplo Demonstrativo: Resultados de espessuras - Modo convencional.....	42
<b>Tabela 9</b> - Exemplo Demonstrativo: Resultados dos testes hidrostáticos - Modo convencional.....	43
<b>Tabela 10</b> - Exemplo Demonstrativo: Resultados dos testes de tração das amostras - Modo convencional.....	46
<b>Tabela 11</b> - Exemplo Demonstrativo: Resultados dos cálculos de incerteza de densidade - Modo convencional.....	47
<b>Tabela 12</b> - Consumo energético da câmara de aquecimento - Modo convencional.....	49
<b>Tabela 13</b> - Consumo energético da câmara de aquecimento - Modos pré- e pós câmara de aquecimento: controlador desligado (off).....	49
<b>Tabela 14</b> - Consumo energético da câmara de aquecimento - Modos pré- e pós câmara de aquecimento: controlador ligado (on).....	49
<b>Tabela 15</b> - Percentual de tempo comparativo entre modo convencional x arranjo arquitetônico implementado.....	50
<b>Tabela 16</b> - Dados para cálculo da redução do custo de produção, considerando-se a produção de cinco amostras.....	50
<b>Tabela 17</b> - Redução de custo energético/hora de produção em unidade.....	51
<b>Tabela 18</b> - Densidade – Modo convencional.....	53
<b>Tabela 19</b> -Densidade - Modos pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador desligado (off).....	53
<b>Tabela 20</b> - Densidade - Modos pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador ligado (on).....	53
<b>Tabela 21</b> - Resultados de espessuras - Modo convencional.....	54
<b>Tabela 22</b> - Resultado de espessuras - Modos pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador desligado (off).....	55
<b>Tabela 23</b> - Resultado de espessuras - Modos pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador ligado (on).....	55
<b>Tabela 24</b> - Resultado dos testes: hidrostático e densidade - Modo convencional.....	57
<b>Tabela 25</b> - Resultado dos testes: hidrostático e densidade - Modos pré- e pós câmara com controlador desligado (off).....	57
<b>Tabela 26</b> - Resultado dos testes: hidrostático e densidade - Modos pré- e pós câmara com controlador ligado (on).....	57
<b>Tabela 27</b> - Resultados dos testes de tração das amostras - Modo convencional.....	58
<b>Tabela 28</b> - Resultados dos testes de tração das amostras - Modos pré- e pós câmara de aquecimento com controlador desligado (off).....	58
<b>Tabela 29</b> - Resultados dos testes de tração das amostras - Modos pré-câmara e pós câmara de aquecimento com controlador ligado (on).....	59
<b>Tabela 30</b> - Resultado da incerteza de medição das densidades.....	60
<b>Tabela 31</b> - Espessuras das paredes e respectivos desvios-padrão nos três modos de operações.....	61
<b>Tabela 32</b> - Resultado da incerteza de medição de tração.....	63

**Tabela 33** - Resultado da incerteza de medição de tenacidade.....64

## LISTA DE FIGURAS

Figure 1 - Etapas do Processo de Rotomoldagem.....	17
Figure 2 - Ciclo térmico na rotomoldagem (linha laranja = temperatura do forno; linha amarela = temperatura no interior do molde).....	18
Figure 3 - Equipamento convencional de rotomoldagem .....	22
Figure 4 - Circulação do ar quente dentro da câmara da rotomoldagem.....	24
Figure 5 - Fluxograma do novo processo proposto.....	30
Figure 6 - Equipamento protótipo com arranjo arquitetônico implementado .....	31
Figure 8 - Modo Convencional - Temperatura X Potência fornecida para produção das amostras.....	36
Figure 9 - Modo pré e pós câmara controle desligado (off) - Temperatura X Potência fornecida para produção das amostras .....	37
Figure 10 - Modo pré e pós câmara controle ligado (on) - Temperatura X Potência fornecida para produção das amostras .....	37
Figure 11 - Desenho na peça produzida dos pontos a serem medidos na amostra.....	41
Figure 12 - Desenho em CAD dos pontos de medida na amostra.....	41
Figure 13 - Amostras produzidas: modo convencional, com controlador desligado (off) e ligado (on), respectivamente.....	43
Figure 14 - Dimensões do CP para ensaios de Tração (ASTM D638) .....	45
Figure 15 - Ensaio de tração com amostra produzidas no modo convencional, .....	45

**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BRAND GMBH	Marca Gesellschaft Mit Beschränkter Haftung (sociedade de responsabilidade Ltda.)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
DEHP	Bis-etilhexil-ftalato
EMIC	Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda.
GEHAKA	Ind. e Com. Eletro Eletrônica Gehaka Ltda.
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Intelectual
GUM	<i>Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização) / <i>Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement</i> (Guia para Expressão da Incerteza de Medição)
PEG	Polietileglicol
PELBD	Polietileno Linear de Baixa Densidade
PID	Proporcional, Integral, Derivativo
PLLA	Ácido Polilático
PWM	Pulse Width Modulation
SIMEP	Simpósio de Engenharia de Produção

## LISTA DE SÍMBOLOS

g	Gramma
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
h	Hora
kg	Quilograma
kgf	Quilograma-força
kWh	Quilowatt-hora
m	mili
min	Minuto
mm	Milímetro
°C	Grau Celsius
p	Probabilidade
R\$	Real

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I .....	17
1 INTRODUÇÃO .....	17
1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	17
1.2 OBJETIVOS .....	19
1.2.1 Objetivo geral .....	19
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
1.4 PUBLICAÇÕES .....	21
CAPÍTULO II .....	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	22
2.1 O SISTEMA DE AQUECIMENTO USADO NA ROTOMOLDAGEM .....	24
2.2 MATERIAIS USADOS NA ROTOMOLDAGEM .....	24
2.3 O ESTADO DA ARTE.....	25
2.4 A PROPOSTA DO TRABALHO .....	30
2.5 AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO .....	31
CAPÍTULO III .....	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	33
3.1 CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA PROTÓTIPO.....	33
3.2 DADOS DE EXPERIMENTO DE PRODUÇÃO DA MÁQUINA PROTÓTIPO .....	35
3.3 TESTE E ENSAIOS .....	39
3.3.1 TESTE DE DENSIDADE.....	40
3.3.2 TESTE DE ESPESSURA.....	41
3.3.2.1 PONTOS A SEREM MEDIDOS NA AMOSTRA PRODUZIDA COM O EQUIPAMENTO PROTÓTIPO .....	41
3.3.3 Teste hidrostático .....	42
3.3.4 ENSAIO DE TRAÇÃO E TENACIDADE .....	43
3.3.4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO NO EQUIPAMENTO EMIC-DL® 2000 .....	44
3.3.4.2 TRATAMENTO DOS DADOS: ANÁLISE DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO .....	46
3.3.4.2.1 CÁLCULOS DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DAS AMOSTRAS .....	46

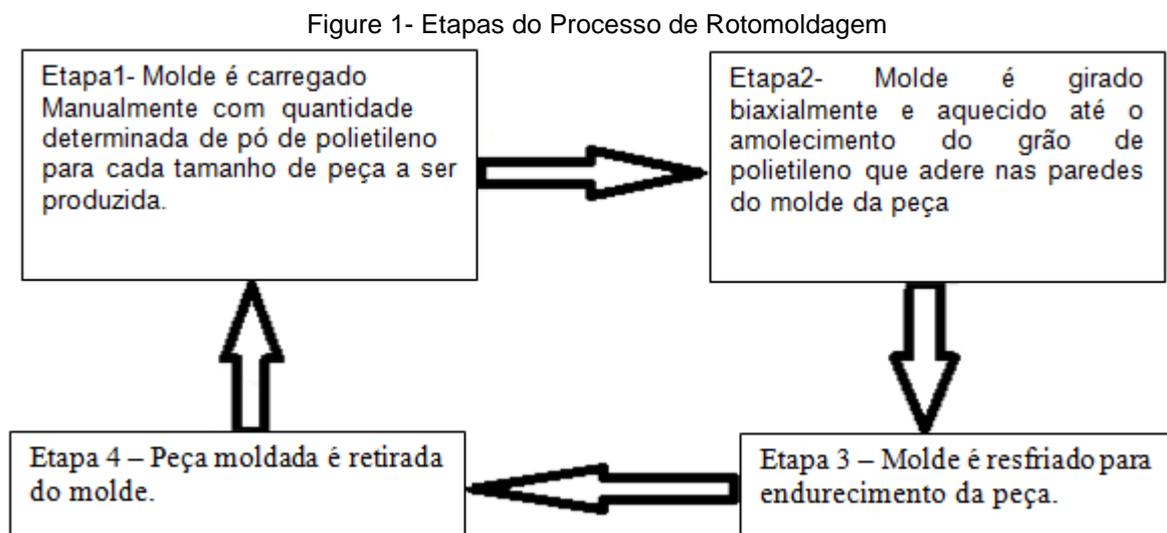
CAPÍTULO IV.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1 ANÁLISES DOS DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO .....	49
4.2 ANÁLISES DAS PRINCIPAIS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS AMOSTRAS .....	51
4.2.1 TESTE E ENSAIOS .....	51
4.2.2 TESTE DE DENSIDADE (POROSIDADE).....	53
4.2.3 TESTE DE ESPESSURA.....	54
4.2.4 TESTE HIDROSTÁTICO .....	56
4.2.5 ENSAIO DE TRAÇÃO E TENACIDADE .....	58
4.3 TRATAMENTO DOS DADOS: ANÁLISE DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO .....	60
4.3.1 DENSIDADE .....	60
4.3.2 ESPESSURA .....	61
4.3.3 TRAÇÃO E TENACIDADE .....	62
CAPÍTULO V .....	65
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
5.1 CONCLUSÕES .....	65
5.2 CONTINUIDADE DA PESQUISA .....	66
REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICE A .....	70
APÊNDICE B .....	71

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUÇÃO

#### 1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A rotomoldagem caracteriza-se também por ser um processo de baixo custo para a obtenção de peças ocas com paredes uniformes e regiões livres de tensões. Do ponto de vista operacional, consiste em um processo composto pelas etapas de carregamento, aquecimento e rotação, resfriamento e desmoldagem, no qual o molde, contendo o pó de polietileno, gira biaxialmente dentro de uma câmara de aquecimento, com temperatura e velocidades controladas (REVYAKO; KHROL, 2010; RUBIO, 2016). A figura 1 mostra as etapas cíclicas deste processo.



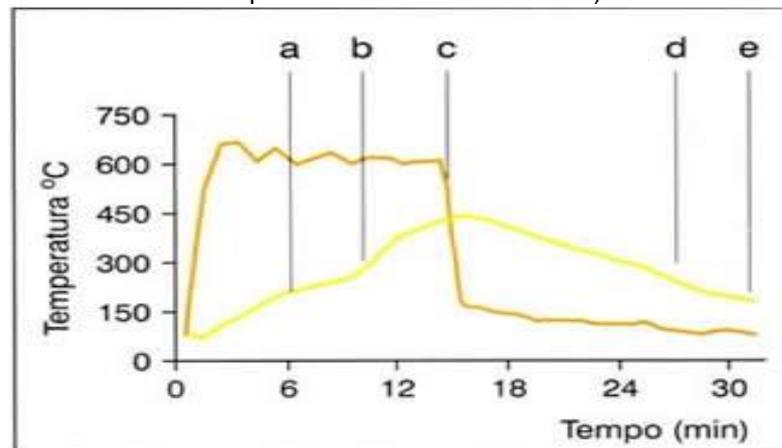
A figura 1 mostra as etapas sumarizadas da seguinte forma:

- Carregamento, no qual o molde é abastecido com polietileno de média densidade em forma de pó. A quantidade abastecida é em função da espessura que se deseja da peça, dura em média de 2 minutos.
- Aquecimento e rotação, em que o controlador da fonte de energia da câmara de aquecimento é ligado para fornecer calor e moldar a peça no molde. Inicia com a temperatura ambiente, no primeiro ciclo, até chegar aos 270 °C, e se permanece nesta até que se finalize a rotomoldagem da peça; dura em média 15 minutos.

- Resfriamento e rotação, em que é desligado o aquecimento; dura em média 10 minutos, tempo em que o molde é girado biaxialmente e a peça é resfriada o suficiente para solidificá-la no formato do molde e, posteriormente, desprendê-la.
- Desmoldagem, na qual a peça é removida do molde.

Já o processo de transferência de calor para o amolecimento do grão de polietileno é mostrado na figura 2.

Figure 2 - Ciclo térmico na rotomoldagem (linha laranja = temperatura do forno; linha amarela = temperatura no interior do molde)



Fonte: Revista Ferramental (2007)

A Figura 2 sumariza o comportamento do material em função do tempo até a etapa de resfriamento: (a) material na forma de pó; (b) material na forma de pó + fusão; (c) fusão incompleta; (d) fusão completa e (e) resfriamento da peça (PISANU, 2008).

Em face do exposto, percebe-se que a rotomoldagem é um processo de produção constituído por um longo período de ciclo produtivo indesejado, e os custos com matéria-prima e energia são os principais custos de produção desse processo (SLĂTINEANU et al., 2012).

Nesse processo ilustrado na Figura 2, mostra-se a etapa de transformação termoplástica, na qual é utilizado o gás natural como fonte de energia. Entretanto, nesse processo, gera-se desperdício energético expressivo na etapa de retirada do molde da câmara de aquecimento no final de cada ciclo, o que exige incrementos substanciais de energia para partida do novo ciclo; isso eleva o custo e a emissão de poluentes com a queima do gás natural.

Uma forma de minimizar esse custo seria reaproveitar a energia desperdiçada no final de cada ciclo produtivo; assim, também se contribui para reduzir os impactos ambientais (RENDEIRO et al., 2008), uma vez que não há com o processo proposto decréscimo das principais propriedades físico-químicas do material, que ocorre ao manipular o tempo de ciclo de produção, através da manipulação da temperatura, que é elevada bruscamente em períodos mais curtos de tempo, por conta da degradação indesejada do material.

Do ponto de vista social, o trabalho justifica-se por proporcionar um produto menos custoso, que impacta na redução de preço para o consumidor final e; com isso, aumenta-se o poder de compra dos brasileiros.

Na perspectiva da economia, justifica-se por colaborar para criar um processo competitivo frente aos concorrentes internacionais, que, nas últimas décadas, com o protagonismo da China, vêm exigindo cada vez mais da indústria nacional, para se manter competitiva frente aos concorrentes, o que, conseqüentemente, impacta na geração de emprego no país.

Na questão ambiental, a justificativa se dá pelo fato de favorecer uma menor emissão de poluentes no meio ambiente, buscando uma melhor eficiência do processo, por meio da queima de uma quantidade menor de gás natural.

No aspecto acadêmico, justifica-se por proporcionar contribuição inédita com essa rota de produção de produtos rotomoldados, advindos da transformação do polímero e, além disso, com um grande potencial de gerar uma patente bem-sucedida do objeto de estudo. Ademais, proporciona mais um passo no processo científico voltado para a rotomoldagem, abrindo caminho para a continuidade de estudos para trabalhos futuros.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

Desenvolver um protótipo para um processo alternativo de rotomoldagem, que vise a uma melhoria da eficiência energética, redução do tempo de produção e seus custos associados, preservando ou até melhorando as propriedades físico-químicas do material.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Arquitetar um novo arranjo de equipamento (protótipo) para o processo de rotomoldagem através de incrementos de seções de pré- e pós câmara de aquecimento, para minimizar o desperdício energético no aquecimento da câmara de produção de peças rotomoldadas;
- Garantir uma redução do tempo de ciclo de aquecimento e produção de peças rotomoldadas;
- Modelar um fator redutor de unidade monetária de custo e de tempo de produção para cada unidade monetária investido no processo;
- Preservar as propriedades físico-químicas do material produzido no processo alternativo proposto com o protótipo;
- Testar as principais propriedades físicas do material usado por meio de ensaios e testes das amostras produzidas;
- Utilizar a GUM para avaliar as incertezas de medição para validar as propriedades físicas do material.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento metodológico de análise dos resultados deste trabalho está dividido em duas partes. Esta primeira parte apresenta os resultados que dizem respeito à produtividade do processo, tomando como base de estudo o tempo e o custo de produção a partir de amostras produzidas com o protótipo, operando nos modos com as seções de pré câmara e pós câmara de aquecimento e comparando-os com o processo no modo de operação convencional em que as máquinas, atualmente, existentes no mercado de venda de equipamento de rotomoldagem operam; e a segunda parte apresenta os resultados das avaliações de incerteza de medição dos testes e ensaios, feitos nas amostras produzidas como o processo proposto, para verificar os possíveis impactos nas principais propriedades físicas das amostras produzidas com o equipamento protótipo.

Nesse contexto, a dissertação está estruturada em cinco capítulos. O capítulo 1, a introdução, traz uma abordagem sucinta da rotomoldagem, dentro de um ponto de vista operacional, econômico e técnico, abordando sobre da motivação e

objetivos e impactos do trabalho proposto.

O capítulo 2 descreve o referencial teórico, o estado da arte e estudo sobre as patentes voltada para área em estudo; o capítulo 3 descreve os métodos, materiais e procedimentos usados no desenvolvimento do trabalho; o capítulo 4 analisa e discute os dados obtidos; e, por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões e considerações finais.

#### **1.4 PUBLICAÇÕES**

1. Artigo publicado no evento SIMEP-2020, intitulado” Protótipo para processos de rotomoldagem com incremento de seções de pré câmara e pós câmara de aquecimento”. Esse artigo trata dos estudos focando os aspectos de ganhos energéticos e de produção com o protótipo proposto.
2. Artigo publicado no evento SIMEP-2020, intitulado” Protótipo para processos de rotomoldagem com incremento de seções de pré câmara e pós câmara de aquecimento: análise das principais propriedades físicas do material. Este segundo artigo, que complementa o primeiro, centraliza-se na avaliação das propriedades físicas do material, de modo a validar o processo de rotomoldagem com o equipamento desenvolvido.

## CAPÍTULO II

### 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A rotomoldagem é uma técnica bem conhecida de modelagem de plásticos, usada na técnica de moldagem de peças ocas; também é conhecida como moldagem rotacional. É usada para transformar o pó de polímero para fabricação de peças ocas, como: tanques, barcos, brinquedos e peças técnicas para abastecer a indústria automotiva, naval, saúde e lazer (YAN et al., 2006b; BELLEHUMEUR et al., 1996). De acordo com Revyako; Khrol (2010) e Baumer; Leite; Becker (2014), a rotomoldagem ou fundição rotacional é um processo de transformação termoplástica para a produção de peças ocas diversas. É uma técnica bem conhecida de moldagem de plásticos, usada na técnica de modelagem de plásticos, que transforma o polímero (pó) em peças ocas diversas produzidas pela indústria de manufatura.

O processo convencional é composto por um equipamento formado apenas por uma câmara de aquecimento (forno), um aparato mecânico contendo estruturas e servos-mecanismos de rotação bi-axial, um sistema completo de queimador a gás com controle embarcado e um sistema de controle: mecânico, eletroeletrônico e de automação. A Figura 3 mostra um equipamento de rotomoldagem convencional, de fabricação nacional pela Rotoline.

Figure 3 - Equipamento convencional de rotomoldagem



Fonte: Rotoline (2015).

Do ponto de vista operacional, a rotomoldagem consiste em um processo composto pelas etapas de carregamento, aquecimento e rotação, resfriamento e desmoldagem, no qual o molde gira biaxialmente dentro de uma câmara de aquecimento, com temperatura e velocidades controladas (REVYAKO; KHROL, 2010; RUBIO, 2016).

O processo consiste em transformar o grão (pó) de polietileno, o qual é colocado em um molde metálico, no formato da peça, que, posteriormente, é aquecido a cerca de 400 °C (BANERJEE; YAN; BHATTACHARYYA, 2006), e suas paredes de metal absorvem o calor e o transferem para o grão (pó) de polietileno (NARKIS; ROSENZWEIG, 1995). Quando a temperatura de amolecimento do polímero é atingida, então, o material funde-se, surgem as primeiras partículas que aderem à superfície do molde e às outras partículas, formando uma mistura de pó contra a parede do molde; assim, inicia-se o processo de coalescência, ajuntamento e união de partículas, que ocorre a temperaturas acima da temperatura de fusão para os materiais semicristalinos ou acima da temperatura de transição vítrea para os materiais amorfos (NARKIS; ROSENZWEIG, 1995).

O servo-mecanismo de giro do equipamento proporciona a rotação bi-axial do molde de forma controlada, o que permite o deslocamento das partículas, camada a camada, sobre a parede, que causa a sinterização, obtenção de composto pelas partículas que tiverem coalescido, formando, gradativamente, a densificação da peça, processo de formação do corpo desta (CRAWFORD; THRONE, 2002).

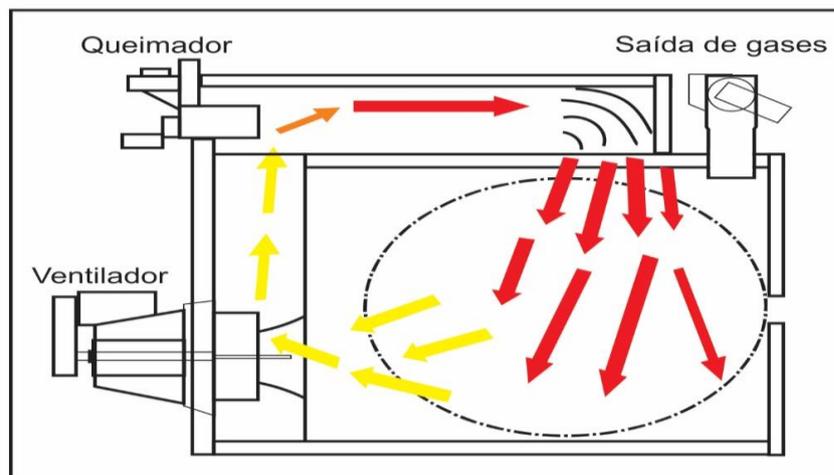
O processo possui características próprias: paredes uniformes, regiões com cantos livres de tensão, moldagem de peças de formatos complexos, cantos sem costura, baixo custo dos moldes e processo de poucas etapas. Embora os processos atuais sejam de poucas fases, possuem características indesejáveis, como o longo período de ciclo de produção, mostrado na Figura 1; isso, conseqüentemente, gera lentidão de processo, o que é indesejado, e desperdício de energia térmica no final de cada ciclo; e parte do calor é transferida para o meio externo (PISANU, 2008).

De modo geral, os processos de rotomoldagem são bastantes empíricos, pois se baseia em resultados de testes práticos (RUBIO, 2016). Que só podem ser comprovados com a utilização de um equipamento produzindo peças reais, e, nas mesmas condições operacionais, semelhante aos processos industriais.

## 2.1 O SISTEMA DE AQUECIMENTO USADO NA ROTOMOLDAGEM

O processo de aquecimento ocorre por um queimador eletromecânico dedicado que queima do gás natural; com a queima deste, gera-se o calor, que, ao recircular através de um ventilador, é transferido para o molde, através da condução; esta, na sequência, transfere o mesmo calor para o grão de polietileno, o qual é amolecido e adere às paredes do molde camada a camada. A Figura 4 mostra o sistema de aquecimento e o fluxo de calor dentro da câmara de aquecimento de um equipamento de rotomoldagem convencional.

Figure 4 - Circulação do ar quente dentro da câmara da rotomoldagem



Fonte: Adaptado de Rotoline (2015).

## 2.2 MATERIAIS USADOS NA ROTOMOLDAGEM

A matéria-prima usada na rotomoldagem é produzida a partir das poliolefinas, nas quais existem os materiais comuns, como os polietilenos, e os outros não comuns, como os polipropilenos, nylon, policarbonatos, plásticos polivinil plastificado, dentre outras *comodities*. Adicionalmente, peças do processo de rotomoldagem podem ser produzidas a partir dos biopolímeros, compostos pelo Ácido Polilático (PLLA) e Mater-bi, que podem ser misturados com o Bis-etilhexil-ftalato (DEHP) e Polietileglicol (PEG) para reduzir a fragilidade (GRECO; MAFFEZZOLI; FORLEO, 2014).

## 2.3 O ESTADO DA ARTE

A metodologia utilizada para saber o estado científico da área temática em estudo consistiu na modalidade de pesquisa caracterizada como estado da arte, também conhecida como pesquisa bibliográfica, delimitando-se a temática em estudo (SOARES; GARCEZ, 2017).

O trabalho foi realizado a partir de uma pesquisa bibliográfica sobre o equipamento de rotomoldagem e/ou processo de rotomoldagem, nos acervos dos bancos de patentes do Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI, 2018) e Organização Mundial de Propriedade Industrial (LOPES, 2014).

No desenvolvimento, foi feita uma descrição dos materiais de análise nos documentos escritos, no banco de patente nacional e mundial, seguida de resumos individuais de todas as patentes (MARIA et al., 2014). De acordo com Soares e Garcez (2017), para descrever o estado atual das pesquisas na área da temática é preciso destacar as contribuições destas de modo a dar embasamento à pesquisa em questão, como se vê a seguir.

- França (Paris):

Claude (1992) desenvolveu uma patente de um tanque rotomoldado que trabalha com pressões elevadas e possui um mecanismo de abertura (tampa) enroscada e um canal de sucção de líquido, cuja patente foi concedida em 17 de setembro de 1993.

Já François (2002) desenvolveu uma patente de uma instalação de máquina de rotomoldagem. A presente invenção é sobre uma linha de produção de rotomoldagem com um *layout* em forma de círculo; nesta, estão quatro etapas: carregamento, transporte, aquecimento e resfriamento. O detalhe está no forno que é removível e permite que o conjunto carro com molde entre nele para aquecer, enquanto o conjunto que saiu vai para o processo de resfriamento, usando a mistura ar e água. A vantagem desse processo é a redução do tempo de ciclo, uma vez que, num mesmo período de ciclo, é possível aquecer uma peça e resfriar outra. E, ainda, é possível automatizar todo o processo, inclusive o abastecimento de pó. A desvantagem é que se perde calor na abertura do forno para entrar ou sair o molde.

Louis e Oliver (2008) desenvolvem uma patente de um molde que contém dutos para passagem de fluido quente ou frio, que permitem aquecer a peça a ser moldada. Com a finalidade de resolver o problema de perda térmica, que é uma

limitação dos outros processos; com isso, torna-se possível reduzir o índice de empenamento.

Gregoire, Joris e Katrien (2015) desenvolvem um plástico para utilização em rotomoldagem contendo um agente antiestático que tem a finalidade de reduzir a formação de poros, além de facilitar a mistura de cargas; o que minimiza os problemas de mistura de cargas dos atuais processos, nos quais o material é extrudado e cortado; com isso, é possível minimizar os danos na navalha de corte, que, geralmente, sofre os efeitos da influência da temperatura de operação do equipamento sobre a navalha que corta o granulado de polietileno processado .

- Espanha:

Troton (2013) cria um processo de moldagem rotacional de coleta de lixo, feito em moldes que podem ser partidos e moldados em partes e, depois, poderão ser montados; isso permite que peças de grande porte possam ser feitas em partes e montadas no local, facilitando assim o seu transporte.

- Estados Unidos:

Orme et al. (1971) criaram uma máquina de rotomoldagem, capaz de portar três conjuntos porta-moldes e um forno que se abre para entrar o conjunto molde para aquecimento; enquanto isso, o conjunto molde que saiu do aquecimento realiza o processo de resfriamento, já o molde que concluiu o resfriamento é removido e, em seguida, carregado; a rotação deste último pode ser desligada durante o descarregamento e carregamento. Esta máquina criada caracteriza-se por ser portátil e também, como desvantagem, perder calor pela transferência térmica para o meio ambiente.

Beyer-Olsen (1973) desenvolveu uma máquina que contém um mecanismo de suporte e giro, capaz de compor vários moldes bipartidos que são fixados aos pares por um conjunto bipartido de moldes, operável; este se move empurrando o molde para fora quando se deseja remover a peça rotomoldada. Essa invenção reduz o tempo de extração da peça, mas é limitada pelo tamanho do produto a ser rotomoldado.

Meuret e Seyne-S/Mer (1986) desenvolveram uma máquina de rotomoldagem contendo um forno, que gira num eixo horizontal. É operado por resistências elétricas em formato de serpentina que gera o calor, o qual é isolado por um invólucro que compreende no interior, elementos radiantes localizados na parede, na qual as radiações são refletidas. Com isso, é possível fazer um controle mais preciso

da temperatura de aquecimento. É limitado pela capacidade de alocação de molde, principalmente de maiores dimensões.

Agent (1998) concebeu um processo capaz de reduzir as ligações cruzadas, através da introdução de um agente de reticulação num molde oco que tem uma abertura em sua parede para o manuseio. Nesta, é introduzido ar-comprimido + ozônio para acabar com os odores pungentes indesejáveis. O inconveniente é que torna o processo demorado e lança ozônio na atmosfera.

Kroll e Classification (2002) desenvolveram uma máquina de rotomoldagem do tipo *Rock and Roll* que gira em dois sentidos; ela contém um carretel e um molde, ambos são girados por motores distintos. Essa máquina de rotomoldagem elimina as limitações dos instrumentos atuais, que têm restrição de ângulos. Outro ganho é que direciona o calor diretamente para o molde.

Por fim, Abdalla (2014) concebe um processo de rotomoldagem por espuma assistida por extrusão. É extrudada uma espuma dentro da peça rotomoldada, o que lhes dá resistência mecânica e mantém a leveza da peça.

- China:

Chun (2007) desenvolveu um processo rotomoldado para produção de para-choques de caminhão. As vantagens são a leveza da peça e a capacidade de absorção de impacto.

Dengya (2010) desenvolveu uma máquina com quatro braços, cada um contendo um molde girante. A finalidade dessa invenção é evitar desgastes, pois cada braço contém um conjunto porta-molde girante. A limitação desse processo é também a redução do desperdício de calor.

Hong (2012) desenvolveu um equipamento de rotomoldagem contendo um forno, que gira através de um mecanismo de transmissão de giro por corrente; este transmite a rotação para dois moldes que ficam dentro do forno girando com sentidos opostos. A limitação desse processo é não conseguir obter rotações distintas, uma vez que utiliza um único motor para fazer o movimento biaxial. Outra limitação é que só pode compor dois moldes no forno, além do desperdício de energia.

Jião e Wang (2012) desenvolveram um equipamento com um dispositivo queimador auxiliar de energia térmica para a máquina de rotomoldagem. Esse dispositivo é composto por um queimador, um compressor de ar e um bocal de revestimento externo composto por um material calcário que tem a finalidade de

reter o calor e, assim, melhorar a eficiência energética do processo.

Jiang (2013) desenvolveu um equipamento de rotomoldagem em que o molde gira em torno de um eixo. Este molde contém grelhas de aquecimento formado por resistências em forma de anel, que fica nas camadas externas do molde. O sistema apresenta sensores e atuadores elétricos, inclusive conectados a uma rede de comunicação que consegue monitorar a temperatura em tempo real, o que proporciona uma precisão na temperatura do molde. A desvantagem é que se torna difícil trabalhar com esse aparato para peças rotomoldadas de grande porte, além da mão de obra e do custo de toda a equipagem de cada molde.

Brilhante (2013) criou uma espécie de molde com cavidades por onde passa ar quente para aquecer o molde e dar formato à peça rotomoldada. A desvantagem é o custo do molde, pela complexidade que se requer para a usinagem deste.

Jião (2013) desenvolveu um equipamento que direciona a chama para molde. Consiste em um forno e um porta-forno que contém um ar e está montado tangencialmente para a abertura do queimador, a fim de direcionar o ar quente do queimador para o molde.

Xiaoqiang (2013) desenvolveu uma espécie de equipamento composto de dois corpos de aquecimento, um dentro do outro. No primeiro corpo, fica a peça rotomoldada, e o segundo recebe o ar comprimido para ajudar a moldar a peça e, assim, melhorar o acabamento.

Um equipamento de aquecimento para geração de vapor foi desenvolvido por Yubo (2015) para ser usado na rotomoldagem, na linha de produção de garrafas contendo células produtivas que são abastecidas por robôs. E Hong (2015) criou um duto acumulador de calor que armazena energia para o ciclo de aquecimento, no processo de rotomoldagem, enquanto Xinhua (2015), um equipamento de rotomoldagem com um reservatório para armazenamento de gás natural e Qiping (2016), um controle de processo de rotomoldagem contendo um controlador que se comunica via rádio com dispositivos remotos.

Caoyi dong cao xiao gang lu co. (2017), por sua vez, desenvolveu uma linha de produção automática, em formato de anel, em que os moldes são conduzidos por transportadores que têm a função de levá-los para cada célula composta por um forno maior, que é subdividido em dois fornos menores, onde recebem calor de uma fonte de aquecimento usando o infravermelho.

- Brasil:

Elman (1993) desenvolve um equipamento para aperfeiçoar a máquina de rotomoldagem. Esta é composta de um conjunto carro molde, o qual apresenta um molde que gira biaxialmente, apenas utilizando um motor como força motora. A desvantagem desse sistema é a não possibilidade de variação de velocidade de forma independente, além da limitação da composição da quantidade de molde e do conjunto carro molde.

Já Luccas (2000) desenvolveu uma máquina compacta de rotomoldagem capaz de compor um molde. Tem a limitação de tamanho de peças, que são maiores, volume de produção e perda de energia. E Baptista (2003) apresenta uma máquina de rotomoldagem com chama direcionada. Tal inovação contém bicos de combustão direcionada e posicionada diretamente, seguindo os contornos do molde. As vantagens são uma maior uniformização e rapidez no aquecimento, além de redução de desperdício energético.

Cerqueira (2005) desenvolveu uma máquina de rotomoldagem onde o conjunto forno móvel em formato de cubo, revestido com um material reforçado e termicamente apropriado para proporcionar segurança ao operador. O conjunto molde é fixo e possui duas velocidades biaxiais controladas e proporcionar uma melhora na qualidade da peça. A limitação encontra-se na capacidade de trabalhar com peças de maior volume, além da perda energética.

Bertocco (2007) concebe uma máquina de rotomoldagem tipo *rock and roll* monoestacionária do tipo chama aberta. Com isso, tornam-se possíveis ganhos em termos de *layout* e custo, mas se perde em produtividade em comparação com as existentes no mercado.

Por fim, Ca e Torres (2017) desenvolveu um sistema de recuperação de calor gerado no processo de rotomoldagem. A inovação consiste em um trocador de calor instalado na chaminé de escape dos gases gerados na queima do gás natural durante o processo de moldagem. Esse calor é canalizado para aquecer um silo de matéria-prima.

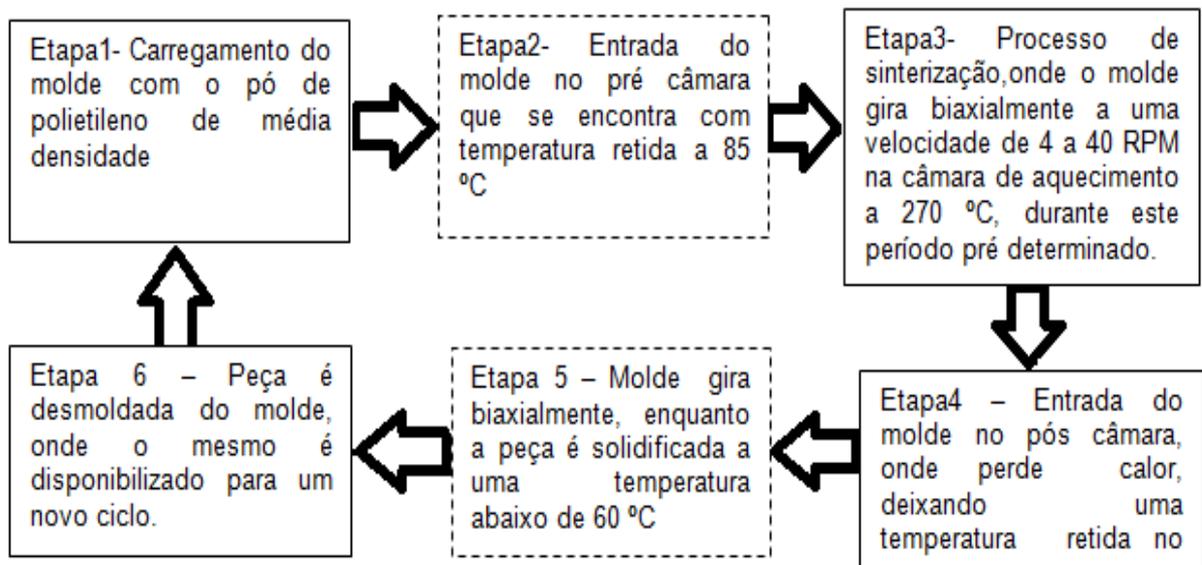
De acordo com o estudo feito, em publicações bibliográficas e registros de patentes, com a finalidade de saber o estado atual da arte na área de rotomoldagem, é possível notar que foram feitas diversas inversões de máquinas, processos, e métodos de produção sobre rotomoldagem. Mas que nenhum dos autores ou inventores, até a publicação dos resultados do processo proposto, havia

até então desenvolvido um processo capaz de cobrir as lacunas em aberto: minimizar o custo de produção, pela reutilização do próprio calor que antes era desperdiçado; e maximizar a produção, pela redução e tempo de ciclo produtivo. Com isso, a partir de agora, é possível se ter um processo de forma mais contínua e com um consumo energético menos dispendioso.

## 2.4 A PROPOSTA DO TRABALHO

O processo térmico de rotomoldagem convencional, mostrado anteriormente na Figura 1, sumariza o processo mostrando as quatro etapas. Já o processo sugerido neste trabalho é composto por seis etapas, conforme mostrado no fluxograma da Figura 5, que apresenta o novo processo.

Figure 5 - Fluxograma do novo processo proposto



Fonte: Próprio autor (2018).

O fluxograma (Figura 5) representa o processo já com o incremento de um arranjo arquitetônico de seções de pré- e pós câmara de aquecimento no protótipo de rotomoldagem.

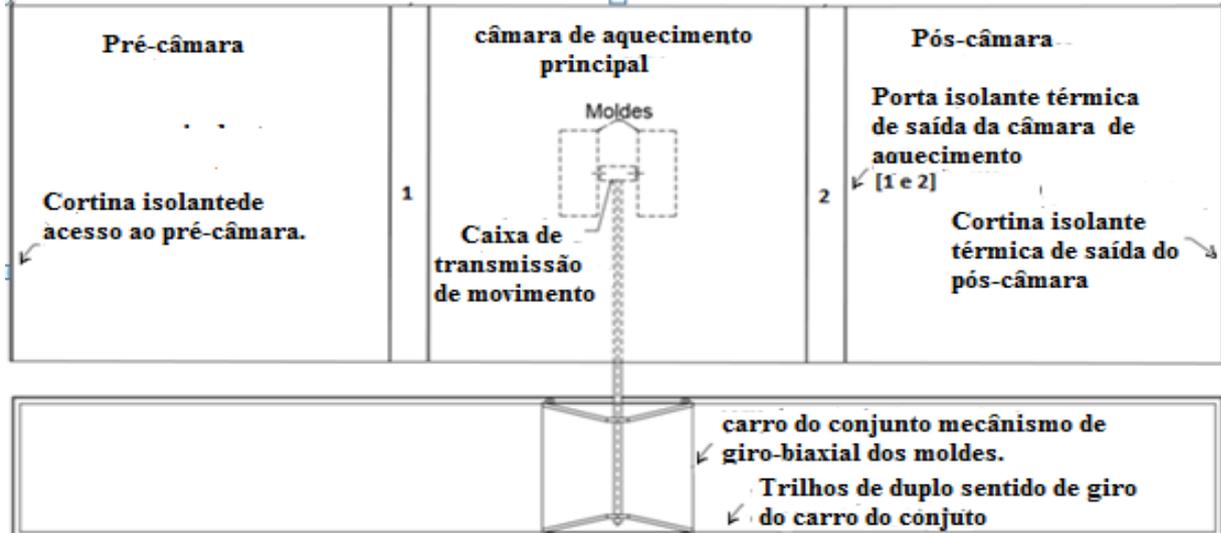
As etapas tracejadas têm a função de cobrir a lacuna que limita os processos convencionais, que são caracterizados por longos períodos de aquecimento e desperdício de energia (SLĂTINEANU et al., 2012; GONZÁLEZ-NUÑES et al., 2018). Com isso, torna-se possível um processo com mais etapas pelas quais o

molde percorre, proporcionando o reaproveitamento da temperatura acumulada na seção pré-câmara, o que permite que um novo ciclo se dê com temperatura retida em torno de 125 °C, no modo de operação com controlador desligado (*off*), e 200 °C, para o modo de operação com controlador ligado (*on*); isso favorece um ganho inicial de temperatura e tempo.

O equipamento protótipo é ilustrado na Figura 6, que apresenta a câmara principal acoplada à pré- e à pós câmara, isoladas termicamente através de uma porta térmica e do meio externo por meio de cortinas.

A finalidade desse processo da Figura 6 é produzir de forma contínua peças rotomoldadas e reduzir o tempo de produção e o consumo energético em cada ciclo produtivo. O seu funcionamento é da seguinte forma: pode trabalhar com até três carros conjunto molde; enquanto o último carro está em processo de resfriamento, o primeiro está carregando e pré-aquecendo, e, nesta fase, o carro do meio está no processo de aquecimento e moldagem.

Figure 6 - Equipamento protótipo com arranjo arquitetônico implementado



Fonte: Próprio autor (2018).

## 2.5 AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Este trabalho contempla, também, os resultados do estudo da avaliação da incerteza de medição. Sabe-se que a medição de uma determinada grandeza física, o resultado sempre é uma estimativa do valor verdadeiro desta mesma grandeza.

Por isso, se faz necessário conhecer as fontes de incertezas inerentes ao processo de medição para avaliar a qualidade e confiabilidade dos dados obtidos. Tais fontes de incertezas é conceitualmente abordado metrologicamente pela incerteza de medição (MARTINS et al. 2010).

Para isso, houve a necessidade de se criar um padrão metrológico para ser usado pela comunidade científica, logo surgiu a metodologia adotada e reconhecida pela comunidade internacional de metrologia INC-1980. Baseado neste padrão recomendado pela INC-1980, a international organization for standardization (ISO), em conjunto com outras organizações internacionais, criou o *Guia para a expressão da incerteza de medição – GUM* (MARTINS et al. 2010)..

Este guia é baseado em conceitos estatísticos da abordagem da frequência (Incerteza tipo A) e da abordagem Bayesiana (Incerteza tipo B). Logo, o método GUM propaga as estimativas das grandezas de entrada e suas incertezas padrão. Ambas, para avaliar a incerteza padrão e a incerteza expandida da grandeza de saída (MARTINS et al. 2010).

As fontes de incerteza padrão provém da combinação das incertezas padrão tipo A e B, da fonte de incerteza padrão combinada e da incerteza expandida. No estudo das avaliações presentes neste trabalho, contempla estas últimas fontes citadas. Para um melhor entendimento sobre as incertezas de medição, pode-se consultar o artigo de (Martins et al. 2010), em que contempla uma revisão da literatura mais abrangente sobre os métodos: linear e não linear, utilizado para avaliação da incerteza de medição presente neste trabalho.

## **CAPÍTULO III**

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho foi dividida em etapas: construção do protótipo, produção das amostras, ensaios das principais propriedades físicas do material, tratamento dos dados com testes estatísticos e análise de incerteza dos resultados.

#### **3.1 CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA PROTÓTIPO**

A metodologia utilizada consistiu na construção de uma máquina protótipo contendo uma câmara de aquecimento, com banco de resistência de 4000 Watts de potência, alimentado numa tensão de 220 V e modelagem do tempo e do consumo energético do processo implementado.

A máquina protótipo construída é composta por uma câmara de aquecimento, cuja fonte de calor pode ser elétrica ou gás, com a finalidade de fornecer energia térmica ao processo para aquecer os moldes, que, por sua vez, transferem-na para o grão de polietileno; um arranjo arquitetônico das seções de pré câmara e pós câmara de aquecimento incorporado à câmara de aquecimento, revestido com isolante térmico, cuja finalidade é armazenar a energia térmica do ciclo, para que possa ser reutilizada no ciclo seguinte; aparato tecnológico, que consiste em controle PID, o qual controla e monitora as temperaturas das câmaras de aquecimento, assim como as temperaturas retidas nas seções de pré câmara e pós câmara; um mecanismo transportador para transporte do carro do conjunto molde na linha de processo e um sistema embarcado de controle PWM de velocidade dos servomecanismos de rotação dos moldes.

O aparato tecnológico é constituído de controladores PID, que controlam as temperaturas das câmaras de aquecimento e monitoram as temperaturas retidas nas seções de pré câmara e pós câmara. Além disso, o protótipo possui um sistema embarcado de controle PWM de velocidade dos servomecanismos relacionado à rotação dos moldes.

Para entender o processo de operação, é necessário, antes, compreender as premissas adotadas sobre a máquina protótipo, a saber:

- Primeira premissa: O processo, em série, com equipamento protótipo inicia o percurso com a entrada do molde na seção de pré câmara, segue o fluxo para a seção de câmara de aquecimento, onde os bancos de resistência aquece o molde, na sequência finaliza na seção no pós câmara;
- Segunda premissa: Todas as seções possuem volumes cilíndrico iguais. E cada seção possui portas de acesso no formato cilíndrica com seu diâmetro igual ao comprimento do lado das paredes cilíndricas das seções;
- Terceira premissa: Quando o processo opera no modo convencional. O processo de aquecimento é todo desligado e permanece nas etapas seguintes, e só é ligado novamente no novo ciclo de aquecimento e rotação;
- Quarta premissa: Quando o processo opera no modo câmara de aquecimento com controlador desligado (*off*). O processo de aquecimento pára de manter a temperatura de trabalho dentro do valor ajustado (*set point*) de operação, somente durante o período de retirada do conjunto molde de dentro da seção de câmara de aquecimento. E o controlador é desligado com tendência a perder energia (decaimento de temperatura) ao término de cada ciclo. Neste caso, a câmara perde calor durante a abertura da porta para saída do molde;
- Quinta premissa: Quando o processo opera no modo câmara de aquecimento com controlador ligado (*on*). Em que o controlador permanece ligado, mantendo a temperatura de *set point* de 270 °C, mesmo após terminado o ciclo, desta forma, o processo de aquecimento mantém a temperatura de trabalho dentro do valor ajustado (*set point*) de operação, mesmo que ocorra a interrupção do fluxo produtivo por qualquer motivo. Por exemplo, para a retirada do conjunto de molde para retirada da peça produzida ou até interrupção do processo para manutenção corretiva;

Baseado nestas premissas, pode-se compreender a operação da máquina quando feita de três modos: (i) câmara de aquecimento com controlador desligado (*off*) - modo convencional, conforme descrito na terceira premissa; (ii) câmara de aquecimento com controlador desligado (*off*), com as seções de pré câmara e pós câmara de aquecimento, conforme descrito na quarta premissa; e (iii) câmara de aquecimento com controlador ligado (*on*), com as seções de pré câmara e pós

câmara de aquecimento, conforme descrito na quinta premissa. O procedimento de coleta de dados foi baseado no levantamento do consumo energético (energia elétrica gasta por hora de consumo expressa em kWh) para produzir cinco peças, a partir de amostras previamente pesadas rigorosamente em balança de precisão, dentro das tolerâncias para diferença de peso entre as amostras, com a máquina operando nos três modos de operação descritos anteriormente. Durante cada modo de operação, foram medidos o percentual de tempo em que as resistências permaneceram ligadas e o tempo total de produção; depois, foi calculado o consumo elétrico e custos de produção das cinco amostras. Para o critério de escolhas do número de amostra, fez-se necessário a consulta da figura 1 em artigo de (Martins et al, 2010, pg.4), na qual demonstra que a ordenada da curva tende a unidade a partir de  $n = 23$  medições. Nesse sentido, para a incerteza Tipo A recomenda-se utilizar o número de medidas entre 4 a 22. Com isso, a escolha de cinco amostras foi motivado pelo critério econômico e por estar dentro dos intervalos estabelecidos na guia ISO.

### 3.2 DADOS DE EXPERIMENTO DE PRODUÇÃO DA MÁQUINA PROTÓTIPO

As tabelas 1, 2 e 3 mostram os dados de processo na produção das amostras, como: temperatura, tempo de aquecimento e resfriamento e corrente elétrica das resistências de aquecimento nos três modos de operações.

Tabela 1- Dados de processo na produção das amostras - Modo convencional

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
Massa (g)	60,29	60,8263	61,0459	61,9515	60,8144
Temperatura inicial (°C)	54	51	62	59	68
Tempo (270 °C)	13:05	13:11	12:45	14:20	13:10
Tempo de moldagem	18:05	18:11	17:45	19:20	18:10
Corrente % (A)	tabela 1				
Tempo de resfriamento	06:00	05:00	06:00	06:00	06:00

Fonte: 1 Próprio autor, (2021)

Tabela 2 - Dados de processo na produção das amostras - Modos pré câmara e pós câmara com controlador desligado (off)

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
Massa (g)	61,8049	59,9785	61,8527	61,216	60,5727

Temperatura inicial (°C)	120	137	109	92	140
Tempo (270 °C)	09:50	10:15	12:12	12:13	10:45
Tempo de moldagem	14:50	15:15	17:12	17:13	15:45
Corrente (A)	tabela 2				
Tempo de resfriamento	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00

Fonte: 2 Próprio autor, (2021)

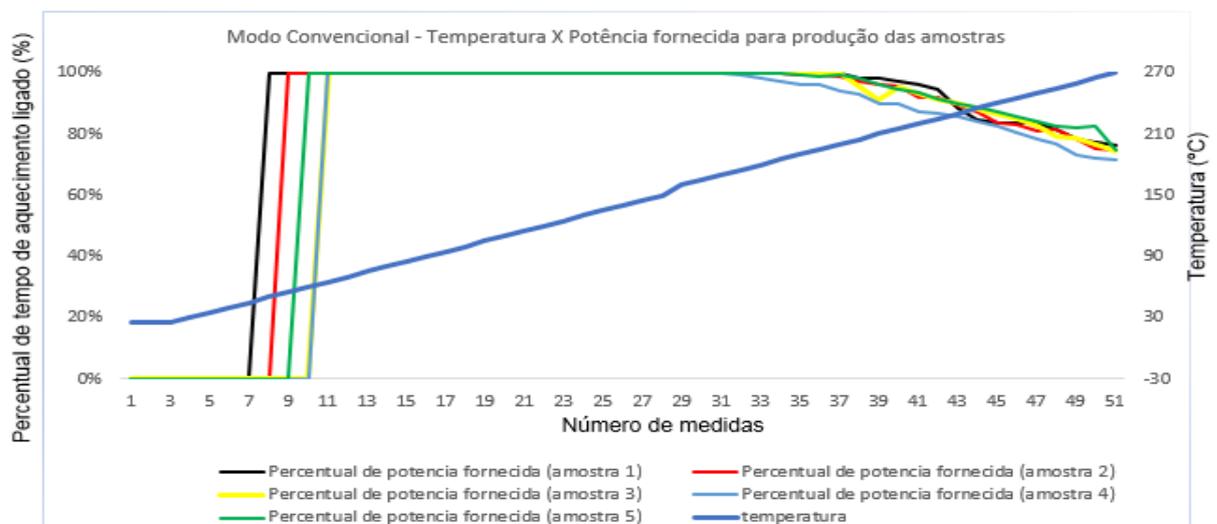
Tabela 3 - Dados de processo na produção das amostras - Modos pré câmara e pós câmara com controlador ligado (on)

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Massa (g)	60,0533	62,9265	61,6922	62,7231	61,8238
Temperatura inicial (°C)	252	200	260	262	260
Tempo (270 °C)	03:40	07:15	03:01	04:01	03:02
Tempo de moldagem	09:40	12:15	08:01	09:01	08:02
Corrente (A)	tabela 3				
Tempo de resfriamento	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00

Fonte: 3 Próprio autor, (2021)

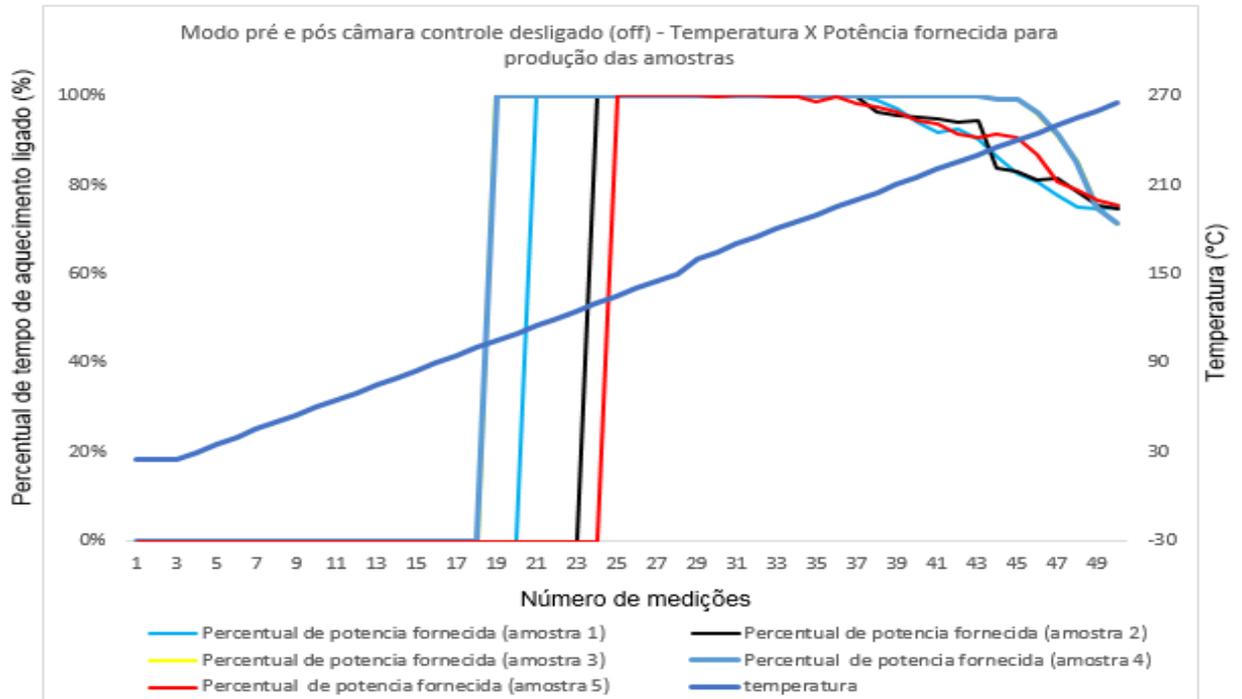
Enquanto que as figuras 8, 9 e 10 mostram o comportamento do fornecimento crescente, de 0 (zero) a 100 (cem) por cento, de potência para o aquecimentos das amostras até a temperatura de set point de 270 °C, para os três modos operacionais respectivamente.

Figure 7 - Modo Convencional - Temperatura X Potência fornecida para produção das amostras



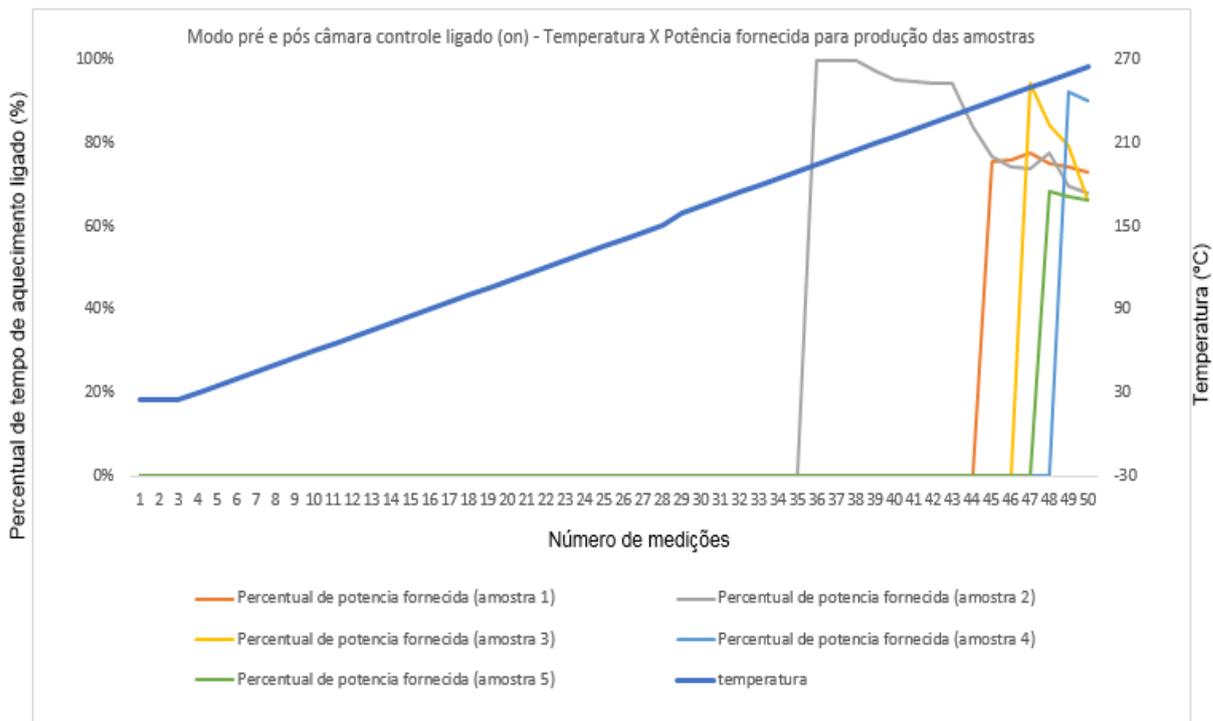
Fonte: Próprio autor, (2021)

Figure 8 - Modo pré e pós câmara controle desligado (off) - Temperatura X Potência fornecida para produção das amostras



Fonte: Próprio autor, (2021)

Figure 9 - Modo pré e pós câmara controle ligado (on) - Temperatura X Potência fornecida para produção das amostras



Fonte: Próprio autor, (2021)

Ao passo que as tabelas 4, 5 e 6 mostram o comportamento das médias das potências consumida para a geração da temperatura, de 0 (zero) a 100 (cem) por cento, das médias de temperaturas de 25 a 270 °C (set point), como já mostrados nas figuras 8, 9 e 10; e das temperaturas acima do valor de set point, até alcançar o 5º minuto, na produção das amostras nos três modos operacionais.

**Tabela 4-** Câmara de aquecimento: modo convencional, considerando a temperatura ambiente de 19 °C

Temperatura	Aquecimento ON percentual (%)				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
25	0	0	0	0	0
A					
270	86,16	83,76	79,74	78,22	80,20
Média percentual (%) até o <i>set point</i>	86,16	83,76	79,74	78,22	82,20
1º minuto após o <i>set point</i>	74,1	72,4	70,4	68,6	73,1
2º minuto após o <i>set point</i>	72,1	71,1	70,1	61,3	70,2
3º minuto após o <i>set point</i>	70,1	69,6	69,4	59,4	69,4
4º minuto após o <i>set point</i>	68,1	67,3	69,2	58,2	67,5
5º minuto após o <i>set point</i>	67,2	65,8	68,8	59,6	70,8
Média percentual (%) após o <i>set point</i>	70,32	69,24	69,58	61,42	70,20
Média percentual (%) geral durante o ciclo de produção	78,24	76,50	74,66	69,82	76,20

**Tabela 5 –** Pré câmara e pós câmara de aquecimento: modo controlador desligado (off), considerando a temperatura ambiente de 20 °C

Temperatura	Aquecimento ON percentual (%)				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
25	0	0	0	0	0
A					
270	57,47	51,57	63,61	82,25	49,77
Médias das potências até o <i>set point</i>	57,46	51,57	63,60	83,25	49,77
1º minuto após o <i>set point</i>	74,1	68,3	70,4	68,6	73,1
2º minuto após o <i>set point</i>	72,1	70,7	69,1	68,2	67,2
3º minuto após o <i>set point</i>	70,1	76,1	68,4	68,5	67,1
4º minuto após o <i>set point</i>	68,1	76,3	68,2	70,4	65,5
5º minuto após o <i>set point</i>	67,2	75,1	67,8	71,2	65,1
Médias das potências após o <i>set point</i>	70,32	73,30	68,70	69,38	67,60
Médias gerais das potências no ciclo de produção	63,89	62,43	66,19	76,31	58,68

**Tabela 6** - Pré câmara e pós câmara de aquecimento: modo controlador ligado (on), considerando a temperatura ambiente 20 °C

Temperatura	Aquecimento ON percentual (%)				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
25	0	0	0	0	0
A					
270	9,22	26,53	6,62	3,72	4,11
Médias das potências até o <i>set point</i>	9,22	26,52	6,61	3,71	4,11
1º minuto após o <i>set point</i>	73,1	68,3	64,7	67,9	65,7
2º minuto após o <i>set point</i>	72,3	72,1	65,7	70,1	66,2
3º minuto após o <i>set point</i>	70,3	73,1	62,7	68,2	66,1
4º minuto após o <i>set point</i>	67,1	69,3	0,46	65,5	70,1
5º minuto após o <i>set point</i>	66,2	62,2	0,36	69,7	70,9
Médias das potências após o <i>set point</i>	69,80	69,00	38,78	68,28	67,80
Médias gerais das potências no ciclo de produção	39,51	47,76	22,70	35,99	35,95

### 3.3 TESTE E ENSAIOS

A metodologia utilizada consistiu na produção de cinco peças rotomoldadas, para realização dos experimentos, com a máquina operando nos três modos operacionais: convencional, pré câmara e pós câmara de aquecimento com controle desligado e com controle ligado. Em seguida, têm-se os ensaios e testes dos corpos de prova em laboratório; tratamento estatístico dos resultados das amostras e avaliação das incertezas de medição seguindo a norma GUM. Foram avaliadas as propriedades de densidade-porosidade, espessura da parede e resistência à tração, resistência à tenacidade e ao teste hidrostático, produzidas a partir do processo proposto; na sequência, estabeleceu-se comparação com o processo no modo de operação convencional na qual se comercializa no mercado. O critério utilizado na tomada de decisão foi baseado num estudo estatístico que atestou com 95% de certeza que as amostras produzidas com o processo proposto têm vantagens significativas em quase todos os itens avaliados das propriedades físicas estudadas.

A operação do equipamento foi feita de duas formas: modo convencional, no qual a fonte de calor é desligada, tendendo a perder temperatura ao término de cada ciclo; e pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador ligado (*on*), em que a fonte de calor entra em operação, mantendo a temperatura de *set point* de 270 °C, mesmo após terminado o ciclo; contudo, não se impede a transferência de

calor para as seções de pré câmara e pós câmara, o que, conseqüentemente, causa perda de temperatura ao término de cada ciclo.

Para a produção das peças, foi utilizado o Polietileno Linear de Baixa Densidade (PELBD) - RC35U4. Este material apresenta densidade na faixa de 0,925 a 0,940 g.cm<sup>-3</sup>, de características similares ao polietileno linear de baixa densidade (PISANU, 2008).

O procedimento de coleta de dados deu-se primeiro com o condicionamento das amostras do pó de polietileno de forma homogênea; estas foram pesadas individualmente em balança de precisão em gramas com quatro casas decimais, para serem usadas na produção da peça (ARRUDA FILHO, 2015). Posteriormente, foi feito um levantamento das densidades, espessuras, resistência à tração, tenacidade e teste hidrostático, a partir das cinco peças produzidas, com a máquina operando nos seguintes modos de operação: modo convencional e com pré câmara e pós câmara de aquecimento nos modos de operação com controlador ligado (*on*).

### 3.3.1 TESTE DE DENSIDADE

Os testes de densidade foram realizados com um picnômetro de vidro do fabricante BRAND GMBH®, com resolução de 0,001cm<sup>3</sup> e uma balança de precisão GEHAKA®, modelo BK 3000. No procedimento, foi utilizada a água pura, que possui densidade conhecida, e a fórmula 1 da densidade (Apêndice C), para encontrar o peso dos corpos de prova. A partir dos pesos das massas encontradas, chegou-se ao resultado da densidade. A tabela 7, como exemplo, mostra os dados das densidades no modo convencional. O mesmo modelo foi usado para os demais modos.

**Tabela 7** - Exemplo Demonstrativo: Densidade-Modo convencional

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Média
Massa (g)	60,29	60,82	61,04	61,95	60,81	58,80
Temperatura inicial (°C)	54,00	51,00	62,00	59,00	68,00	
Tempo até 270 °C (mim)	13:05	13:11	12:45	14:20	13:10	
Tempo de moldagem (mim)	18:05	18:11	17:45	19:20	18:10	
Tempo de resfriamento (mim)	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	
Peso total da amostra no picnômetro (g)	71,69	71,69	71,69	71,69	71,69	

Peso da amostra (g)	1,75	1,52	1,56	1,69	1,66	
Densidade da amostra (g/cm <sup>3</sup> )	0,88	0,91	0,92	0,92	0,84	0,89

Fonte: Próprio autor, (2018).

### 3.3.2 TESTE DE ESPESSURA

Os testes foram realizados utilizando-se um micrômetro do fabricante Mitutoyo, com a resolução de 0.25-100 mm e de 0,01mm.

#### 3.3.2.1 PONTOS A SEREM MEDIDOS NA AMOSTRA PRODUZIDA COM O EQUIPAMENTO PROTÓTIPO

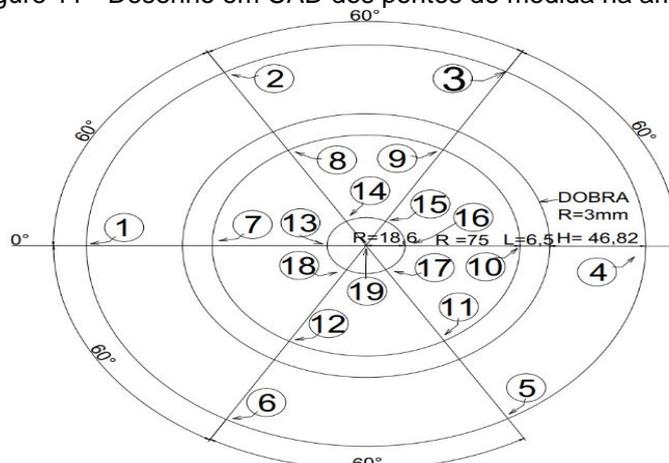
As Figuras 11 e 12 mostram, respectivamente, a amostra produzida pelo equipamento protótipo com a marcação dos pontos para se medirem as espessuras e o desenho em CAD de todos os pontos a serem mensurados.

Figure 10 - Desenho na peça produzida dos pontos a serem medidos na amostra



Fonte: Próprio autor (2018).

Figure 11 - Desenho em CAD dos pontos de medida na amostra



Fonte: Próprio autor (2018).

Legenda:

R= raio.

L= distância entre a dobra e os primeiros pontos de medidas mais próximos da parede.

H= altura da parede circular da peça.

Fonte: Próprio autor (2018).

A tabela 8 foi utilizada para coleta dos dados de espessura, para os três modos de operação. Este exemplo mostra os dados do modo convencional.

**Tabela 8** - Exemplo Demonstrativo: Resultados de espessuras - Modo convencional

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>	<b>Médias</b>
Massa (g)	60,29	60,82	61,04	61,95	60,81	
Parede ponto 1, (mm)	1,82	1,70	1,80	2,19	1,86	1,87
Parede ponto 2, (mm)	1,85	1,78	1,88	1,85	1,96	1,87
Parede ponto 3, (mm)	1,81	2,10	2,00	1,77	1,79	1,87
Parede ponto 4, (mm)	1,80	1,64	1,8	1,81	1,74	1,75
Parede ponto 5, (mm)	18,57	18,14	1,74	1,79	1,76	1,84
Parede ponto 6, (mm)	1,74	1,78	1,81	1,72	1,94	1,79
Fundo ponto mais externo 7, (mm)	1,80	1,72	1,69	1,70	1,74	1,73
Fundo ponto mais externo 8, (mm)	1,74	1,63	1,69	1,94	1,69	1,73
Fundo ponto mais externo 9, (mm)	1,67	2,00	1,88	1,67	1,76	1,76
Fundo ponto mais externo 10, (mm)	1,72	1,58	1,77	1,80	1,68	1,71
Fundo ponto mais externo (11)	2,11	1,59	1,77	1,80	1,60	1,77
Fundo ponto mais interno 12, (mm)	1,74	1,83	1,85	1,80	1,60	1,76
Fundo ponto mais interno 13, (mm)	1,35	1,44	1,47	1,30	1,51	1,41
Fundo ponto mais interno 14, (mm)	1,40	1,53	1,48	1,40	1,48	1,45
Fundo ponto mais interno 15, (mm)	1,46	1,53	1,54	1,40	1,43	1,47
Fundo ponto mais interno 16, (mm)	1,50	1,46	1,52	1,41	1,44	1,46
Fundo ponto mais interno 17, (mm)	1,40	1,46	1,45	1,44	1,43	1,43
Fundo ponto mais interno 18, (mm)	1,41	1,49	1,49	1,42	1,51	1,46
Centro ponto 19, (mm)	1,36	1,41	1,43	1,41	1,42	1,40
Média geral, (mm)						1,66

Fonte: Próprio autor (2018).

### 3.3.3 Teste hidrostático

O teste hidrostático de caráter visual foi realizado observando-se a pressão do próprio peso da coluna d'água sobre a amostra, após enchê-la até o nível de trabalho, para verificar possíveis vazamentos, empeno e/ou deformações. A Figura

13 e a Tabela 9 apresentam um exemplo demonstrativo os resultados dos testes hidrostáticos na amostra no modo operacional convencional.

Figure 12 - Amostras produzidas: modo convencional, com controlador desligado (off) e ligado (on), respectivamente.



Fonte: Próprio autor (2018).

A tabela 6 foi utilizada para coleta dos dados hidrostáticos, para os três modos de operação. Este exemplo mostra os dados do modo convencional.

**Tabela 9** - Exemplo Demonstrativo: Resultados dos testes hidrostáticos - Modo convencional

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
Massa (g)	60,29	60,82	61,04	61,95	60,81
Vazamento	não	não	não	não	não
Deformação	não	não	não	não	não
Furo/perfuração	não	não	não	não	não

Fonte: Próprio autor (2018).

### 3.3.4 ENSAIO DE TRAÇÃO E TENACIDADE

Utilizou-se uma Máquina de Ensaio modelo DL-2000 da Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda. (EMIC), com velocidade de deslocamento de até 500 mm/min e célula de carga com capacidade máxima de até 200 kgf. Atende às normas da ASTM D638 e ISSO 527-1.

O ensaio de tração visa a averiguar a resistência do material na região elástica, ou seja, antes do seu escoamento. Materiais nessa região, ao serem submetidos a uma força de tração, deformam, mas retornam às dimensões originárias, ao se retirar a força.

Considerando que o polietileno virgem usado, de acordo com as especificações

técnicas do fabricante permite trabalhar com uma velocidade de até 50mm/min para ensaios de tração.,,utilizou-se a velocidade de deslocamento nos corpos de prova de 15 mm/min, por questões de economia de tempo durante os períodos de ensaios. Vale salientar, que formam muitos testes, por exemplo tenacidade, e os mesmos poderiam levar alguns dias para realização, caso se tivéssemos optado por trabalhar com velocidades menores. .

Já o ensaio de tenacidade ou modulo de Young tem como objetivo verificar a resistência do material na região plástica. Materiais nesta região deformam-se quando submetidos a uma força de tração e não retornam mais às suas dimensões originárias, ao se retirar aquela força. Pode-se dizer que a tenacidade é a energia absorvida pelo material antes da ruptura. Materiais com elevada tenacidade rompem-se sem que haja sinal dessa ruptura eminente, enquanto os materiais que mais se deformam não chegam à ruptura bruscamente.

#### **3.3.4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO NO EQUIPAMENTO EMIC-DL® 2000**

Os ensaios de tração foram feitos com corpos de prova recortado da peça produzida. Para isso, se fez necessário construir uma ferramenta de corte no formato (gravata) do corpo de prova, atendendo as norma ASTM D"638. De acordo com CRAWFORD (1987) o formato e todas as dimensões do corpo de prova devem atender a norma ASTM D"638. A figura 14 mostra as dimensões do corpo de prova para a produção.

Figure 13 - Dimensões do CP para ensaios de Tração (ASTM D638)

DIMENSÕES (MM)	T ≤ 7 mm		T = 7 – 14 mm
	Tipo I	Tipo II	Tipo III
W – LARGURA DA SEÇÃO DELGADA	13	6	19
L – Comprimento da seção delgada	57	57	57
WO – Largura total	19	19	29
LO – Comprimento total	185	183	246
G – Comprimento p/ instrumentação	50	50	50
D – Distância entre garras	115	135	115
R – raio	76	76	76

fonte 1: Apostila SMM0342-Introdução aos Ensaios Mecânico dos Materiais-USP

A Figura 15 apresenta a foto do corpo de prova até o processo de ruptura, utilizando a máquina de tração EMIC-DL<sup>®</sup> 2000, de acordo com a norma ASTM D<sup>®</sup>638.

Figure 14 - Ensaio de tração com amostra produzidas no modo convencional,



Fonte: Próprio autor (2018).

A tabela 10 foi utilizada para coleta dos dados tração e tenacidade, para os três modos de operação. O exemplo a seguir mostra os dados do modo convencional.

**Tabela 10** - Exemplo Demonstrativo: Resultados dos testes de tração das amostras - Modo convencional

Massa	60,29		60,8263		61,0459		61,9515		60,8144	
Pares de amostra	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tração (N)	672,1	696,5	687	723	730,3	680,8	682,7	682,7	713,7	564,2
Média da tração (N)	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3
Desvio-padrão amostral	50,1777	50,1777	50,1777	50,1777	50,1777	50,1777	50,1800	50,1800	50,1800	50,1800
Varição mínima	665,5595	665,5595	665,5595	665,5595	665,5595	665,5595	665,6	665,6	665,6	665,6
Varição máxima	701,0406	701,0406	701,0406	701,0406	701,0406	701,0406	701	701	701	701,04
Deformação	3	4	4	4	4	3	4	3	4	3
Força máxima	671	697	688	723	730	581	683	660	714	564
Tensão máxima-módulo Young	14,93	15,48	13,9	14,61	15,7	12,49	15,7	15,2	16,41	12,97
Tenacidade em 5Y	7,5	10	7,96	7,96	10,4	5,85		6,9	10	5,4
Tenacidade em 10Y		20	15,96	15,96	21,2			13,8		
Tenacidade em 15Y			23,85	23,85	31,8					
Tenacidade total (J/M)	8,6	29	26,5	31,8	95,4	8,19	8,82	17,94	15	9,72

Fonte: Próprio autor (2018).

### 3.3.4.2 TRATAMENTO DOS DADOS: ANÁLISE DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Este subitem contempla uma análise de incerteza de medição dos dados dos testes e ensaios realizados com as amostras, para atestar a aceitação ou não do processo proposto. Para isso, realizaram-se os cálculos de análise de incerteza de medição, conforme a norma GUM.

#### 3.3.4.2.1 CÁLCULOS DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DAS AMOSTRAS

O tratamento estatístico dos resultados das amostras e estudo das incertezas de medição foram realizados conforme a norma GUM; foram avaliadas as propriedades de densidade-porosidade, espessura da parede e resistência à tração e à tenacidade; para uma probabilidade de abrangência de 95,45%.

A tabela 8 foi utilizada para se fazerem cálculos de incerteza de espessura; a partir dela, realizaram-se todos os cálculos de incerteza. Ela contém as fórmulas necessárias para os cálculos de incerteza de medição de todas as propriedades físicas que foram realizados neste trabalho; estes são mostrados com mais detalhes no apêndice B. O exemplo da tabela genérica 6 apresenta os dados do modo convencional.

**Tabela 11** - Exemplo Demonstrativo: Resultados dos cálculos de incerteza de densidade - Modo convencional

## MEDIDAS DE ESPESSURA-GERAL

## AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS-PADRÃO

## ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS

MÉDIA =	1,6608
NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES =	5
NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MÉDIA =	2
DESVIO-PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES =	0,236698
DESVIO-PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA =	0,105855

## ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM

GRANDEZAS	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE- SENSIBILIDADE (A DERIVADA)	GDL	RESULTADO DA EXATIDÃO DA INCERTEZA PADRÃO EM RELAÇÃO A TOLERANCIA DO PROCESSO
<b>RESOLUÇÃO</b> DO APARELHO X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE A CADA FONTE DE <u>IM</u> =	0,01	TRIANGULAR	1,73		1 INFINITO	0,01
<b>U</b> PRECISÃO INTERMEDIÁRIA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE A CADA FONTE DE IM =	0,105855	NORMAL	1		1 INFINITO	0,105855
<b>U</b> REPETITIVIDADE DA AMOSTRA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE A CADA FONTE DE IM =	0,167371	NORMAL	1,73		1 INFINITO	0,096746
<b>U</b> REFERENTES AO MICRÔMETRO (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE A CADA FONTE DE IM: RETÂNGULO=RAIZ 3; TRIANGULAR=RAIZ 6; QUANDO FOR CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO U (INCERTEZA EXPANDIDA) / K (FATOR DE ABRANGÊNCIA) =	0,005774	NORMAL	1		1 INFINITO	0,005774

<b>U</b> REFERENTES À MEDIDA ( <b>LM</b> ) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE A CADA FONTE DE IM – OBS.: É DESVIO-PADRÃO AMOSTRAL DAS MÉDIAS =							0,07462	NORMAL	1	1	4	0,07462	
<b>DRIFT</b> (INSTABILIDADE) - DADO NO CERTIFICADO DO APARELHO							0	RETANGULAR	1	0	0	0	0
<b>PRECISÃO</b> FORNECIDA PELO APARELHO (PICNÔMETRO) - OBS.: COLOCA-SE O VALOR DIRETO FORNECIDO PELO FABRICANTE							0	NORMAL	1	0	0	0	
<b>RESERVA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE A CADA FONTE DE IM =							0		1	0	0	0	
<b>UC</b> INCERTEZA PADRÃO COMBINADA =							0,211943			Incerteza X Coeficiente ®		0,16207	
<b>K</b> FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL (FAÇA K=2, P/ FATOR DE ABRANGÊNCIA=95,45%) – OBS.: DADO ENCONTRADO DE POSSE DO VALOR DE $V_{eff}$ =							2,025						
<b>UP</b> INCERTEZA EXPANDIDA =							0,429184			Incerteza Expandida x Coeficiente ®		0,328191	
<b>V<sub>eff</sub></b> graus de liberdade =												#VALOR!	
<b>V<sub>eff</sub></b> graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUM COMPONENTE (INFINITO) ZERADO, TEREI QUE MEXER NA FÓRMULA E EXCLUÍ-LA =												20909,35	
<b>RESULTADO</b> (							1,6608	±		0,328191	)	<b>K=2,025</b>	<b>P=95,45</b>

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 ANÁLISES DOS DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO

As tabelas 12, 13 e 14, a seguir, são originadas a partir dos dados experimentais coletados no capítulo III, advindos das tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 nas quais mostram a potência total de cada um dos três modos operacionais. Nelas, são considerados os tempos de ciclos e potência parcial no processo de cada amostra, para o cálculo da potência total. Esses dados foram utilizados no cálculo de consumo energético da câmara de aquecimento.

**Tabela 12** - Consumo energético da câmara de aquecimento - Modo convencional

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
Tempo de ciclo (min.)	18:05	18:11	17:45	19:20	18:10
Potência parcial em kWh	0,94	0,93	0,88	0,89	0,92
Potência total em kWh	4,57				

Fonte: Próprio autor (2018).

**Tabela 13** - Consumo energético da câmara de aquecimento - Modos pré- e pós câmara de aquecimento: controlador desligado (off)

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
Tempo de ciclo (min.)	14:50	15:15	17:12	17:13	15:45
Potência parcial em kWh	0,63	0,63	0,76	0,87	0,62
Potência total em kWh	3,52				

Fonte: Próprio autor (2018).

**Tabela 14** - Consumo energético da câmara de aquecimento - Modos pré- e pós câmara de aquecimento: controlador ligado (on)

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
Tempo de ciclo (min.)	09:40	12:15	08:01	09:01	08:02
Potência parcial em kWh	0,25	0,39	0,12	0,22	0,19
Potência total em kWh	1,17				

Fonte: Próprio autor (2018).

A mensuração foi realizada tomando-se como base o percentual de tempo em que a resistência manteve-se ligada, durante o processo de produção das cinco peças. Vale salientar que o consumo máximo (energia máxima consumida em kWh)

pela resistência acontece quando o percentual de tempo é 100%, isso significa que, durante todo o tempo de ciclo, a resistência permaneceu ligada. A Tabela 15 mostra um comparativo percentual de tempo em que a resistência manteve-se aquecendo em cada um dos três modos de operação.

**Tabela 15** - Percentual de tempo comparativo entre modo convencional x arranjo arquitetônico implementado

<b>Arranjo arquitetônico</b>	<b>Percentual de tempo em que se manteve aquecendo (%)</b>
Câmara de aquecimento com controlador desligado ( <i>off</i> ) - modo convencional	75,08
Pré/pós câmara de aquecimento com controlador desligado ( <i>off</i> )	65,50
Pré/pós câmara de aquecimento com controlador ligado ( <i>on</i> )	36,38

Fonte: Próprio autor (2018).

A Tabela 16 mostra os tempos totais de ciclo, a potência consumida por hora de produção, a potência total consumida durante o processo, o preço da energia (kWh), o custo da hora de produção e o custo total gasto para a produção de cinco peças, para cada um dos três tipos de modo de operação.

**Tabela 16** - Dados para cálculo da redução do custo de produção, considerando-se a produção de cinco amostras

<b>Parâmetros</b>	<b>Câmara com controlador desligado (<i>off</i>)</b>	<b>Pré-/Pós câmara com controlador desligado (<i>off</i>)</b>	<b>Pré-/Pós câmara com controlador ligado (<i>on</i>)</b>
Tempo de ciclo (h)	1,52	1,33	0,78
Energia elétrica kWh/hora	3,01	2,64	1,50
Energia elétrica total em kWh	4,58	3,52	1,17
Custo elétrico/hora de produção (unidade monetária)	1,33	1,16	0,51
Custo total (unidade monetária)	2,03	1,56	0,66

Fonte: Próprio autor (2018).

Partindo de uma primeira análise da tabela 16, faz-se necessário, antes, considerar o valor de R\$0,44 pago em cada kWh (unidade) de energia, assim como energia elétrica total em kWh e os tempos totais em cada modo operacional, nos quais a resistência permaneceu em aquecimento durante o processo de produção. Obtiveram-se respectivamente as relações de consumo por hora de produção de 3,00 kWh, 2,64 kWh e 1,50 kWh para cada modo operacional apresentado acima.

Adicionalmente, a partir da mesma tabela, é possível observar uma redução do custo da hora de produção para cada unidade de kWh/h de consumo energético em cada modo operacional, calculado pelo percentual de tempo em que houve consumo de energia elétrica durante o período em que a câmara de aquecimento manteve-se aquecendo.

Para uma segunda análise, é preciso compreender como se determina o fator redutor de tempo e do consumo. Para isso, foi comparado percentualmente o valor do consumo de cada hora de produção no modo operacional convencional a cada um dos modos de operação: pré câmara e pós câmara com o controlador desligado (*off*) e com pré câmara e pós câmara ligado (*on*).

Seguindo a análise, foi possível modelar os fatores de redução de tempo e do consumo de energia, que mostram quanto tempo pode ser reduzido para cada unidade de hora de produção, para o incremento de seções com o controlador desligado (*off*) e com controlador ligado (*on*). A partir dessa modelagem, foi construída a tabela 17, que traz o fator de redução em unidade monetária que o arranjo arquitetônico implementado proporcionou gerar.

**Tabela 17** - Redução de custo energético/hora de produção em unidade

<b>Arranjo arquitetônico de seções de câmara de aquecimento</b>	<b>Fator de redução (unidade)</b>
Pré/Pós câmara com controlador desligado ( <i>off</i> )	0,88
Pré/Pós câmara com controlador ligado ( <i>on</i> )	0,50

Fonte: Próprio autor (2018).

A análise da redução do custo/hora de produção é feita com fundamento na redução do consumo elétrico do equipamento. Esse valor apresenta-se em unidade monetária (BARRETO, 2008; MELO, 2012).

## **4.2 ANÁLISES DAS PRINCIPAIS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS AMOSTRAS**

### **4.2.1 TESTE E ENSAIOS**

A metodologia utilizada consistiu na produção de cinco peças rotomoldadas, para realização dos experimentos, com o equipamento operando nos três modos operacionais: convencional, pré-câmara e pós câmara de aquecimento com controle

desligado e com controle ligado. Em seguida, têm-se os ensaios e testes dos corpos de prova em laboratório; tratamento estatístico dos resultados das amostras e estudo das incertezas de medição seguindo a norma GUM. Foram avaliadas as propriedades de densidade-porosidade, espessura da parede e resistência à tração, resistência à tenacidade e ao teste hidrostático, produzidas a partir do processo proposto; na sequência, estabeleceu-se comparação com o processo no modo de operação convencional na qual se comercializa no mercado. O critério utilizado na tomada de decisão foi baseado num estudo estatístico que atestou com 95% de probabilidade de abrangência que as amostras produzidas com o processo proposto têm vantagens significativas em quase todos os itens avaliados das propriedades físicas estudadas.

A operação do equipamento foi feita de duas formas: modo convencional, no qual a fonte de calor é desligada, tendendo a perder temperatura ao término de cada ciclo; e pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador ligado (*on*), em que a fonte de calor entra em operação, mantendo a temperatura de *set point* de 270 °C, mesmo após terminado o ciclo; contudo, não se impede a transferência de calor para as seções de pré câmara e pós câmara, o que, conseqüentemente, causa perda de temperatura ao término de cada ciclo.

Para a produção das peças, foi utilizado o Polietileno Linear de Baixa Densidade (PELBD) - RC35U4. Este material apresenta densidade na faixa de 0,925 a 0,940 g.cm<sup>-3</sup>, de características similares às do polietileno linear de baixa densidade (PISANU, 2008).

O procedimento de coleta de dados deu-se primeiro com o condicionamento das amostras do pó de polietileno de forma homogênea; estas foram pesadas individualmente em balança de precisão em gramas com quatro casas decimais, para serem usadas na produção da peça (ARRUDA FILHO, 2015). Posteriormente, foi feito um levantamento das densidades, espessuras, resistência à tração, tenacidade e teste hidrostático, a partir das cinco peças produzidas, com o equipamento operando nos seguintes modos de operação: modo convencional e com pré câmara e pós câmara de aquecimento nos modos de operação com controlador ligado (*on*).

#### 4.2.2 TESTE DE DENSIDADE (POROSIDADE)

Os testes de densidade foram realizados conforme descrição no capítulo III. As Tabelas 18, 19 e 20 mostram as densidades nos três modos operacionais.

**Tabela 18** - Densidade – Modo convencional

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Média
Massa (g)	60,29	60,82	61,04	61,95	60,81	
Temperatura inicial (°C)	54,00	51,00	62,00	59,00	68,00	58,80
Tempo 270 °C, (mim)	13:05	13:11	12:45	14:20	13:10	
Tempo de moldagem, (mim)	18:05	18:11	17:45	19:20	18:10	
Tempo de resfriamento, (mim)	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	
Peso total da amostra no picnômetro, (g)	71,69	71,69	71,69	71,69	71,69	
Peso da amostra, (g)	1,75	1,52	1,56	1,69	1,66	
Densidade da amostra, (g/cm <sup>3</sup> )	0,88	0,91	0,92	0,92	0,84	0,89

Fonte: Próprio autor (2018).

**Tabela 19** -Densidade - Modos pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador desligado (off)

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Média
Massa (g)	61,80	59,97	61,85	61,21	60,57	
Temperatura inicial (°C)	120	137	109	92	140	119,60
Tempo até 270°C, (mim)	09:50	10:15	12:12	12:13	10:45	
Tempo de moldagem, (mim)	14:50	15:15	17:12	17:13	15:45	
Tempo de resfriamento, (mim)	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	
Peso total da amostra no picnômetro, (g)	71,69	71,69	71,69	71,69	71,69	
Peso da amostra, (g)	1,49	1,48	1,54	1,41	1,48	
Densidade da amostra, (g/cm <sup>3</sup> )	0,85	0,94	0,93	0,92	0,93	0,91

Fonte: Próprio autor (2018).

**Tabela 20** - Densidade - Modos pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador ligado (on)

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Média
Massa (g)	60,05	62,92	61,69	62,72	61,82	
Temperatura inicial (°C)	252	200	260	262	260	246,80
Tempo até 270 °C, (mim)	03:40	07:15	03:01	04:01	03:02	
Tempo de moldagem, (mim)	09:40	12:15	08:01	09:01	08:02	
Tempo de resfriamento,	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	

(mim)						
Peso total da amostra no picnômetro, (g)	71,69	71,69	71,69	71,69	71,69	
Peso da amostra, (g)	1,30	1,69	1,50	1,81	1,59	
Densidade da amostra, (g/cm <sup>3</sup> )	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91

Fonte: Próprio autor (2018).

Em uma primeira análise da tabela 18, observa-se que as densidades das amostras 1 e 5 ficaram abaixo do valor mínimo de referência do fabricante do polietileno, que apresenta densidade na faixa de 0,92 a 0,94 g.cm<sup>-3</sup>, indicação de que a peça apresenta poros, e isso pode causar perda de resistência mecânica. Todavia, o teste hidrostático não foi afetado, tampouco houve qualquer tipo de deformação.

Em uma segunda análise, a partir da Tabela 19, observa-se que a densidade da amostra 1 ficou abaixo do valor mínimo de referência do fabricante do mesmo polietileno e as amostras 3 e 4 apresentaram esvaziamento no meio da peça, que pode ter ocorrido por alguma folga mecânica no mecanismo de giro biaxial; o restante foi aprovado no teste hidrostático, e nenhuma apresentou deformação.

Na terceira análise, a partir da Tabela 20, observa-se que todas as densidades das amostras mantiveram-se dentro da referência do fabricante do mesmo polietileno. Assim como na segunda análise, todas as amostras foram aprovadas no teste hidrostático, e nenhuma apresentou deformação.

#### 4.2.3 TESTE DE ESPESSURA

Os testes de espessura foram realizados conforme descrito no capítulo III. As tabelas 21, 22 e 23 apresentam as médias de espessuras de cada ponto nas amostras, nos três modos operacionais, produzidas com o equipamento protótipo.

**Tabela 21 - Resultados de espessuras - Modo convencional**

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Médias
Massa (g)	60,29	60,82	61,04	61,95	60,81	
Parede ponto (1)	1,82	1,70	1,80	2,19	1,86	1,87
Parede ponto (2)	1,85	1,78	1,88	1,85	1,96	1,87
Parede ponto (3)	1,81	2,10	2,00	1,77	1,79	1,87
Parede ponto (4)	1,8	1,64	1,8	1,81	1,74	1,75
Parede ponto (5)	18:57	18:14	1,74	1,79	1,76	1,84
Parede ponto (6)	1,74	1,78	1,81	1,72	1,94	1,79
Fundo ponto mais externo (7)	1,80	1,72	1,69	1,70	1,74	1,73
Fundo ponto mais externo (8)	1,74	1,63	1,69	1,94	1,69	1,73

Fundo ponto mais externo (9)	1,67	2,00	1,88	1,67	1,76	1,76
Fundo ponto mais externo (10)	1,72	1,58	1,77	1,80	1,68	1,71
Fundo ponto mais externo (11)	2,11	1,59	1,77	1,80	1,60	1,77
Fundo ponto mais interno (12)	1,74	1,83	1,85	1,80	1,60	1,76
Fundo ponto mais interno (13)	1,35	1,44	1,47	1,30	1,51	1,41
Fundo ponto mais interno (14)	1,40	1,53	1,48	1,40	1,48	1,45
Fundo ponto mais interno (15)	1,46	1,53	1,54	1,40	1,43	1,47
Fundo ponto mais interno (16)	1,50	1,46	1,52	1,41	1,44	1,46
Fundo ponto mais interno (17)	1,40	1,46	1,45	1,44	1,43	1,43
Fundo ponto mais interno (18)	1,41	1,49	1,49	1,42	1,51	1,46
Centro ponto (19)	1,36	1,41	1,43	1,41	1,42	1,40
Média geral						1,66

Fonte: Próprio autor (2018).

**Tabela 22** - Resultado de espessuras - Modos pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador desligado (off)

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Média
Massa (g)	61,80	59,97	61,85	61,21	60,57	
Parede ponto (1)	2,03	1,64	1,83	1,88	1,81	1,83
Parede ponto (2)	1,99	1,69	1,81	1,59	1,89	1,79
Parede ponto (3)	1,84	1,96	1,64	1,69	1,66	1,76
Parede ponto (4)	1,70	1,66	1,70	1,71	1,61	1,67
Parede ponto (5)	1,82	1,97	1,59	1,74	1,73	1,77
Parede ponto (6)	1,87	1,54	1,79	1,78	1,73	1,74
Fundo ponto mais externo (7)	2,04	1,87	2,50	1,75	2,04	2,04
Fundo ponto mais externo (8)	2,07	1,88	2,03	1,77	2,04	1,95
Fundo ponto mais externo (9)	1,94	2,00	2,32	1,77	1,72	1,96
Fundo ponto mais externo (10)	1,79	1,82	1,66	1,74	1,85	1,772
Fundo ponto mais externo (11)	1,86	1,67	1,88	2,04	1,84	1,85
Fundo ponto mais interno (12)	2,15	1,87	1,94	2,29	2,05	2,06
Fundo ponto mais interno (13)	1,09	1,01	1,39	0,69	0,94	1,02
Fundo ponto mais interno (14)	1,23	1,35	1,42	0,81	0,89	1,14
Fundo ponto mais interno (15)	1,53	1,39	1,54	1,06	0,88	1,28
Fundo ponto mais interno (16)	1,42	1,28	1,63	1,03	1,12	1,29
Fundo ponto mais interno (17)	1,01	1,41	1,5	1,58	1,6	1,42
Fundo ponto mais interno (18)	1,17	1,42	1,49	0,7	1,26	1,20
Centro ponto (19)	0,70	1,21	1,15	0,48	0,70	0,84
Média geral						1,60

Fonte: Próprio autor (2018).

**Tabela 23** - Resultado de espessuras - Modos pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador ligado (on)

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Média
Massa (g)	60,05	62,92	61,69	62,72	61,82	
Parede ponto (1)	1,95	2,05	1,75	1,75	1,95	1,89
Parede ponto (2)	1,89	1,82	1,99	1,79	2,01	1,90
Parede ponto (3)	1,90	1,99	1,84	1,97	1,94	1,93
Parede ponto (4)	1,69	1,98	1,99	1,9	1,91	1,89
Parede ponto (5)	1,92	1,85	2,03	1,92	1,85	1,91
Parede ponto (6)	1,94	1,86	1,74	1,83	1,94	1,86
Fundo ponto mais externo (7)	1,93	2,05	1,90	1,91	1,83	1,92
Fundo ponto mais externo (8)	1,88	1,70	1,94	1,84	1,66	1,80
Fundo ponto mais externo (9)	1,86	2,00	1,93	1,85	1,80	1,83
Fundo ponto mais externo (10)	2,03	1,89	1,87	1,94	1,89	1,92

(10)						
Fundo ponto mais externo						
(11)	2,04	1,79	1,84	2,06	1,77	1,90
Fundo ponto mais interno (12)	1,80	1,81	1,85	1,72	1,80	1,79
Fundo ponto mais interno (13)	1,47	1,5	1,59	1,62	1,49	1,53
Fundo ponto mais interno (14)	1,26	1,47	1,62	1,74	1,57	1,53
Fundo ponto mais interno (15)	1,28	1,56	1,57	1,50	1,55	1,49
Fundo ponto mais interno (16)	1,31	1,70	1,47	1,55	1,39	1,48
Fundo ponto mais interno (17)	1,61	1,60	1,67	1,65	1,43	1,59
Fundo ponto mais interno (18)	1,50	1,50	1,70	1,59	1,49	1,55
Centro ponto (19)	1,25	1,45	1,62	1,45	1,27	1,40
Média geral						1,74

Fonte: Próprio autor (2018).

Em uma primeira análise das tabelas 21, 22 e 23, é possível observar que não houve aumento significativo nas médias das espessuras pontuais, em cada um dos modos operacionais do processo; adicionalmente, houve um aumento da média geral da espessura nos modos pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador ligado (on).

Na segunda análise, observa-se que houve instabilidade de espessura pontual (ponto 19) nas amostras produzidas nos modos pré câmara e pós câmara de aquecimento com controlador ligado (off), intuitivamente, causada por folgas mecânicas no mecanismo de rotação biaxial dos moldes.

Adicionalmente, complementando as análises, não se observam variações significativas nas espessuras causadas pelos tipos de modo de operação, mas sim, por falhas mecânicas ou operacionais (humana).

#### 4.2.4 TESTE HIDROSTÁTICO

O teste hidrostático de caráter visual foi realizado observando-se a pressão do próprio peso da coluna d'água sobre a amostra, conforme descrito no capítulo III. As tabelas 24, 25 e 26 apresentam os resultados dos testes hidrostáticos nas amostras, nos três modos operacionais, produzidas com o equipamento protótipo.

**Tabela 24** - Resultado dos testes: hidrostático e densidade - Modo convencional

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
Massa (g)	60,2900	60,8263	61,0459	61,9515	60,8144
Densidade das amostras (g/cm <sup>3</sup> )	0,88	0,91	0,92	0,92	0,84
Vazamento	Não	Não	Não	Não	Não
Deformação	Não	Não	Não	Não	Não
Furo/perfuração/defeito	Não	Não	Não	Não	Não
Aspecto visual	Vide: apen.A figura 3				

Fonte: Próprio autor (2018).

**Tabela 25** - Resultado dos testes: hidrostático e densidade - Modos pré- e pós câmara com controlador desligado (off)

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
Massa (g)	61,8049	59,9785	61,8527	61,216	60,5727
Densidade das amostras (g/cm <sup>3</sup> )	0,85	0,94	0,93	0,92	0,93
Vazamento	Não	Não	Sim	Sim	Não
Deformação	Não	Não	Não	Não	Não
Furo/perfuração/defeito	Não	Não	Sim	Sim	Não
Aspecto visual	Vide: apen.A figura 4				

Fonte: Próprio autor (2018).

**Tabela 26** - Resultado dos testes: hidrostático e densidade - Modos pré- e pós câmara com controlador ligado (on)

	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Amostra 3</b>	<b>Amostra 4</b>	<b>Amostra 5</b>
Massa (g)	60,0533	62,9265	61,6922	62,7231	61,8238
Densidade das amostras (g/cm <sup>3</sup> )	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91
Vazamento	Não	Não	Não	Não	Não
Deformação	Não	Não	Não	Não	Não
Furo/perfuração/defeito	Não	Não	Não	Não	Não
Aspecto visual	Vide: apen.A figura 5				

Fonte: Próprio autor (2018).

#### 4.2.5 ENSAIO DE TRAÇÃO E TENACIDADE

Os testes de tração e tenacidade foram realizados conforme descrito no capítulo III. As tabelas 27, 28 e 29 mostram os resultados dos testes de tração nos pares de amostra, ou seja, em cada amostra produzida com o equipamento protótipo, foram retirados dois corpos de prova, para realização dos testes, nos três modos de operações.

**Tabela 27 - Resultados dos testes de tração das amostras - Modo convencional**

Massa	60,29		60,8263		61,0459		61,9515		60,8144	
Pares de amostra	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tração (N)	672,1	696,5	687	723	730,3	680,8	682,7	682,7	713,7	564,2
Média da tração (N)	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3	683,3
Desvio-padrão amostral, (N)	50,17	50,17	50,17	50,17	50,17	50,17	50,18	50,18	50,18	50,18
Varição mínima, (N)	665,55	665,55	665,55	665,55	665,55	665,55	665,6	665,6	665,6	665,56
Varição máxima, (N)	701,04	701,04	701,04	701,04	701,04	701,04	701	701	701	701,04
Deformação, (mm)	3	4	4	4	4	3	4	3	4	3
Força máxima, (N)	671	697	688	723	730	581	683	660	714	564
Tensão máxima-módulo Young, (N/ mm <sup>2</sup> )	14,93	15,48	13,90	14,61	15,7	12,49	15,70	15,20	16,41	12,97
Tenacidade em 5Y, (J/M)	7,50	10	7,96	7,96	10,40	5,85		6,90	10	5,40
Tenacidade em 10Y, (J/M)		20	15,96	15,96	21,20			13,80		
Tenacidade em 15Y, (J/M)			23,85	23,85	31,80					
Tenacidade total, (J/M)	8,60	29	26,50	31,80	95,40	8,19	8,82	17,94	15	9,72

Fonte: Próprio autor (2018).

**Tabela 28 - Resultados dos testes de tração das amostras - Modos pré- e pós câmara de aquecimento com controlador desligado (off)**

Massa	61,8049		59,9785		61,8527		61,216		60,572	
Amostras	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Tração, (N)	643		730,3	689,3	730,3	731,6	568,2	604,6	511,3	660,2
Média da tração, (N)	652,08		652,08	652,08	652,08	652,08	652,08	652,08	652,08	652,08
Desvio-padrão amostral, (N)	78,42		50,17	50,17	50,17	50,17	50,17	50,17	50,17	50,17
Varição mínima, (N)	625,94		625,94	625,94	625,94	625,94	625,94	625,94	625,94	625,94
Varição máxima, (N)	678,23		678,23	678,23	678,23	678,23	678,23	678,23	678,23	678,23
Deformação, (mm)	3		4	3	4	4	3	3	3	4
Força máxima, (N)	671,10		696,50	688,05	723,19	730,30	580,80	682,70	660,20	713,70
Tensão máxima-módulo Young, (N/ mm <sup>2</sup> )	14,93		15,48	13,90	14,61	15,70	12,49	15,69	15,18	16,41
Tenacidade em 5Y, (J/M)	6,90		7,65	7,35	10,40					
Tenacidade em 10Y, (J/M)			20,40		21,60					
Tenacidade em 15Y, (J/M)			30,60		32,40					
Tenacidade total (J/M)	8,28		61,20	8,82	34,32	6,12	1,26	1,26	1,60	1,50

Fonte: Próprio autor (2018).

**Tabela 29** - Resultados dos testes de tração das amostras - Modos pré-câmara e pós câmara de aquecimento com controlador ligado (on)

Massa	60,0533		62,9265		61,5922		62,7231		61,8238	
	Amostra	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1
Tração, (N)	662,8	766,7	776,6	754,8	729	766	789,8	772,6	736,2	741,5
Média da tração, (N)	749,6	749,6	749,6	749,6	749,6	749,6	749,6	749,6	749,6	749,6
Desvio-padrão amostral, (N)	36,0034	36,0034	36,0034	36,0034	36,0034	36,0034	36,0034	36,0034	36,0034	36,0034
Varição mínima, (N)	738,2147	738,2147	738,2147	738,2147	738,2147	738,2147	738,2147	738,2147	738,2147	738,2147
Varição máxima, (N)	760,9852	760,9852	760,9852	760,9852	760,9852	760,9852	760,9852	760,9852	760,9852	760,9852
Deformação, (mm)	3	4	4	5	3	4	4	4	4	4
Força máxima, (N)	662,8	766,7	776,6	754,8	729	766	789,8	772,6	736,2	741,5
Tensão máxima-módulo Young, (N/mm <sup>2</sup> )	13,81	14,2	14,38	15,72	15,19	14,59	15,04	14,72	15,34	24,72
Tenacidade em 5Y, (J/M)			11	13,5			11	11,2		10,4
Tenacidade em 10Y, (J/M)				27						
Tenacidade em 15Y, (J/M)				40,5						
Tenacidade total, (J/M)	7,2	6,16	13,2	64,18	4,24	6,48	14,3	19,04	7,42	12,48

Fonte: Próprio autor (2018).

Na primeira análise das Tabelas 27, 28 e 29, é preciso observar a média das trações, o desvio-padrão, a deformação e a tenacidade. Com base nesses parâmetros, é possível verificar um aumento da resistência à tração no modo convencional e no modo de operação com pré câmara e pós câmara com controle ligado (on).

Na segunda análise, observa-se leve queda da tração no modo de operação com pré câmara e pós câmara com controle ligado (off), causada, intuitivamente, por falhas mecânicas no mecanismo de rotação biaxial.

Já na terceira, é possível verificar um aumento crescente da resistência à tração no modo de operação com pré câmara e pós câmara com controle ligado (on). Partindo da premissa de que Y é a deformação no ponto máximo, observa-se que a tenacidade decresce de forma similar.

Adicionalmente, pode-se observar com os processos que a tenacidade teve comportamento inversamente proporcional ao aumento da tração. Isso implica que o material que se submete a longos períodos de aquecimento tem menor resistência à tração, mas, por outro lado, não está sujeito à ruptura brusca.

Com isso, pode-se inferir que o modo de operação com pré câmara e pós câmara com controle ligado (on) suporta maiores deformações elásticas, pois as o arranjo do polímero encontra-se mais empacotada, deixando a estrutura no formato mais cristalina, ou seja, as cadeias estruturais das moléculas estão ordenadas em

um arranjo, juntas, formando o retículo; enquanto o modo convencional suporta maiores deformações plásticas por ser mais amorfa., pois as estruturas das cadeias moleculares encontra-se com suas ramificações entrelaçadas de forma desordenada e afastada uma das outras, permitindo maior mobilidade das moléculas.

### 4.3 TRATAMENTO DOS DADOS: ANÁLISE DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

A análise de incerteza de medição foi realizada conforme descrito no capítulo III. As tabelas 30, 31, 32 e 33, a seguir, contêm os resultados das médias das incertezas, incerteza expandida e intervalo de abrangência. No apêndice B, encontram-se detalhadamente as tabelas de cálculos de incerteza de medição; estas possuem os campos a serem preenchidos com os dados obtidos para efetuação dos cálculos. Elas contêm todas as equações, fórmulas e método para o cálculo de incerteza de medição.

#### 4.3.1 DENSIDADE

**Tabela 30** - Resultado da incerteza de medição das densidades

Modo de operação	Média (g/cm <sup>3</sup> )	Incerteza expandida (g/cm <sup>3</sup> )	Intervalo de abrangência
Convencional	0,8991	0,0776	[0,8215 - 0,9767]
Modo <i>off</i>	0,9185	0,0779	[0,8406 - 0,9964]
Modo <i>on</i>	0,9189	0,0690	[0,8499 – 0,9879]

Fonte: Próprio autor (2018).

A primeira análise pauta-se na tabela 30, gerada a partir de dados advindos da tabela de cálculos apresentados no apêndice B. Os dados apresentados aqui baseiam-se na média das densidades e nos intervalos de abrangência, para os três modos operacionais. Para que o resultado seja aceito, este deve encontrar-se dentro dos intervalos de abrangência mostrados acima. Esses resultados atestam, de acordo com a norma GUM, que todas as amostras produzidas em cada um dos três modos operacionais são iguais.

### 4.3.2 ESPESSURA

A tabela 31 apresenta os dados de espessuras para todos os pontos e em todos os modos operacionais, de acordo com a norma GUM.

**Tabela 31** - Espessuras das paredes e respectivos desvios-padrão nos três modos de operações

Pontos	Modo - convencional	Modos - pré- e pós câmara - controle desligado ( <i>off</i> )	Modos - pré- e pós câmara - controle ligado ( <i>on</i> )
1	(1,87 ± 0,07) mm; k=2,025; p=95%	(1,83 ± 0,20) mm; k=2,02; p=95%	(1,89 ± 0,25) mm; k=2,02; p=95%
2	(1,86 ± 0,16) mm; k=2,02; p=95%	(1,73 ± 0,28) mm; k=2,02; p=95%	(1,90 ± 0,21) mm; k=2,02; p=95%
3	(1,89 ± 0,19) mm; k=2,02; p=95%	(1,75 ± 0,27) mm; k=2,02; p=95%	(1,92 ± 0,16) mm; k=2,02; p=95%
4	(1,75 ± 0,19) mm; k=2,02; p=95%	(1,67 ± 0,30) mm; k=2,02; p=95%	(1,89 ± 0,21) mm; k=2,02; p=95%
5	(1,76 ± 0,20) mm; k=2,02; p=95%	(1,77 ± 0,26) mm; k=2,02; p=95%	(1,90 ± 0,18) mm; k=2,02; p=95%
6	(1,79 ± 0,22) mm; k=2,02; p=95%	(1,74 ± 0,19) mm; k=2,02; p=95%	(1,86 ± 0,18) mm; k=2,02; p=95%
7	(1,73 ± 0,24) mm; k=2,02; p=95%	(2,04 ± 0,45) mm; k=2,02; p=95%	(1,92 ± 0,18) mm; k=2,02; p=95%
8	(1,73 ± 0,25) mm; k=2,02; p=95%	(1,95 ± 0,27) mm; k=2,02; p=95%	(1,80 ± 0,21) mm; k=2,02; p=95%
9	(1,79 ± 0,27) mm; k=2,02; p=95%	(1,95 ± 0,33) mm; k=2,02; p=95%	(1,88 ± 0,18) mm; k=2,02; p=95%
10	(1,71 ± 0,24) mm; k=2,02; p=95%	(1,77 ± 0,22) mm; k=2,02; p=95%	(1,92 ± 0,17) mm; k=2,02; p=95%
11	(1,77 ± 0,31) mm; k=2,02; p=95%	(1,85 ± 0,27) mm; k=2,02; p=95%	(1,90 ± 0,22) mm; k=2,02; p=95%
12	(1,76 ± 0,25) mm; k=2,02; p=95%	(2,06 ± 0,39) mm; k=2,02; p=95%	(1,79 ± 0,16) mm; k=2,02; p=95%
13	(1,41 ± 0,68) mm; k=2,02; p=95%	(1,02 ± 1,19) mm; k=2,02; p=95%	(1,53 ± 0,17) mm; k=2,02; p=95%
14	(1,44 ± 0,64) mm; k=2,02; p=95%	(1,14 ± 1,09) mm; k=2,02; p=95%	(1,53 ± 0,26) mm; k=2,02; p=95%
15	(1,47 ± 0,59) mm; k=2,02; p=95%	(1,28 ± 0,88) mm; k=2,02; p=95%	(1,49 ± 0,21) mm; k=2,02; p=95%
16	(1,46 ± 1,00) mm; k=2,02; p=95%	(1,29 ± 0,82) mm; k=2,02; p=95%	(1,48 ± 0,22) mm; k=2,02; p=95%
17	(1,43 ± 0,63) mm; k=2,02; p=95%	(1,42 ± 0,83) mm; k=2,02; p=95%	(1,43 ± 0,55) mm; k=2,02; p=95%
18	(1,46 ± 0,60) mm; k=2,02; p=95%	(1,20 ± 1,05) mm; k=2,02; p=95%	(1,55 ± 0,18) mm; k=2,02; p=95%
19	(1,40 ± 0,67) mm; k=2,02; p=95%	(0,84 ± 1,58) mm; k=2,02; p=95%	(1,40 ± 0,43) mm; k=2,02; p=95%

Fonte: Próprio autor (2018).

Em uma primeira análise, a partir da tabela 31, construído de acordo com a tabela de cálculos no apêndice (B), é possível observar que as espessuras

mantiveram-se estáveis quase em todos os pontos, exceto no centro (ponto 19), em que houve uma perda de espessura. Isso se deu por conta de um desajuste das rotações biaxiais, que faz com que, pelo efeito da força centrífuga, as partículas tenham dificuldade de formar camadas de aderência exatamente no centro da peça, o que dificulta a coalescência e densificação nessa região.

### 4.3.3 TRAÇÃO E TENACIDADE

Para um melhor entendimento sobre os resultados obtidos da tração e tenacidade. Fez-se necessário, inicialmente, uma breve abordagem, em ciências dos materiais, sobre as estruturas dos materiais Cristalinos e dos materiais amorfos. Para isso, destacaram-se as premissas para para cada material, a saber:

#### Premissas sobre o material Cristalino

- 1 Na sua cadeia estrutural, na região cristalina, possui um arranjo ordenado de átomos/moléculas, próximas, formando um retículo cristalino, na qual a disposição espacial das moléculas estão, organizadas de forma empacotada, onde cada cristalito são interconectado por uma estrutura amorfo (emaranhado desordenado);
- 2 A disposição espacial das moléculas estão organizadas de forma empacotadas ordenada e repetitiva;
- 3 Os materiais necessita absorver muita energia para a transição do estado solido(estado cristalino) para fluido (estado fundido). Na qual ocorre em pequenas faixa de temperatura;
- 4 Ocorre variação de volume significativa, quando a energia necessária para transição do estado cristalino para o estado fundido, impactando na densidade do material.

#### Premissas do material amorfo

- 1 Possui em sua cadeia, retículos na qual os arranjos são organizados de forma desordenada, onde os átomos/moléculas estão afastadas, enroladas e interlaçadas;
- 2 As cadeias se movem (deslocam), como se fosse uma cobra dentro de um tubo imaginário, proporcionando maior variação elástica;
- 3 Os matérias absorve menor energia, do que os cristalinos, para a

transição do estado sólido(vítrea) para o estado líquido (estado fundido).  
Na qual ocorre em faixas maiores de temperaturas;

- 4 Ocorre menor variação de volume, devido ao fato das moléculas já se encontrarem afastadas em seus retículos.

Já sabido estas premissas sobre as estruturas dos materiais. É necessário analisar as Tabelas 32 e 33 que mostram os valores médios de tração e tenacidade e análises das incertezas das cinco amostras produzidas nos três modos operacionais, de acordo com a norma GUM.

**Tabela 32 - Resultado da incerteza de medição de tração**

<b>Modo de operação</b>	<b>Média (N)</b>	<b>Incerteza expandida (N)</b>	<b>Intervalo de abrangência</b>
Convencional	697,1600	29,4701	[672,1000 – 730,0000]
Pré- e pós câmara (off)	636,6200	119,6454	[516,9746 – 756,2654]
Pré- e pós câmara (on)	738,8800	61,0655	[677,8145 – 799,9455]

Fonte: Próprio autor (2018).

De antemão, considerando as premissas descritas sobre a estrutura dos materiais cristalinos e dos materiais amorfos, é possível deduzir em uma primeira análise, a partir da tabela 32, gerada a partir de dados, advindos da tabela de cálculos no apêndice B, pode-se observar que o resultado da tração, no modo pré e pós câmara (*on*), apresentou-se maior do que nos outros modos respectivamente, pois, quanto menor o tempo de aquecimento, maior é a sua resistência à tração, pois sua estrutura cristalina encontra-se mais próxima e ordenada. Portanto, o sistema pré e pós câmara com controle ligado, a estrutura do material produzido é mais cristalino (no estado sólido) e, conseqüentemente, torna-se sua resistência elástica maior. Enquanto que, quanto maior a permanência ao calor (exposição ao calor) por um longo período de tempo, mais afastado tende a tornar-se ou permanecer sua estrutura dos átomos/moléculas, deixando o material mais amorfo. Com isso, torna-se maior sua tenacidade, ou seja, a capacidade de absorver energia, o que permite que o material suporte maiores deformações irreversíveis sem levá-lo a rupturas bruscas.

Numa segunda análise, observa-se que os modos pré câmara e pós câmara off apresentaram um resultado de incerteza expandida inesperado, indicação de que houve uma grande instabilidade no processo, que levou a um resultado de incerteza inferior ao do modo convencional.

**Tabela 33** - Resultado da incerteza de medição de tenacidade

<b>Modo de operação</b>	<b>Média (J/M<sup>3</sup>)</b>	<b>Incerteza expandida (J/M<sup>3</sup>)</b>	<b>Intervalo de abrangência</b>
Convencional	83,6861	108,1017	[-24,4156 – 191,7878]
Pré\ Pós câmara (off)	110,7096	187,3227	[-76,6131 – 298,0323]
Pré\ Pós Câmara (on)	43,6475	62,0613	[-18,4138 – 105,7088]

Fonte: Próprio autor (2018).

A terceira análise, baseada na tabela 33, gerada a partir de dados advindos da tabela de cálculos no apêndice B, demonstra que os modos pré câmara e pós câmara (off) apresentaram um resultado de incerteza expandida inesperado; surgiu um valor inesperado de tenacidade superior ao modo convencional, o que confirma que houve uma grande instabilidade no processo, já percebido na tabela de incerteza de tração.

## CAPÍTULO V

### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 5.1 CONCLUSÕES

Os processos convencionais de produção de rotomoldados possuem longos períodos de ciclo, o que gera desperdício energético significativo em cada ciclo produtivo. Diante dos dados obtidos experimentalmente, é possível chegar a um fator redutor, mostrado na tabela 17. O processo apresentado pode ser usado por qualquer investidor, como ferramenta de análise para visualizar e quantificar a redução de custo em percentual que se obtém para cada unidade monetária gasta com energia, em cada ciclo produtivo. Quanto às principais características do material estudado, é possível verificar de forma geral que não houve efeito significativo nas principais propriedades físicas estudadas. Ademais, o arranjo arquitetônico da câmara com controle ligado (*on*) proporciona resultados mais desejados em comparação à câmara com controle desligado (*off*), desde que não haja contratempos no reinício do ciclo seguinte. Além disso, proporciona resultados mais desejados de resistência à tração em comparação ao modo de operação convencional. Com isso, a partir dos resultados preliminares deste trabalho, podem-se constatar as observações abaixo. O longo período de ciclo foi minimizado, com o reaproveitamento do calor, da seguinte forma:

- O pré-câmara reteve o calor na câmara de aquecimento, enquanto o Pós câmara bloqueou a saída do calor para o meio externo.
- A cortina térmica existente na entrada do pré-câmara e na saída do Pós câmara funciona como porta de acesso e evitou a troca térmica com o meio externo.
- O arranjo tornou o processo menos moroso, em face aos outros processos, como injeção, termovácuo e sopro.
- O reaproveitamento energético proposto pode minimizar a queima de gás natural nas plantas existentes.

A densidade foi levemente melhorada com a utilização das seções de pré câmara e pós câmara *on*, no entanto, nos testes de incerteza, não se verifica diferença em relação ao modo convencional. Vale salientar que essa propriedade é

diretamente afetada pela temperatura e pelo tempo de aquecimento durante o processo de coalescência, sinterização e densificação; inclusive, se o processo permanecer por muito tempo exposto ao calor, o material pode chegar à degradação.

A média das espessuras no modo *on* do processo com pré câmara e pós câmara alcançou uma leve melhoria; em comparação ao que se observou nos demais modos operacionais, houve menor dispersão dos valores experimentais, o que lhe garantiu estabilidade. Essa propriedade está diretamente correlacionada a falhas mecânicas, como folga no mecanismo de rotação biaxial, uniformidade no tamanho do grão utilizado como matéria-prima e parâmetros operacionais, como temperatura, velocidade de rotação biaxial e tempo de exposição ao calor durante o processo.

A resistência à tração aumentou no processo proposto, o que deixou o material com uma maior resistência elástica e o tornou mais resistente a deformações reversíveis. Ademais, os resultados de incerteza mostram diferença significativa para o processo convencional, no quesito resistência à tração;

A densidade sofreu menos variações com a utilização das seções de pré câmara e pós câmara modo *on*, no entanto, nos testes de incerteza, não se verifica diferença em relação ao modo convencional; isso assegura sua validade em termos de preservação dessa propriedade física do material.

A resistência à tração aumentou pontualmente no processo proposto, modo *on*, o que permite que o material apresente uma maior resistência elástica, tornando-o mais resistente a deformações reversíveis.

## **5.2 CONTINUIDADE DA PESQUISA**

A área de rotomoldagem é muito vasta, mas ainda possui poucas pesquisas no meio acadêmico. No Brasil, apesar de ter um fabricante de máquina de rotomoldagem, ainda é muito carente de pesquisas voltadas para esta área. Talvez essa carência possa ser explicado devido ser um processo novo comercialmente visto, em forma de produtos, há cerca de pouco mais de duas décadas. A rotomoldagem apesar de ser um processo pouco conhecido, é muito rico em lacunas que ainda necessita ser coberta com pesquisas acadêmicas. De antemão, pode se entrar pela seara de processo, desenvolvimento tecnológico da máquinas ou

automação e controle da máquinas de rotomoldagem, essas três frentes, certamente, gerará resultados surpreendentes para quem quer mergulhar no mundo do conhecimento sobre a rotomoldagem. Ademais, seguem algumas sugestões para pesquisas futuras:

- A influência da velocidade e intensidade de circulação do calor para os aspectos morfológicos e para a degradação dos materiais rotomoldados;
- O controle e automação do equipamento protótipo de rotomoldagem desenvolvido;
- A integração do equipamento protótipo de rotomoldagem em células de produção com robôs e IA (inteligência artificial).

## REFERÊNCIAS

- ARRUDA FILHO, A. B. de. **Placas cimentícias reforçadas com tecidos estruturais de sisal**. 2015. 108p. Mestrado (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.
- Agent, Attorney. 1998. "United States Patent ( 19 ) 11 Patent Number : **Generator Workpiece**." (19).
- BARRETO, Eduardo José Fagundes (org.). **Combustão e gaseificação de biomassa sólida: soluções energéticas para a amazônia**. Brasília: Ministério de Minas Energia, 2008. 192p.
- barriol jean louis, perrier oliver, mazabrand philippe et nony fabien. 2009. "FR2927566A1-A **Mold for Rotational Molding Machine and the Machine Comprising Rotomoulding**..Pdf."
- CA, ANTÔNIO, and RLOS TORRES. 2017. **SISTEMA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR DOS FORNOS DAS MÁQUINAS DE ROTOMOLDAGEM** "Br 102016009639-1 A2." 2016(21).
- caoyi dong cao xiao gang lu co., Ltd. 2017. "CN206825773U-A **Rotational Moulding Machine System for Streamlined Production**.Pdf."
- Dengya, zhang et. 2010. "CN206011545U-**Four Tower Arm Rotational Moulding Machine**.Pdf." **Thermal-Energy Auxiliary Device for Rotational Moulding Machine**.Pdf."
- Elman, George. 1993. "3e1bda47f1849eef65b109011580610d75b24987a1c283992965bbeccdad66ace\_patente **Aperfeiçoamento de Maquina**.Pdf."
- "FR2688441A1-**Process and Device for Manufacturing, by Rotomoulding, Containers Provided with an Opening Having an Internal (Female) Thread, and Containers Produced**.Pdf." : 20.
- REVISTA** Ferramental, ano III, n. 13, jul./ago. 2007.
- RUBIO, Eduardo. **Innovative Wireless Technologies for Real-Time Rotational Molding Processes Optimization**. IEEE Latin America Transactions, v. 14, n. 1, p. 78-82, 2016.
- ROTO LINE BRASIL. <<https://www.rotoline.com.br> >. Acesso em: 01\05\2017
- Greco, Antonio, Alfonso Maffezzoli, and Stefania Forleo. 2014. "**Rotational Molding of Bio-Polymers**." *AIP Conference Proceedings* 1593: 333–37.
- gu qiping. 2016. "CN205969669U-**Rotational Moulding Machine Controlling Means**.Pdf."
- helou gregoire, biers joris, weyts katrien, daponte tony et delmotte ann. 2015. "FR3016365A1-**Plastic for Rotomoulding, METHOD FOR PRODUCING Rotomoulded a Room and Rotomolded Part**.Pdf." : 16.
- Hong, sun jião lu. 2012. "CN202623111U-Dual-Die Chain **Transmission Structure of Rotational Moulding Machine**.Pdf."
- sun mei lu hong, Luo wang xiaoping. 2015. "CN204640649U-Energy -**Conserving Wind Channel of Rotational Moulding Machine Baking Oven**.Pdf."
- <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes> . Acesso em: 10\05\2018
- Jião, dom lu. 2013. "CN203046062U-**Rotational Moulding Machine with Fluid-Type Air Duct**.Pdf."
- Hong, sun jião lu.2012.CN202846798U-**Thermal-energy auxiliary device for rotational moulding machine**.pdf
- john edward orme, hayway, roshden, england, Assignor. 1971. "Jan. 19, 1971." : 6.
- Kroll, Michael I, and Publication Classification. 2002. "Z2." 1(19).
- Lopes, Sérgio Paulo Maravilhas. 2014. "**As Patentes Como Soluções Científicas e Tecnológicas Aplicáveis a Outros Cenários**." *Biblios* 55(55): 60–72.
- li jianjun lu yubo. 2015. "CN105195400B-**Of the Rotomoulding Water Heater Air Processing Equipment**.Pdf."
- Lopes, Sérgio Paulo Maravilhas. 2014. "**As Patentes Como Soluções Científicas e Tecnológicas Aplicáveis a Outros Cenários**." *Biblios* 55(55): 60–72.
- Luccas, washington ramos de. 2000. "52be16b316f94e6be0064c99e9c7017e96732bdf1473a3f195581d2479226342\_patente\_maquina\_compacta\_rotomoldagem.Pdf."
- Maria, Silvia, Fabiana Marques Barbosa, Luciana Guimarães Pedro, and Victor Carvalho Muniz. 2014. "**Estudo Sobre o ' Estado Da Arte ' de Um Programa de Pós- Graduação Em Psicologia**." : 278–96.
- Melo, Marcelo Silva de Matos. 2012. "**Energia Eólica: Aspectos Técnicos e Econômicos**." : 154.
- paul v. meuret, la seyne-s/mer, France. 1986. "US . Patent Apr . 22 , 1986." (19).
- Pisanu, Luciano. 2008. "Livros Grátis." **INFLUÊNCIA DO POLIETILENO RECICLADO NAS PROPRIEDADES DE PEÇAS OBTIDAS PELO PROCESSO DE ROTOMOLDAGEM**: 1–123.
- Rubio, Eduardo. 2016. "**Innovative Wireless Technologies for Real-Time Rotational Molding Processes Optimization**." *IEEE Latin America Transactions* 14(1): 78–82.

- Soares, Márton Herbert Flora Barbosa, and Edna Sheron da Costa Garcez. 2017. “**Um Estudo Do Estado Da Arte Sobre a Utilização Do Lúdico Em Ensino de Química.**” *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* 17(1): 183–214.
- sun mei luo hong, Luo wang xiaoping. 2015. “**CN204640649U-Energy -Conserving Wind Channel of Rotational Moulding Machine Baking Oven.**Pdf.”
- Troton, jean. 2013. “2 562 933.” : 1–8.
- wang jiang, Ming. 2013. “**CN103264473B-Moveable-Type Accurately-Controllable-Temperature Full-Plastic Storage Tank Rotational Moulding Device.**Pdf.”
- CN203527740U-Device for producing and processing rotational molding product.pdf
- CN203046062U-Rotational moulding machine with fluid-type air duct.pdf
- Xiaoqiang, Jiang. 2013. “**CN203527740U-Device for Producing and Processing Rotational Molding Product.**Pdf.”
- Xinhua. 2015. “**CN204701054U-Rotational Moulding Machine’s Heat Source Mechanism.**Pdf.”
- Paul v. meuret, la seyne-s/mer, France. “**US4583932-rotational Molding Machine.** Patent Apr . 22 , 1986. Pdf.”
- Yan, W.Lin, R. J.T.Bhattacharyya, D. 2006.**Particulate reinforced rotationally moulded polyethylene composites - Mixing methods and mechanical properties**
- CT Bellehumeur. MK Bisaria. J. Vlachopoulos.1996. **Um estudo experimental e avaliação de modelo de sinterização de polímero.**
- CRAWFORD, R. J.; THRONE, J. L. **Rotational molding technology.** Norwich, New York: **Plastics Design Library**, 2002.
- Narkis, M., Rosenzweig, N. **Polymer powder technology.** John Wiley & Sons, England, 1995.

## APÊNDICE A.

As figuras 1, 2 e 3 mostram as cinco peças (amostras) produzidas com o equipamento protótipo. Sendo respectivamente os resultados da produção nos modos: convencional, com seções de pré e pós câmara controle desligado (*off*) e controle ligado controle (*on*).

Figura 1



Figura 1



Figura 2



Fonte: Próprio autor (2018).

## APÊNDICE B

### MEDIDAS DE DENSIDADE- MODO CONVENCIONAL

#### AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO

#### ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS

MÉDIA =	0,89916
NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES =	5
NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MEDIA =	5
DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES =	0,03611
DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA =	0,01615

#### ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM

GRANDEZAS	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SEN	GDL	RESULTADO
<b>RESOLUÇÃO</b> DO APARELHO X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE <u>IM</u>	0,001	TRIANGULAR	1,73	1	INFINITO	0,001
<b>UPRECISÃO</b> INTERMEDIÁRIA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,01615	NORMAL	1	1	INFINITO	0,01614827
<b>UREPETITIVIDADE</b> DA AMOSTRA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,01615	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0,00933426
<b>UREFERENTES AO PICNOMETRO</b> (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,00058	NORMAL	1	1	INFINITO	0,00057735
<b>UREFERENTES A MEDIDA DE DENSIDADE (LD)</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,07462	T-STUDENT	2,23	1	4	0,03346188
<b>DRIFT</b> (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DA <b>BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE A</b>	3E-06	RETANGULAR	3,46	1	INFINITO	8,6705E-07
<b>PRECISÃO</b> ( É O DESVIO PADRÃO)FORNECIDA PELO APARELHO ( <b>PICNOMETRO</b> )-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRE	0,001	NORMAL	1	1	INFINITO	0,001
<b>DIVISÃO BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,001	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0,00057803
<b>REPETIBILIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,002	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0,00115607
<b>LINEARIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,002	NORMAL	1	0	INFINITO	0
<b>UC</b> INCERTEZA PADRÃO COMBINADA	0,07808				INCERTEZA X COE	0,03833961
<b>K</b> FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P\ FATOR DE ABRANGE	2,025					
<b>UP</b> INCERTEZA EXPANDIDA	0,15811				INCERTEZA EXPAN	0,07763772
<b>Veff</b> graus de liberdade						#VALOR!
<b>Veff</b> graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXER NA FOR						4946,37166
<b>RESULTADO</b> (	0,89916	±		0,0776	) K=2,025	P=95,45

## MEDIDAS DE DENSIDADE- MODO PRE- E PÓS-CÂMARA CONTROLE DESLIGADO (OFF)

## AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO

## ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS

MÉDIA =	0,91846
NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES =	5
NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MÉDIA =	5
DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES =	0,03618
DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA =	0,01618

## ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM

GRANDEZAS	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SENSIBILIDADE	GDL	Resultado
RESOLUÇÃO DO APARELHO X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	= 0,001	TRIANGULAR	1,73	1	INFINITO	0,001
UPRECISÃO INTERMEDIÁRIA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	= 0,01618	NORMAL	1	1	INFINITO	0,016179141
UREPETITIVIDADE DA AMOSTRA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	= 0,01618	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0,009352105
UREFERENTES AO PICNOMETRO (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM:RETANGULA=RAIZ 3;TRIANGULAR=RAIZ 6; QUADRADO=RAIZ 2	= 0,00058	NORMAL	1	1	INFINITO	0,00057735
UREFERENTES A MEDIDA DE DENSIDADE (LD) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM -OBS; É DESVIO PADRÃO AMOSTRAL DAS MEDIAS	0,07462	T-STUDENT	2,23	1	4	0,033461883
DRIFT (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DA BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	3E-06	RETANGULAR	3,46	1	INFINITO	8,67052E-07
PRECISÃO ( É O DESVIO PADRÃO)FORNECIDA PELO APARELHO (PICNOMETRO)-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRETO FORNECIDO PELO FABRICANTE X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE	0,001	NORMAL	1	1	INFINITO	0,001
DIVISÃO BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,001	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0,000578035
REPETIBILIDADE BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,002	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0,001156069
LINEARIDADE BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,002	NORMAL	1	0	INFINITO	0
UC INCERTEZA PADRÃO COMBINADA	= 0,07809				INCERTEZA X COEFICIENTE →	0,038356974
K FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P\ FATOR DE ABRANGENCIA=95,45%)-OBS: DADO ENCONTRADO DE POSSE DE 95%	2,025					
UP INCERTEZA EXPANDIDA	= 0,15813				INCERTEZA EXPANDIDA X COEFICIENTE	0,077672872
Veff graus de liberdade						#VALOR!
Veff graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXER NA FORMULA E EXCLUÍ-LA						4948,61136
RESULTADO (	0,91846	±		0,077672872	) K=2,025	P=95,45

**MEDIDAS DE DENSIDADE- MODO PRE- E PÓS-CÂMARA CONTROLADO (ON)**

AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO

**ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS**

MÉDIA =	0,9189
NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES =	5
NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MÉDIA =	5
DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES =	0,01203
DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA =	0,00538

**ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM**

GRANDEZAS	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SENSIBILIDADE	GDL	RESULTADO
<b>RESOLUÇÃO</b> DO APARELHO X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,001	TRIANGULAR	1,73	1	INFINITO	0,001
<b>UPRECISÃO</b> INTERMEDIÁRIA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,00538	NORMAL	1	1	INFINITO	0,00538
<b>UREPETITIVIDADE</b> DA AMOSTRA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,00538	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0,00311
<b>UREFERENTES AO PICNOMETRO</b> (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM:RETANGULA=RAIZ	0,000577	NORMAL	1	1	INFINITO	0,000577
<b>UREFERENTES A MEDIDA DE DENSIDADE (LD)</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM -OBS; É DESVIO I	0,07462	T-STUDENT	2,23	1	4	0,033462
<b>DRIFT</b> (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DA <b>BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	0,000003	RETANGULAR	3,46	1	INFINITO	8,67E-07
<b>PRECISÃO</b> ( É O DESVIO PADRÃO)FORNECIDA PELO APARELHO ( <b>PICNOMETRO</b> )-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRETO FORNECIDO	0,001	NORMAL	1	1	INFINITO	0,001
<b>DIVISÃO BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,001	NORMAL	1,73	1		0,000578
<b>REPETIBILIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,002	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0,001156
<b>LINEARIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,002	NORMAL	1	0	INFINITO	0
<b>UC</b> INCERTEZA PADRÃO COMBINADA	0,075049					INCERTEZA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE
<b>K</b> FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P\FATOR DE ABRANGENCIA=95,	2,025					
<b>UP</b> INCERTEZA EXPANDIDA	0,151974					INCERTEZA EXPANDIDA
<b>Veff</b> graus de liberdade						#VALOR!
<b>Veff</b> graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXER NA FORMULA E						4395,299
<b>RESULTADO</b> (	0,9189	±		0,068988	) K=2,025	P=95,45

### MEDIDAS DE ESPESSURA- MODO CONVENCIONAL

#### AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO

#### ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS

MÉDIA =	1,6608
NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES =	5
NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MEDIA =	2
DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES =	0
DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA =	0

#### ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM

GRANDEZAS	VALOR	DISRTIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SENSIBILIDADE	GDL	RESULTADO
RESOLUÇÃO DO APARELHO X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE <u>IM</u>	0,01	TRIANGULAR	1,73	1	INFINITO	0,01
UPRECISÃO INTERMEDIÁRIA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1	1	INFINITO	0
UREPETITIVIDADE DA AMOSTRA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0
UREFERENTES AO MICROMETRO (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,0057735	NORMAL	1	1	INFINITO	0,0057735
UREFERENTES A MEDIDA(LM) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM -OBS; É	0,07462	NORMAL	1	1	4	0,07462
DRIFT (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DO APARELHO	0	RETANGULAR	1	0	0	0
PRECISÃO FORNECIDA PELO APARELHO (PICNOMETRO)-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRETO FORNECIDO I	0	NORMAL	1	0	0	0
RESERVA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0		1	0	0	0
UC INCERTEZA PADRÃO COMBINADA	0,0755081			INCERTEZA X COEFICIENTE		0,0755081
K FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P\ FATOR DE AL	2,025					
UP INCERTEZA EXPANDIDA	0,152904			INCERTEZA EXPANDIDA X		0,152904
Veff graus de liberdade						#VALOR!
Veff graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXEI						9741,6546
<b>RESULTADO (</b>	1,6608	±		0,152904	) K=2,025	P=95,45

**MEDIDAS DE ESPESSURA- MODO PRE- E PÓS-CÂMARA CONTROLE DESLIGADO (OFF)**

**AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO**

**ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS**

MÉDIA = 1,603  
 NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES = 5  
 NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MEDIA = 2  
 DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES = 0,178  
 DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA = 0,08

**ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM**

GRANDEZAS	VALOR	DISRTIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SENSIBILIDADE	GDL	RESULTADO
<b>RESOLUÇÃO</b> DO APARELHO X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE <u>IM</u>	0,01	TRIANGUL	1,73	1	INFINITO	0,01
<b>UPRECISÃO</b> INTERMEDIÁRIA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,08	RORMAL	1	1	INFINITO	0,08
<b>UREPETITIVIDADE</b> DA AMOSTRA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,126	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0,073
<b>UREFERENTES</b> AO MICROMETRO (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,006	NORMAL	1	1	INFINITO	0,006
<b>UREFERENTES A MEDIDA(LM)</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM -OBS; É	0,075	NORMAL	1	1	4	0,075
<b>DRIFT</b> (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DO APARELHO	0	RETANGU	1	0	0	0
<b>PRECISÃO</b> FORNECIDA PELO APARELHO (PICNOMETRO)-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRETO FORNECIDO PELO	0	NORMAL	1	0	0	0
<b>RESERVA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0		1	0	0	0
<b>UC</b> INCERTEZA PADRÃO COMBINADA	0,167					INCERTEZA X CO
<b>K</b> FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P\ FATOR DE ABRA	2,025					
<b>UP</b> INCERTEZA EXPANDIDA	0,338					INCERTEZA EXPA
<b>Veff</b> graus de liberdade						#####
<b>Veff</b> graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXER NA						16989
<b>RESULTADO (</b>	1,6025	±		0,267	) K=2,025	P=95,45

**MEDIDAS DE ESPESSURA - MODO PRE- E PÓS-CÂMARA CONTROLADO (ON)**

AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO

**ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS**

MÉDIA =	1,79752
NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES =	5
NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MÉDIA =	2
DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES =	0
DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA =	0

**ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM**

GRANDEZAS	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SENSIBILIDADE		RESULTADO
					GDL	
RESOLUÇÃO DO APARELHO X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,01	TRIANGULAR	1,73	1	INFINITO	0,01
PRECISÃO INTERMEDIÁRIA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1	1	INFINITO	0
REPETITIVIDADE DA AMOSTRA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0
REFERENTES AO MICROMETRO (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM: RETANGULAR	0,0057735	NORMAL	1	1	INFINITO	0,0057735
REFERENTES A MEDIDA(LM) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM -OBS; É DESVIO PADRÃO AMOSTRAL	0,07462	NORMAL	1	1	4	0,07462
DRIFT (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DO APARELHO	0	RETANGULAR	1	0	0	0
PRECISÃO FORNECIDA PELO APARELHO (PICNOMETRO)-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRETO FORNECIDO PELO FABRICANTE	0	NORMAL	1	0	0	0
RESERVA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0		1	0	0	0
INCERTEZA PADRÃO COMBINADA =	0,0755081			INCERTEZA X COEFICIENTE		0,0755081
K FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P\FATOR DE ABRANGENCIA=95,45%)-OBS	2,025					
INCERTEZA EXPANDIDA =	0,152904			INCERTEZA EXPANDIDA X		0,152904
Veff graus de liberdade						#VALOR!
Veff graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXER NA FORMULA E EXCLUIRE						9741,6546
<b>RESULTADO (</b>	1,79752	±		0,152904	) K=2,025	P=95,45

**MEDIDAS DE TRAÇÃO- MODO CONVENCIONAL**

AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO

**ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS**

MÉDIA = 697,16  
 NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES = 5  
 NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MEDIA = 2  
 DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES = 24,042  
 DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA = 10,752

**ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM**

GRANDEZAS	VALOR	DISRTIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SENSIBILIDADE (A DERIVADA)	GDL	RESULTADO
<b>RESOLUÇÃO DO APARELHO EMIC-DL2000</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE <u>IM</u>	0,01	TRIANG	1,73	1	INFINITO	0,01
<b>UPRECISÃO INTERMEDIÁRIA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	10,752	RORMA	1	1	INFINITO	10,75209747
<b>UREPETITIVIDADE DA AMOSTRA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	17,001	NORMA	1,73	1	INFINITO	9,826912609
<b>UREFERENTES AO EMIC</b> (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM:RETANG	0,0058	T-STUD	2,23	1	4	0,002589015
<b>UREFERENTES A MEDIDA DE TRAÇÃO (LT)</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM -OBS; É DESVI	0	T-STUD	2,23	1	INFINITO	0
<b>DRIFT</b> (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DA <b>BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	0	RETANG	3,46	1	INFINITO	0
<b>PRECISÃO</b> ( É O DESVIO PADRÃO)FORNECIDA PELO APARELHO ( <b>PICNOMETRO</b> )-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRETO FORNECID	0,0025	NORMA	1	1	INFINITO	0,0025
<b>DIVISÃO BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMA	1,73	1	INFINITO	0
<b>REPETIBILIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMA	1,73	1	INFINITO	0
<b>LINEARIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMA	1	0	INFINITO	0
<b>UC</b> INCERTEZA PADRÃO COMBINADA =	20,115				INCERTEZA X COEF	14,56625979
<b>K</b> FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P= FATOR DE ABRANGENCIA=95,45%)-	2,025					
<b>UP</b> INCERTEZA EXPANDIDA =	40,734				INCERTEZA EXPAN	29,49667608
<b>Veff</b> graus de liberdade						#VALOR!
<b>Veff</b> graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXER NA FORMULA E EXCLL						52438535258
<b>RESULTADO (</b>	697,16	±		29,5	) K=2,025 P=95,45	

**MEDIDAS DE TRAÇÃO- MODO PRE- E PÓS-CÂMARA CONTROLE DESLIGADO (OFF)**

**AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO**

**ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS**

MÉDIA =	636,62
NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES =	5
NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MÉDIA =	2
DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES =	97,440992
DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA =	43,576937

**ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM**

GRANDEZAS	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SENSIBILIDADE	GDL	RESULTADO
<b>RESOLUÇÃO DO APARELHO EMIC-DL2000</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,01	TRIANGULAR	1,73	1	INFINITO	0,01
<b>UPRECISÃO INTERMEDIÁRIA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	43,576937	NORMAL	1	1	INFINITO	43,57693656
<b>UREPETITIVIDADE DA AMOSTRA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	68,901186	NORMAL	1,73	1	INFINITO	39,82727543
<b>UREFERENTES AO EMIC (APARELHO UTILIZADO)</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM:RETANGULAR=RAIZ 3;TRIANGULAR=	0,0057735	T-STUDENT	2,23	1	4	0,002589015
<b>UREFERENTES A MEDIDA DE TRAÇÃO (LT)</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM -OBS; É DESVIO PADRÃO AMOSTRAL D	0	T-STUDENT	2,23	1	INFINITO	0
<b>DRIFT (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DA BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	0	RETANGULAR	3,46	1	INFINITO	0
<b>PRECISÃO ( É O DESVIO PADRÃO)FORNECIDA PELO APARELHO (PICNOMETRO)-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRETO FORNECIDO PELO FABRICANTE X C</b>	0,0025	NORMAL	1	1	INFINITO	0,0025
<b>DIVISÃO BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0
<b>REPETIBILIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0
<b>LINEARIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1	0	INFINITO	0
<b>UC INCERTEZA PADRÃO COMBINADA</b>	=	81,524984		INCERTEZA X COEFICIENTE		59,03525541
<b>K FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P\ FATOR DE ABRANGENCIA=95,45%)-OBS: DADO ENCONTR</b>		2,025				
<b>UP INCERTEZA EXPANDIDA</b>	=	165,08809		INCERTEZA EXPANDIDA X		119,5463922
<b>Veff graus de liberdade</b>						#VALOR!
<b>Veff graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXER NA FORMULA E EXCLUÍ-LA</b>						2,12527E+11
<b>RESULTADO (</b>	636,62	±		119,54639	) K=2,025	P=95,45

**MEDIDAS DE TRAÇÃO- MODO PRE- E PÓS-CÂMARA CONTROLE LIGADO (ON)**

**AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO**

**ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS**

	MÉDIA =	738,88
	NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES =	5
	NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MÉDIA =	2
	DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES =	49,771
	DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA =	22,2583

**ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM**

GRANDEZAS	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SENSIBILIDADE	GDL	RESULTADO
<b>RESOLUÇÃO DO APARELHO EMIC-DL2000</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,01	TRIANGUL	1,73	1	INFINITO	0,01
<b>UPRECISÃO INTERMEDIÁRIA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	22,2583	NORMAL	1	1	INFINITO	22,258266
<b>UREPETITIVIDADE DA AMOSTRA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	35,1934	NORMAL	1,73	1	INFINITO	20,343011
<b>UREFERENTES AO EMIC (APARELHO UTILIZADO)</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM:RETANG	0,00577	T-STUDEN	2,23	1	4	0,002589
<b>UREFERENTES A MEDIDA DE TRAÇÃO (LT)</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM -OBS; É DESVI	0	T-STUDEN	2,23	1	INFINITO	0
<b>DRIFT (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DA BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE I</b>	0	RETANGUI	3,46	1	INFINITO	0
<b>PRECISÃO ( É O DESVIO PADRÃO)FORNECIDA PELO APARELHO (PICNOMETRO)-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRETO FORNECID</b>	0,0025	NORMAL	1	1	INFINITO	0,0025
<b>DIVISÃO BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1,73	1		0
<b>REPETIBILIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0
<b>LINEARIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1	0	INFINITO	0
<b>UC INCERTEZA PADRÃO COMBINADA</b>	= 41,6414				INCERTEZA X CO	30,154081
<b>K FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P\ FATOR DE ABRANGENCIA=95,45%)-</b>	2,025					
<b>UP INCERTEZA EXPANDIDA</b>	= 84,3238				INCERTEZA EXPA	61,062014
<b>Veff graus de liberdade</b>						#VALOR!
<b>Veff graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXER NA FORMULA E EXCLU</b>						1,086E+11
<b>RESULTADO (</b>	738,88	±		61,06	) K=2,025	P=95,45

**MEDIDAS DE TENACIDADE - MODO CONVENCIONAL**

**AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS PADRÃO**

**ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS**

MÉDIA =	83,69
NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES =	10
NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MÉDIA =	2
DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES =	103,3
DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA =	46,2

**ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM**

GRANDEZAS	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SENSIBILIDADE	GDL	RESULTADO
<b>RESOLUÇÃO DO APARELHO EMIC-DL2000 X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	0,01	TRIANGUL	1,73	1	INFINITO	0,01
<b>PRECISÃO INTERMEDIÁRIA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	32,67	NORMAL	1	1	INFINITO	32,67
<b>REPETITIVIDADE DA AMOSTRA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	73,04	NORMAL	1,73	1	INFINITO	42,22
<b>REFERENTES AO EMIC (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	0,006	T-STUDEN	2,23	1	4	0,003
<b>REFERENTES A MEDIDA DE TRAÇÃO (LT) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	0	T-STUDEN	2,23	1	INFINITO	0
<b>DRIFT (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DA BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	0	RETANGUL	3,46	1	INFINITO	0
<b>PRECISÃO ( É O DESVIO PADRÃO)FORNECIDA PELO APARELHO (PICNOMETRO)-obs: COLOCAR O PICO NA BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	0,003	NORMAL	1	1	INFINITO	0,003
<b>REPETIBILIDADE BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	0	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0
<b>LINEARIDADE BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM</b>	0	NORMAL	1	0	INFINITO	0
<b>INCERTEZA PADRÃO COMBINADA</b>	80,02					INCERTEZA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE
<b>K FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P=95,4%)</b>	2,025					
<b>INCERTEZA EXPANDIDA</b>	162					INCERTEZA EXPANDIDA
<b>Veff graus de liberdade</b>						#####
<b>Veff graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUANTO A</b>						2E+11
<b>RESULTADO (</b>	83,68614	±		108	) K=2,025	P=95,4%

**MEDIDAS DE TENACIDADE - MODO PRE- E PÓS-CÂMARA CONTROLE DESLIGADO (OFF)**

AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO

**ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS**

MÉDIA	=	110,71
NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES	=	10
NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MÉDIA	=	2
DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES	=	179,01
DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA	=	80,055

**ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM**

GRANDEZAS	VALOR	DISTRIBUIÇÃO	DIVISOR	COEFICIENTE-SENSIBILIDADE	GDL	RESULTADO
<b>RESOLUÇÃO DO APARELHO EMIC-DL2000</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE <u>IM</u>	0,01	TRIANGULAR	1,73	1	INFINITO	0,01
<b>UPRECISÃO INTERMEDIÁRIA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	56,607	NORMAL	1	1	INFINITO	56,6074
<b>UREPETITIVIDADE DA AMOSTRA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	126,58	NORMAL	1,73	1	INFINITO	73,1665
<b>UREFERENTES AO EMIC</b> (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,0058	T-STUDENT	2,23	1	4	0,00259
<b>UREFERENTES A MEDIDA DE TRAÇÃO (LT)</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM -OBS	0	T-STUDENT	2,23	1	INFINITO	0
<b>DRIFT (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DA BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA</b>	0	RETANGULAR	3,46	1	INFINITO	0
<b>PRECISÃO ( É O DESVIO PADRÃO)FORNECIDA PELO APARELHO (PICNOMETRO)-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRETO</b>	0,0025	NORMAL	1	1	INFINITO	0,0025
<b>DIVISÃO BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1,73	1		0
<b>REPETIBILIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0
<b>LINEARIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1	0	INFINITO	0
<b>UC INCERTEZA PADRÃO COMBINADA</b>	138,66				INCERTEZA X COEFIC	92,508
<b>K FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P\ FATOR DE ABRANGEN</b>	2,025					
<b>UP INCERTEZA EXPANDIDA</b>	280,79				INCERTEZA EXPAND	187,329
<b>Veff</b> graus de liberdade						#VALOR!
<b>Veff</b> graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXER NA FOR						3,3E+11
<b>RESULTADO (</b>	110,70956	±		187,3	) K=2,025	P=95,45

**MEDIDAS DE TENACIDADE - MODO PRE- E PÓS-CÂMARA CONTROLE LIGADO (ON)**

AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS\_PADRÃO

**ENTRE COM OS DADOS ESTATÍSTICOS**

MÉDIA	=	43,64756
NÚMERO TOTAL DE MEDIÇÕES	=	10
NÚMERO DE REPETIÇÕES DA MEDIA	=	2
DESVIO PADRÃO PONDERADO DAS MEDIÇÕES	=	59,304837
DESVIO PADRÃO DAS REPETIÇÕES DA MÉDIA	=	26,521929

**ENTRE COM OS DADOS DAS FONTES IM**

GRANDEZAS	VALOR	DISRTIBUIÇÃ	DIVISOR	COEFICIENTE	GDL	RESULTADO
<b>RESOLUÇÃO</b> DO APARELHO <b>EMIC-DL2000</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE <u>IM</u>	0,01	TRIANGULAR	1,73	1	INFINITO	0,01
<b>UPRECISÃO</b> INTERMEDIÁRIA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	18,753836	NORMAL	1	1	INFINITO	18,75383616
<b>UREPETITIVIDADE</b> DA AMOSTRA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	41,934852	NORMAL	1,73	1	INFINITO	24,23979913
<b>UREFERENTES AO EMIC</b> (APARELHO UTILIZADO) X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0,0057735	T-STUDENT	2,23	1	4	0,002589015
<b>UREFERENTES A MEDIDA DE TRAÇÃO (LT)</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM -OB	0	T-STUDENT	2,23	1	INFINITO	0
<b>DRIFT</b> (INSTABILIDADE)- DADO NO CERTIFICADO DA <b>BALANÇA X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACAD</b>	0	RETANGULA	3,46	1	INFINITO	0
<b>PRECISÃO</b> ( É O DESVIO PADRÃO)FORNECIDA PELO APARELHO ( <b>PICNOMENTRO</b> )-obs: COLOCA-SE O VALOR DIRETO	0,0025	NORMAL	1	1	INFINITO	0,0025
<b>DIVISÃO BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1,73	1		0
<b>REPETIBILIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1,73	1	INFINITO	0
<b>LINEARIDADE BALANÇA</b> X COEFICIENTE DE SENSIBILIDADE REFERENTE ACADA FONTE DE IM	0	NORMAL	1	0	INFINITO	0
<b>UC</b> INCERTEZA PADRÃO COMBINADA	45,937331				INCERTEZA X COEFICIENTE	30,64758303
<b>K</b> FATOR DE DISTRIBUIÇÃO DA PROBABILIDADE NUMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL(FAÇA K=2, P\ FATOR DE ABRANGEN	2,025					
<b>UP</b> INCERTEZA EXPANDIDA	93,023095				INCERTEZA EXPANDIDA X	62,06135564
<b>Veff</b> graus de liberdade						#VALOR!
<b>Veff</b> graus de liberdade PARA O CASO DE ALGUMA COMPONENTE (INFINITO)ZERADA, TEREI QUE MEXER NA FOF						1,10331E+11
<b>RESULTADO</b> (	43,64756	±			62,061356 ) K=2,025	P=95,45

