



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**TIAGO VARELA CAMPELO SILVA**

**FERRAMENTAS LEAN E WCM APLICADAS A PROCESSO DE MANUFATURA  
DE PRODUTOS POLIMÉRICOS POR ROTOMOLDAGEM**

**Recife**

**2020**

**TIAGO VARELA CAMPELO SILVA**

**FERRAMENTAS LEAN E WCM APLICADAS A PROCESSO DE MANUFATURA  
DE PRODUTOS POLIMÉRICOS POR ROTOMOLDAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Edval Gonçalves de Araújo.

**Recife**

**2020**

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

S586f Silva, Tiago Varela Campelo  
Ferramentas Lean e WCM aplicadas a processo de manufatura de produtos poliméricos por rotomoldagem / Tiago Varela Campelo – Recife, 2020.  
66 f.: figs., siglas.

Orientador: Prof. Dr. Edval Gonçalves de Araújo.  
Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco.  
CTG. Departamento de Engenharia de Mecânica, 2020.  
Inclui referências.

1. Engenharia de Materiais. 2. WCM. 3. Engenharia de qualidade.  
4. Desdobramento de custos. 5. Rotomoldagem. I. Araújo, Edval Gonçalves de (Orientador). II. Título.

UFPE

620.11 CDD (22. ed.)

BCTG / 2021 - 142

**TIAGO VARELA CAMPELO SILVA**

**FERRAMENTAS LEAN E WCM APLICADAS A PROCESSO DE MANUFATURA  
DE PRODUTOS POLIMÉRICOS POR ROTOMOLDAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovada em: 18 / 11 / 2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Magda Rosângela Santos Vieira (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Maria Isabel Colassius Malta (Examinadora Externa)  
Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, aos meus familiares e amigos, sem os quais certamente o caminho até a conclusão desse trabalho teria sido muito mais difícil e penoso;

Aos colegas de trabalho que me permitiram executar as atividades com excelência;

À UFPE, pela oportunidade de ter chegado aqui, de ter disponibilizado o espaço necessário e os melhores profissionais de suas respectivas áreas;

À Professora Magda Vieira, que sempre se manteve ao meu lado nas horas difíceis;

Ao Professor Edval Araújo, sou muito grato por ter aberto meus horizontes, te ter me rerepresentado ao mundo da leitura e, por meio do exemplo, me cativar;

Ao Professor Tiago Felipe pelas várias oportunidades que me foram dadas para desenvolvimento ao longo do curso.

Aos meus pais (Maria Helena Varela e José Walfrido Campelo) que sempre deram suporte em cada momento difícil que se passou.

Por fim, gostaria de agradecer a minha querida noiva Nathália Felix Bomfim, por todo apoio e cobrança ao longo de toda a trajetória desse trabalho.

## RESUMO

A ferramenta WCM (World Class Manufacturing) consiste num modelo que reúne diversas técnicas de qualidade, que podem promover melhorias significativas a um processo. O presente trabalho teve como objetivo aplicar a cultura WCM e as ferramentas do pilar de custos no processo de rotomoldagem, visando redução de desdobramento de custos processuais. Foram introduzidas etapas de coletas de dados, criação de indicadores com foco na melhoria da gestão da operação de manufatura, bem como, identificação e resolução de problemas.

A partir da aplicação de ferramentas com DMAIC e PDCA, foram alcançados resultados positivos relativos à eficiência de processo, com redução de cerca de 57% do tempo de troca de molde, rapidez de processo e controle de qualidade com redução do refugo em cerca de 50% e redução de erros no processo.

Palavras-chave: WCM. Engenharia de qualidade. Desdobramento de custos. Rotomoldagem.

## **ABSTRACT**

The WCM (World Class Manufacturing) tool consists of a model that brings together several quality techniques, which can promote significant improvements to a process. The present work aimed to apply the WCM culture and the tools of the cost deployment pillar in the rotational molding process, aiming at reducing the unfolding of procedural costs. Data collect were introduced to the process, indicators were created with a focus on improving the management of the manufacturing operation, as well as identifying and solving problems. From the application of tools such as DMAIC and PDCA, positive results were achieved in terms of process efficiency, with a reduction of around 57% in the time for changing the mold, process speed and quality control with a reduction of scrap by around 50 % and reduction of errors in the process.

Keywords: WCM. Quality engineering. Cost deployment. Rotomoulding.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Desperdícios Lean Manufacturing.....  | 20 |
| Figura 2 - Ciclo PDCA.....   | 24 |
| Figura 3 - Ciclo DMAIC. ....   | 25 |
| Figura 4 - Pilares Técnicos.....   | 26 |
| Figura 5 - Passos do pilar técnico Desdobramento de Custos .....   | 28 |
| Figura 6 - Processo de montagem de cadernos.....   | 29 |
| Figura 7 - (a) polímero linear não ramificado e polímero linear com ramificações ....                              | 31 |
| Figura 8 - Produtos Rotomoldados.....  | 34 |
| Figura 9 - Molde de rotomoldagem .....   | 35 |
| Figura 10 - (a) Pelet;(b) Micronizado de Polietileno.....  | 36 |
| Figura 11 - Curva de temperatura ao longo do tempo .....   | 37 |
| Figura 12 - Etapas do processo de rotomoldagem para uma máquina tipo<br>carrossel .....                            | 38 |
| Figura 13 - Etapas do processo de rotomoldagem.....  | 39 |
| Figura 14 - Spider .....   | 40 |
| Figura 15 - Rotomoldadora Carrossel .....  | 41 |
| Figura 16 - Indicadores Rotomoldagem de refugo .....   | 45 |
| Figura 17 - Estratificação da troca de molde .....   | 46 |
| Figura 18 - Custos da seção .....  | 46 |
| Figura 19 - Processo de Rotomoldagem.....  | 49 |
| Figura 20 - Gráfico do Impacto x Esforço .....   | 51 |
| Figura 21 - Esquema de um molde de rotomoldagem.....   | 53 |
| Figura 22 - Controle do gás rotomoldagem .....   | 56 |
| Figura 23 - Tempo de troca de molde estratificado .....  | 57 |
| Figura 24 - (a)Travas e (b) Chave catraca .....  | 57 |
| Figura 25 - (a) Chave catraca manual, (b) Soquete 75mm, (c)Travas novas para<br>moldes e (d) Parafuso de aço ..... | 59 |
| Figura 26 - Estratificação do tempo de troca de molde em segundos .....  | 60 |
| Figura 27 - Melhoria no corte de vasos .....   | 61 |

## LISTA DE SIGLAS

|        |   |
|--------|---|
| JIT:   | <i>Just in time (na hora)</i>   |
| DMAIC: | <i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control ( Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar)</i> |
| WCM:   | <i>World Class Manufacturing (Manufatura de Classe Mundial)</i>                                     |
| PDCA:  | <i>Plan, Do, Check, Act (Planejar, Fazer, Checar e Agir)</i>  |
| QA:    | <i>Quality Assurance (Garantia da Qualidade)</i>  |
| ICE:   | <i>Improvement, Cost and Effort (Melhoria, Custo e Esforço)</i>                                     |
| CEO:   | <i>Chief Executive Officer (Chefe executivo)</i>  |
| PE     | <i>Polietileno</i>  |
| PVC    | <i>Policloreto de Vinil</i>   |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>12</b> |
| 1.1      | JUSTIFICATIVA .....   | 14        |
| 1.2      | OBJETIVOS .....   | 14        |
| 1.2.1    | Geral .....   | 14        |
| 1.2.2    | Específicos .....   | 15        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                | <b>16</b> |
| 2.1      | ENGENHARIA DA QUALIDADE .....                                     | 16        |
| 2.2      | LEAN MANUFACTURING .....  | 17        |
| 2.3      | JUST IN TIME (JIT) .....  | 18        |
| 2.3.1    | Jidoka .....  | 18        |
| 2.4      | OS PRINCÍPIOS DO MODELO LEAN .....                                | 19        |
| 2.5      | OS DESPERDÍCIOS DO MODELO LEAN .....                              | 19        |
| 2.5.1    | Superprodução .....   | 20        |
| 2.5.2    | Espera .....  | 20        |
| 2.5.3    | Transporte .....  | 21        |
| 2.5.4    | Processos desnecessários .....                                    | 21        |
| 2.5.5    | Movimentos desnecessários .....                                   | 21        |
| 2.5.6    | Defeitos e retrabalhos .....                                      | 21        |
| 2.5.7    | Estoques .....  | 22        |
| 2.5.8    | Desperdício intelectual .....                                     | 22        |
| 2.6      | FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS AO LEAN<br>MANUFACTURING ..... | 22        |
| 2.6.1    | Kaizen .....  | 22        |
| 2.6.2    | I.C.E .....   | 22        |
| 2.6.3    | Poka Yoke .....   | 23        |
| 2.6.4    | Takt time e Lead Time .....                                       | 23        |
| 2.6.5    | Ciclo PDCA .....  | 24        |
| 2.6.6    | Ciclo DMAIC .....   | 24        |
| 2.7      | WORLD CLASS MANUFACTURING (WCM) .....                             | 25        |
| 2.8      | PILARES TÉCNICOS .....  | 26        |
| 2.9      | POLÍMEROS .....   | 30        |
| 2.9.1    | Classificação dos polímeros .....                                 | 30        |

|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| 2.9.2          | Plásticos .....  | 32        |
| <b>2.9.2.1</b> | <b>Polietileno .....</b>   | <b>32</b> |
| 2.9.3          | Granulometria para aplicações na indústria dos polímeros.....    | 32        |
| 2.10           | ROTOMOLDAGEM .....   | 33        |
| 2.10.1         | Vantagens e desvantagens .....                                   | 34        |
| 2.10.2         | Etapas do processo de rotomoldagem .....                         | 34        |
| <b>3</b>       | <b>METODOLOGIA .....</b>   | <b>42</b> |
| 3.1            | ESCOLHA DA ÁREA MODELO .....                                     | 42        |
| 3.2            | APLICAÇÃO DOS FUNDAMENTOS DO PILAR DESDOBRAMENTO DE CUSTOS ..... | 42        |
| 3.2.1          | Coleta de dados .....  | 42        |
| <b>3.2.1.1</b> | <b>Controle do nível de gás .....</b>                            | <b>43</b> |
| <b>3.2.1.2</b> | <b>Refugo rotomoldagem .....</b>                                 | <b>43</b> |
| <b>3.2.1.3</b> | <b>Tempo de troca de molde .....</b>                             | <b>43</b> |
| <b>3.2.1.4</b> | <b>Retrabalho.....</b>   | <b>43</b> |
| <b>3.2.1.5</b> | <b>Paradas por falta de gás .....</b>                            | <b>43</b> |
| 3.3            | IMPLEMENTAÇÃO DE INDICADORES .....                               | 44        |
| 3.4            | PILAR DE DESDOBRAMENTO DE CUSTOS.....                            | 46        |
| 3.4.1          | Estudo das condições atuais em relação aos custos.....           | 47        |
| 3.4.2          | Identificar macro perdas de forma quantitativa .....             | 47        |
| <b>3.4.2.1</b> | <b>Índice de refugo.....</b>                                     | <b>47</b> |
| <b>3.4.2.2</b> | <b>O Setup de troca de molde e abertura .....</b>                | <b>47</b> |
| <b>3.4.2.3</b> | <b>Retrabalho dos vasos .....</b>                                | <b>48</b> |
| <b>3.4.2.4</b> | <b>Paradas por falta de gás .....</b>                            | <b>48</b> |
| 3.4.3          | Relacionar as perdas causais e resultantes .....                 | 48        |
| <b>3.4.3.1</b> | <b>Impacto e esforço (Improvement Effort).....</b>               | <b>49</b> |
| 3.4.4          | Traduzir as perdas e desperdícios em termos de custos .....      | 51        |
| <b>3.4.4.1</b> | <b>Refugo rotomoldagem .....</b>                                 | <b>51</b> |
| <b>3.4.4.2</b> | <b>Trocas de molde.....</b>                                      | <b>51</b> |
| <b>3.4.4.3</b> | <b>Retrabalho de peças de geometria circular.....</b>            | <b>52</b> |
| <b>3.4.4.4</b> | <b>Paradas por falta de gás .....</b>                            | <b>52</b> |
| 3.4.5          | Identificar métodos para recuperar perdas e desperdícios .....   | 52        |
| <b>3.4.5.1</b> | <b>Ciclo PDCA .....</b>  | <b>52</b> |
| <b>4</b>       | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                              | <b>53</b> |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.1      | QUEBRAS NOS MOLDES DA MESA E DA POLTRONA.....   | 53        |
| 4.2      | CONTROLE DOS NÍVEIS DE GÁS.....                 | 55        |
| 4.3      | CHAVE CATRACA.....                              | 56        |
| 4.4      | RETRABALHO DAS PEÇAS DE GEOMETRIA CIRCULAR..... | 60        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES.....</b>                          | <b>62</b> |
| <b>6</b> | <b>TRABALHO FUTUROS.....</b>                    | <b>63</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                         | <b>64</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Com o advento da globalização, tanto o setor produtivo industrial quanto a disponibilização de produtos no mercado vêm se tornando desafios integrados ao contexto mundial, principalmente no que se refere à concorrência de mercado interno e externo. O avanço tecnológico tem sido um grande facilitador no acesso à informação e também ao contato com novos produtos.

Nesse novo cenário mercadológico, o Brasil e países de todo o mundo têm se deparado com a demanda de reduzir custos de processo e aumentar a qualidade dos seus produtos e serviços, de modo a fornecer condições competitivas para seus clientes. Para isso, tem sido cada vez mais requisitado a inserção de sistemas de qualidade, que garantam melhoria contínua no processo e, conseqüentemente, forneçam produtos diferenciados ao mercado. Um exemplo disso consiste na crescente implementação de sistemas e modelos japoneses, tal como o modelo Toyota de produção.

O Modelo Toyota, apesar de não ter sido ainda completamente assimilado no Brasil e em outros países do ocidente, consiste na eliminação dos desperdícios, por meio de produção puxada, o que garante que o produto só será produzido quando faturado. Contudo, esse formato só é possível caso haja a integração, aceitação e modificação cultural, desde o operador ao CEO da empresa, propiciando, assim, a organização e participação de todos dentro da empresa, com foco na melhoria contínua do processo.

A implementação do modelo Toyota nas indústrias (após a Segunda Guerra) e da reestruturação da economia japonesa, representou os primeiros sinais de uma nova era da produção industrial.

Os japoneses, dotados de uma cultura muito forte em termos de disciplina, rapidamente conseguiram consolidar o modelo Toyota no Japão. Os efeitos e impactos causados por esse modelo só passaram a ser detectados pelo resto do mundo após a década de 60, quando os carros da Toyota superavam os carros americanos em qualidade e com preços mais competitivos.

O principal motivo que levou ao sucesso e aceitação mundial do modelo Toyota de produção é baseado no que atualmente é conhecido como *Lean Manufacturing*, ou modelo Lean, que tem como suas principais metas: qualidade, produtividade e baixo custo. (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2007).

Com essa nova realidade, o modelo Fordista americano teve que sofrer severas modificações, voltadas à melhoria contínua do processo. A cultura americana não possuía a política de disciplina nem de participação dos operários na sugestão de ideias e inovações para a fábrica como um todo. Nesse sentido, foram demandadas adaptações do modelo de produção Toyota relacionadas às necessidades e carências do ocidente, surgindo, no final do século XX, o WCM (*World Class Manufacturing*). Com a proposta de reunir as melhores técnicas aplicadas à indústria automobilística, fundamentada nos pilares de segurança, redução de custo, melhoria focada e manutenção autônoma (MIRANDA, 2018).

A aplicabilidade do WCM vai além da indústria automobilística, ele é um modelo de abrangência mundial e sua metodologia pode ser aplicada a qualquer manufatura, entre elas a cadeia petroquímica que é um setor muito forte no Brasil.

A chamada Cadeia Petroquímica, que está compreendida desde os produtos derivados do petróleo até produtos acabados de plásticos, pode ser sub dividida em três segmentos principais, empresas de primeira geração, produtoras de matéria-prima; empresas de segunda geração, destinadas à produção de resinas, que são produtos intermediários e materiais para transformação; e empresas de terceira geração, que por meio de processos industriais como rotomoldagem, injeção convertem resinas. (CERQUEIRA e HEMAIS, 2001).

A indústria de rotomoldados plásticos iniciou-se em na década de 1940, com uso de policloreto de vinila popularmente conhecido como PVC, seguido pelo uso do Polietileno também conhecido como PE e vem dominando o mercado desde então. A rotomoldagem é um processo que combina a movimentação de um molde, com a temperatura fornecida por um forno, permitindo que camadas de material fundido sejam formadas na superfície interna do molde (WHITE, 1992).

A rotomoldagem de polímeros é utilizada na obtenção de utensílios domésticos como cadeiras, bancos, espreguiçadeiras, estantes, dentre outros. Esse foi o setor escolhido da empresa para aplicação das ferramentas de qualidade, visando o melhoramento contínuo do processo. Apesar da rotomoldagem corresponder a um processo relativamente novo na empresa do estudo em questão, acredita-se que é viável a inserção de ferramentas do WCM, visando otimização do processo, tomando como base os procedimentos de coleta de dados, geração de indicadores e apresentação de ações sistematizadas para resolução de problemas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil começou a se industrializar recentemente comparado ao restante do mundo. Esse processo se deu no início da década de 1930, na Era Vargas. Desde lá, altos e baixos são percebidos; no entanto, o Brasil ainda mantém-se distante das potências industriais.

Um exemplo claro de que esse quadro pode ser revertido, foi vivenciado pelo Japão, que mesmo depois de ter sido devastado por uma guerra, conseguiu se reerguer, alcançando a excelência no mercado mundial, firmado na construção do modelo Toyota.

O WCM é a adaptação da cultura Toyota ao estilo de trabalho do ocidente, sendo concretizado na FIAT, no ano de 2008. Nesse período, a Fiat encontrava-se, à beira da falência e a implementação do WCM foi um sucesso, trazendo a empresa de volta ao mercado em termos de competitividade. A efetividade do modelo WCM na FIAT foi tão notória que a difusão da ferramenta para outros setores foi crescente e contínuo, fazendo com que haja grande interesse de implantar essa metodologia e filosofia nos diversos campos da indústria nacional (DINIZ; MOREIRA; SANTOS, 2018).

Sabe-se que esse modelo tem um grande potencial de sucesso, por ser uma ferramenta que busca o desenvolvimento contínuo. Contudo, sua implantação deve ser introduzida e levada com bastante seriedade, pois é requerido muito esforço para a mudança de cultura e hábitos nas empresas, que ocasionam redução de custos, aumento da produtividade, qualidade do processo e aumento na lucratividade.

## 1.2 OBJETIVOS

Essa seção foi dividida em objetivo geral e específicos.

### 1.2.1 Geral

Aplicar conhecimentos aprendidos no pilar de desdobramento de custos do WCM, visando a redução de custos no setor produtivo de rotomoldagem na empresa.

### 1.2.2 Específicos

- Identificar e levantar as causas;
- Coletar dados do processo;
- Elaborar planilhas;
- Identificar os gargalos;
- Elaborar planilhas para coleta de dados no processo de rotomoldagem;
- Analisar os dados coletados para as tomadas de decisão;
- Aplicar ferramenta ICE (*Improvement Cost Effort*) para definição de prioridades para plano de ações;
- Aplicar PDCA e DMAIC no processo para geração de melhoria contínua;
- Avaliar o desempenho das ferramentas aplicadas, por meio da análise de redução de custos e melhoria de produtividade e
- Aumentar disponibilidade da máquina de rotomoldagem
- Reduzir custos do processo de rotomoldagem;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção foi dada em engenharia da qualidade, Lean manufacturing, Just in time, princípios do modelo Lean, os desperdícios do modelo Lean, World Class Manufacturing, pilares técnicos, polímeros, rotomoldagem.

### 2.1 ENGENHARIA DA QUALIDADE

A engenharia da qualidade corresponde a um conjunto de técnicas e procedimentos que visam estabelecer critérios previamente estabelecidos e medidas da qualidade de um produto, evitando que produtos ou serviços abaixo do padrão estipulado cheguem ao mercado. Além disso, é função da engenharia de qualidade acompanhar o processo de produção, identificar, propor e aplicar ações que permitam eliminar as não conformidades observadas (DEMING, 1982).

Deming (1900-1993) é certamente a pessoa que mais ajudou o Japão a ter sua revolução de qualidade. Ele era físico e estatístico e, durante a Segunda Guerra Mundial, prestou consultoria às empresas norte-americanas na implantação de sistemas de controle da qualidade. Sua definição de qualidade era: “Satisfazer o cliente não é apenas atender as suas expectativas, mas sim excedê-las”. Isso quer dizer que o foco não é o que o consumidor demanda, mas nas suas reais necessidades (GHOBADIAN; SPELLER, 1994).

De acordo com Deming a responsabilidade de mudança e liderança está majoritariamente ligada à gestão, uma vez que esta é responsável pela maioria dos problemas de qualidade (85 a 94%). A gestão deve deixar claro para os operários qual é o padrão de aceitação e fornecer as ferramentas para atingir este padrão. Essas ferramentas apropriadas também incluem climatização, trabalho livre de medo e censura, além do estímulo a participação dos empregados.

O nome de Deming está associado a muitas outras técnicas de melhoria de processos e redução de variações que são originárias de “causas comuns” e “causas especiais”.

“Causas comuns” são variações sistêmicas que são compartilhadas entre os operadores, máquinas e produtos. Isso inclui produtos de design pobre, materiais que não se adequam à função, péssimas condições de trabalho e são responsabilidades

da gerência. As “causas especiais”, por sua vez, estão relacionadas à falta de conhecimento ou de habilidade e são responsabilidades dos operários.

Deming por também afirmava que "o consumidor é a peça mais importante de uma linha de produção", pois o consumidor é quem tem a palavra final da qualidade, ou seja, se o produto em questão atende as necessidades do mesmo ou não.

## 2.2 LEAN MANUFACTURING

O Lean Manufacturing surgiu no Japão, na Toyota Motors Corporation, após Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de tornar a companhia mundialmente competitiva. O sistema Lean Manufacturing foi estruturado em 1955 pelo vice-presidente da Toyota, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, com a principal ideia desse sistema foi a eliminação de desperdícios. (WOMACK; JONES, 2004).

Tudo teve início com Henry Ford que, a partir de seu sistema de produção em massa, desenvolveu várias ferramentas e práticas de linha de produção que permitiram os produtos serem produzidos com alta velocidade e baixo custo. Entretanto, o sistema não era muito flexível e o modelo T da Ford, ficou inalterado por praticamente por 19 anos.

Após a segunda guerra mundial, a história viria mudar o rumo do sistema de produção no Japão. Kiichiro Toyota, membro da família fundadora da Toyota, foi visitar a fábrica da Ford logo após a Segunda Guerra, essencialmente ele criou um novo formato de processo produtivo enxuto, com layout otimizado, implementando ferramentas que garantissem a qualidade e redução de custos por meio de sistema de produção puxada. Essas mudanças permitiram a Toyota ser mais flexível, possibilitando fazer lotes menores sem prejuízo, numa época na qual o Japão encontrava-se em crise econômica (DUQUE; CADAVID, 2007).

O conceito *Lean* disseminou-se pelo mundo depois de ganhar notoriedade após a crise do petróleo em 1973. Essa crise, marcada pela recessão, afetou governos e empresas em todo o mundo, inclusive o Japão. No entanto a Toyota Motor Company possuía ganhos maiores que outras empresas, mesmo com a diminuição dos lucros. Isso chamou a atenção dos concorrentes e empresas de outros setores para o modelo, que é apoiado em dois pilares de sustentação: *Just In Time* e *Jidoka*, que serão detalhados nos tópicos a seguir (OHNO, 1997).

## 2.3 JUST IN TIME (JIT)

Just in time é uma metodologia que aborda a melhoria da produtividade e a eliminação de desperdícios. Acarretando alta eficiência de produção e de entrega do produto na quantidade necessária, com alta qualidade, no tempo certo e no lugar certo, usando a menor quantidade de equipamentos, materiais e recursos humanos. JIT é dependente do balanço entre a flexibilidade do fornecedor e a flexibilidade do usuário (GAITHER;FRAZIER,2002).

Onde seu principal objetivo é produzir bens e serviços exatamente no momento em que são necessários, com alta qualidade e sem desperdícios. Ou seja, é uma estratégia para atingir a produção com o mínimo de estoques (GHINATO,1995).

O *JIT* busca identificar, localizar e eliminar os desperdícios relacionados a atividades que não agreguem valor, reduzindo ao máximo os estoques e garantindo um fluxo contínuo de produção (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON,2002).

### 2.3.1 Jidoka

A etimologia da palavra *Jidoka* baseia-se nos caracteres japoneses: *ji-* referente a trabalhadores, que tem o poder de parar a linha se acharem que algo não está bem no processo ou que algum defeito está ocorrendo; e o *ka-* que é o sufixo de ação (LIKER, 2005).

O conceito de Jidoka foi aprimorado por Shigeo Shingo. Enquanto o JIT está mais vinculado ao aspecto quantitativo com o objetivo de manter um fluxo contínuo das atividades em processo, o Jidoka, tem como objetivo parar o fluxo quando ocorrer qualquer anomalia no processo. Estando, portanto, mais relacionado aos aspectos qualitativos do sistema (OHNO, 1997).

O Jidoka tem o papel de corrigir as condições anormais e investigar as causas raízes dos problemas. Para isso quatro passos são importantes para funcionamento do mesmo:

- I. Detectar a falha ou anormalidade;
- II. Parar;
- III. Corrigir ou consertar imediatamente a condição anormal;

- IV. Investigar a causa raiz e estabelecer ações efetivas para que o problema não ocorra mais.

Os passos 1 e 2 podem ser automatizados, já os passos 3 e 4 requerem a participação e domínio das pessoas envolvidas, de modo definir um diagnóstico por meio de análise e aplicar ferramentas que possibilitem resolver o problema. A seguir serão apresentadas algumas ferramentas e terminologias comumente utilizadas na produção enxuta.

## 2.4 OS PRINCÍPIOS DO MODELO LEAN

Os princípios do pensamento *Lean* focam na eliminação das atividades que não agregam valor e estimulam as ações que adicionam valor ao processo, de modo que o mesmo ocorra em um fluxo contínuo e puxado pelos clientes, evitando desperdícios e propiciando a otimização do processo, por meio de ações que valorizam a busca contínua pela perfeição (WOMACK; JONES, 2003).

## 2.5 OS DESPERDÍCIOS DO MODELO LEAN

O Modelo *Lean* de produção visa reduzir desperdícios, mas quais seriam os principais desperdícios? Na Figura 1 estão ilustrados os oito tipos básicos de desperdícios para o Lean Manufacturing os quais são descritos a seguir:

Figura 1 - Desperdícios Lean Manufacturing



Fonte:(Romi, 2020)

### 2.5.1 Superprodução

Um dos piores desperdícios, podendo ser a fonte geradora de qualquer um dos demais desperdícios, é o excesso de produção, que pode gerar material estocado ou em espera, além de acarretar movimentações desnecessárias devido à obstrução da linha. (GUIMARÃES,2018).

### 2.5.2 Espera

Sua ocorrência é devido a material ou produto em espera ao longo do processo produtivo e é característico de linhas de produção empurrada, ou seja, produz antes de faturar, acarretando vários estoques intermediários ou devido ao desbalanceamento de linhas deixando vários produtos em espera (GUIMARÃES,2018).

### 2.5.3 Transporte

É ligada às perdas por movimentação de mercadorias ao longo do processo, desde o recebimento até a expedição, que geram custos e não agregam valor ao produto, ocorre principalmente devido à movimentação não programada ou desnecessária, ou até mesmo inadequação do layout fabril. Isto pode ser combatido realizando o mínimo de movimentação possível de material, com a máxima capacidade, melhorar o layout e automatizar a produção (GUIMARÃES,2018).

### 2.5.4 Processos desnecessários

Esse desperdício ocorre quando são realizadas ações desnecessárias para que o produto atinja as especificações do projeto, ocorre quando as máquinas ou os equipamentos estão mal dimensionados, ocasionando operações adicionais e desnecessárias durante a produção (GUIMARÃES,2018).

### 2.5.5 Movimentos desnecessários

Esta perda está relacionada a movimentação desnecessária das pessoas desde um operador que precisa se movimentar para pegar o produto em uma máquina devido a não existência de um robô ou de uma esteira, por exemplo. Por ser uma atividade que não agrega valor ao produto deve-se ser realizada o mínimo possível (GUIMARÃES,2018).

### 2.5.6 Defeitos e retrabalhos

Produtos defeituosos são produtos que não atendem aos padrões de qualidade, geralmente gerados por baixa confiabilidade do equipamentos, pouca qualificação dos operadores na realização de inspeções de processos e produtos, alta variabilidade de processos e de matérias-primas. Podendo ser controlado por controle estatístico de qualidade, Poka Yokes, mantendo o operador sempre atualizado, realizando inspeções e ensaios de matérias-primas (GUIMARÃES,2018).

### 2.5.7 Estoques

Desperdícios por geração de estoques representam custo elevado, grandes áreas ocupadas e grandes distâncias entre processos. Ocorre devido a um desequilíbrio entre a produção e a demanda. Esse problema deve ser combatido com o melhoramento do layout e produção de lotes de tamanhos adequados (GUIMARÃES,2018).

### 2.5.8 Desperdício intelectual

Alocar as pessoas certas para os locais certos e não permitir o desperdício de capital intelectual, treinar os funcionários e motivá-los a utilizar a gestão por competência (GUIMARÃES,2018).

## 2.6 FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS AO LEAN MANUFACTURING

Nesta seção será abordado as diversas ferramentas da qualidade aplicadas ao lean manufacturing a saber: Kaizen, I.C.E., Poka-Yoke, Takt time e Lead Time.

### 2.6.1 Kaizen

Os objetivos do *Lean* são muitas vezes considerados utópicos devido a sua definição de ter uma demanda instantânea, com qualidade perfeita e zero percentual de perdas. Essa visão é associada ao fato de que a grande maioria das operações e processos está distante desse tipo de desempenho.

No entanto, um dos fundamentos do modelo *Lean* é se aproximar dessa condição ideal de forma sistemática e de maneira contínua (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON,2007).

### 2.6.2 I.C.E

Trata-se de uma ferramenta prática que envolve três elementos básicos para a tomada de decisão: I (Improvement ou melhoria), C (Cost ou Custo) e E (Effort ou

Esforço), permitindo uma melhor visualização de como estão distribuídas, dentro de um diagrama, as tarefas ou melhorias, sendo uma ferramenta chave para tomada de decisão, pois permite um senso de priorização dos projetos e melhorias (DINIZ, MOREIRA e SANTOS, 2018).

### 2.6.3 Poka Yoke

Criado por um engenheiro industrial da Toyota, Shigeo Shingo, o conceito de zero defeitos e a técnica poka-yoke que significa à prova de erros, tem como objetivo a remoção das causas dos defeitos, por exemplo: em máquinas de corte apresenta-se uma proteção para caso exista uma quebra da lâmina ou uma falha catastrófica no material; em prensas hidráulicas existem dispositivos que exigem que operador utilize as duas mãos para a máquina funcionar, impossibilitando que ele coloque a mão dentro da máquina ou se submeta a condições de perigo (FISHER,1999).

### 2.6.4 Takt time e Lead Time

Takt time é um termo que vem do alemão e significa ritmo. Pode ser definido como o tempo em que se deve produzir uma peça ou produto, baseado no ritmo de vendas, para atender a demanda dos clientes.

Sabe-se que um ritmo de produção mais rápido cria estoque, enquanto que um ritmo mais lento cria a necessidade de aceleração do processo, gerando perdas. O takt time é usado para sincronizar o ritmo de produção com o ritmo de vendas, por isso deve-se atuar na mesma velocidade de vendas e quanto mais reduzidas forem as perdas, mais efetiva será a produção, fazendo uso de menos recursos (ROTHER; SHOOK, 1998).

Outro termo importante é o Lead Time, que corresponde ao tempo total do processo de compra. Ele vai desde a solicitação feita pelo cliente até a entrega do produto. Esse tempo tem relação ao processo produtivo e ao sistema de qualidade adotado, pois variações e anomalias processuais podem retardar toda a etapa de aquisição do produto ou serviço (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON,2007).

### 2.6.5 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA é uma ferramenta de gestão que tem como objetivo promover a melhoria contínua dos processos por meio de um circuito de quatro ações: planejar (*plan*), fazer (*do*), checar (*check*) e agir (*act*), conforme ilustrado na Figura 2.

O ciclo é iniciado pela etapa “*PLAN*” que envolve o exame do método utilizado, coleta e análise de dados para formulação de um plano de ação que tem como intenção melhorar o desempenho do processo. Uma vez que o plano desenvolvido seja consensual, segue-se para a próxima etapa a “*DO*”. Esse é o estágio da execução de testes, no qual o plano será avaliado em operação, talvez sendo necessário minicírculos PDCA para resolver eventuais problemas não mensurados. A próxima etapa é o “*CHECK*”, nela é avaliada a implementação das novas soluções e se seus resultados atendem às expectativas. Finalmente, a última etapa do ciclo é o “*ACT*”, durante essa etapa, será padronizado e consolidado tudo que foi positivo durante o processo implantação da melhoria (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON,2007).

Figura 2 - Ciclo PDCA



Fonte: (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON,2007)

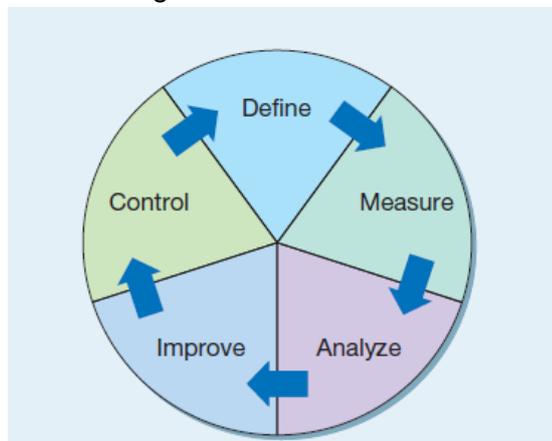
### 2.6.6 Ciclo DMAIC

Em alguns casos esse ciclo é mais intuitivo do que o ciclo PDCA, tendo em vista seu caráter mais experimental. O ciclo DMAIC como pode ser visualizado na Figura 3. Inicia-se definindo o problema (*Define*), o escopo, as metas e o time. Depois da definição vem a etapa de medição (*Measurement*), nesse momento, geralmente é importante a utilização do Seis Sigma, que enfatiza a importância do trabalho em evidências ao invés de opiniões. Esse estágio envolve o questionamento se o

problema realmente vale a pena ser resolvido, por meio de uso de informações sobre o problema, e quão relevante é o mesmo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007).

Uma vez que as etapas anteriores sejam concluídas, pode-se ir para a etapa de análise (Analysis), algumas vezes vista como a etapa que permite a oportunidade de desenvolver hipóteses visando descobrir a causa raiz do problema e o início do trabalho para a melhoria do processo. As ideias desenvolvidas para resolver o problema, tornam-se soluções que serão testadas; e as que funcionarem, serão implementadas, formalizadas e seus resultados mensurados. O processo, uma vez melhorado, precisa ser continuamente monitorado e controlado para que os níveis de desempenho se mantenham (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007).

Figura 3 – Ciclo DMAIC.



Fonte: (DOX, 2020)

## 2.7 WORLD CLASS MANUFACTURING (WCM)

O World Class Manufacturing (WCM) corresponde a um conjunto de conceitos e de técnicas para a gestão dos processos operativos de uma empresa, com seu primeiro registro do termo feito por Richard Schonberger em 1986 (SCHONBERGER, 1986).

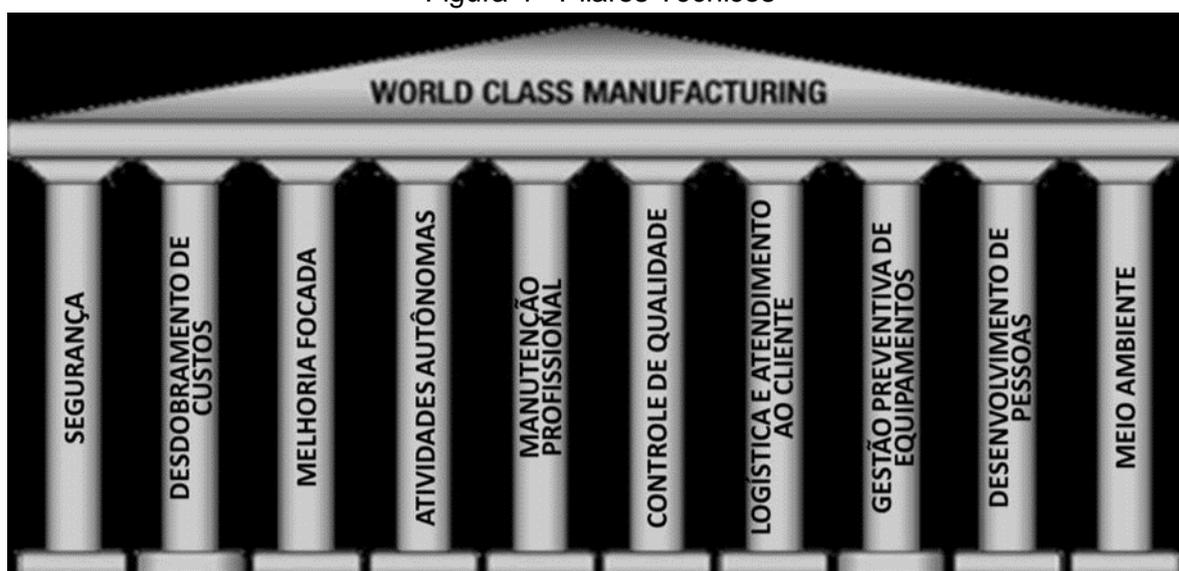
O WCM é um sistema de gestão integrado, voltado à redução de custos e visa otimizar a Logística, a Qualidade, a Manutenção e a Produtividade para níveis de classe mundial, através de um conjunto estruturado de métodos e ferramentas (SILVA, 2018).

Esse sistema baseia-se em três ações: no combate sistemático a cada desperdício e perda existentes em toda a cadeia produtiva (desde os fornecedores

até os clientes); no envolvimento das pessoas e desenvolvimento de suas competências; por fim, na utilização rigorosa de métodos e ferramentas apropriados para reduzir as ineficiências do processo. (MIRANDA, 2018).

A Figura 4 são apresentados os pilares técnicos do WCM, demonstrando a robustez do sistema proposto. O WCM está baseado em 10 pilares técnicos, os quais de forma associada, são o sucesso do modelo.

Figura 4 - Pilares Técnicos



Fonte: (MENDES, 2017).

## 2.8 PILARES TÉCNICOS

Os pilares técnicos dessa metodologia envolvem (FARIA, VIEIRA, e PERETTI, 2012):

- a) Segurança: melhoria do ambiente de trabalho, eliminação de condições de acidentes e minimização o risco;
- b) Desdobramento de Custos: identificar e combater as causas de perdas e desperdícios no sistema produtivo e logístico;
- c) Atividades Autônomas: melhorar o clima de trabalho e facilitar as atividades, eliminando perdas e aumentando a produtividade;
- d) Logística e atendimento ao cliente: produzir um fluxo eficiente, alinhar as variáveis envolvidas no processo e reduzir o estoque e a possibilidade de danos aos produtos;

e) Meio Ambiente: usar corretamente os recursos naturais e materiais disponíveis na fábrica;

f) Melhoria Focada: atacar as perdas mais importantes do sistema produtivo, aplicar técnicas, instrumentos e métodos específicos para solucionar problemas de grande dificuldade em relação à complexidade das causas;

g) Manutenção Profissional: reduzir avarias, aumentar eficiência das máquinas, reduzir custo de manutenção;

h) Gestão Preventiva de Equipamentos: ter equipamentos confiáveis, de fácil manutenção, além da diminuição do seu custo;

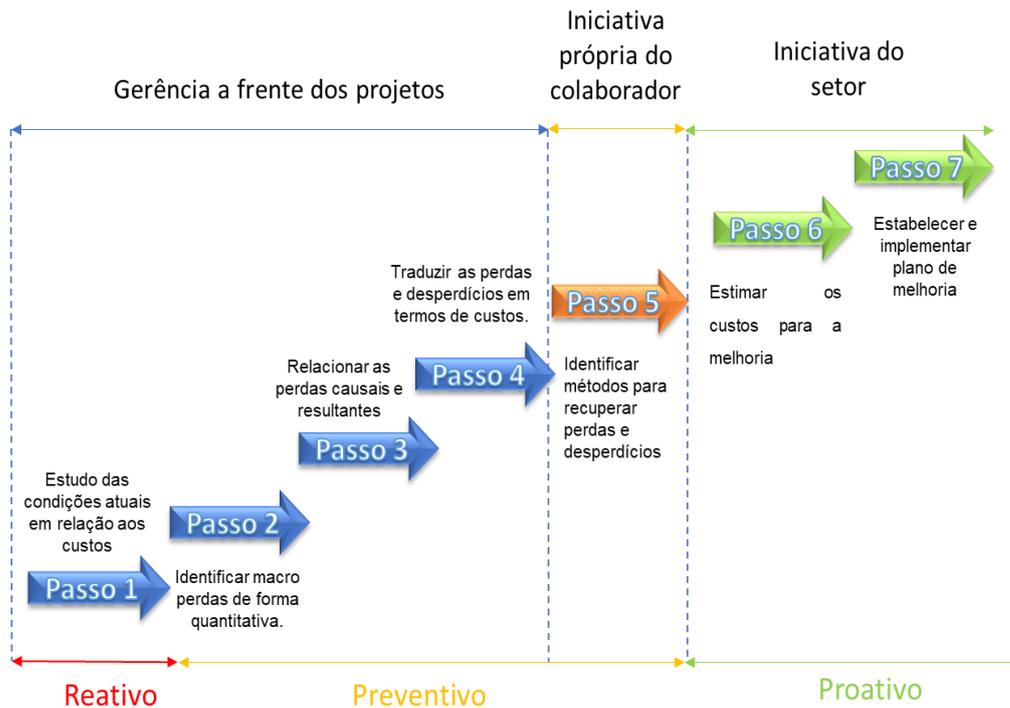
i) Desenvolvimento de Pessoas: trata-se da essência do sucesso do Programa WCM, e

j) Controle de qualidade: assegurar produtos que garantem a máxima satisfação dos clientes.

Dentro de um pilar, são estabelecidas 7 passos, ou seja, passos que um pilar WCM deve passar para que seu desdobramento se efetue com sucesso, estas fases são sequenciais e estão agrupadas em passos, como apresentado na Figura 5.

Um dos objetivos da implementação de um pilar é reforçar a manufatura de forma a realizar uma abordagem em sete passos, tornando os problemas de processo de etapas reativas em etapas preventivas e pró-ativas, focando em tornar o processo mais robusto. A replicação das soluções técnicas desenvolvidas na área piloto acontece independente da expansão das fases do WCM (RIBEIRO, 2014).

Figura 5 – Passos do pilar técnico Desdobramento de Custos



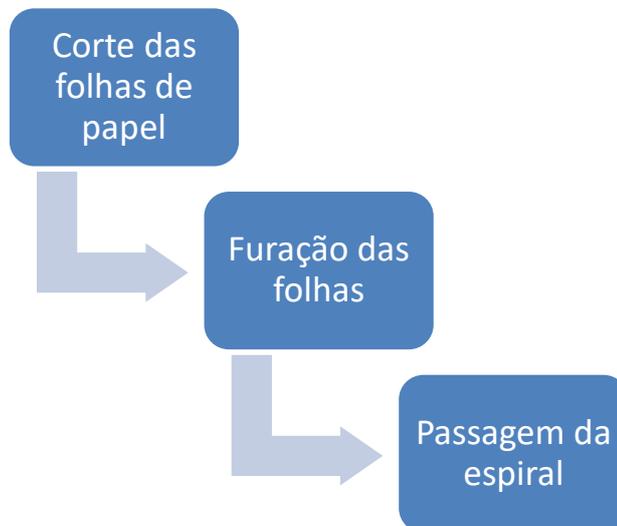
Fonte: (RIBEIRO, 2014)

- O primeiro passo tem como ênfase, o estudo e o levantamento de indicadores para melhor entender o processo e suas perdas e talvez seja a mais importante.
- O segundo passo dois existem, a princípio, três tipos de macro perdas, são essas: máquina, mão de obra e materiais. Nessa etapa deve-se, baseado em dados mensurados na etapa um, localizar em qual das categorias de macro perdas, aquelas onde estão nosso maiores custos, os casos mais comuns de macro perdas são: Quebra, setup, troca de ferramenta, início e fim de ciclo, micro paradas, lentidão, retrabalhos, erros de gestão, desbalanceamento, transporte, refugo, retrabalho, reposição e energia.
- O terceiro passo consiste em relacionar as perdas causais e resultantes, as perdas causais são definidas como aquelas que geram outras perdas e perdas resultantes são consequentes das perdas causais, como pode-se ver a Figura 6 ela ilustra um exemplo da relação das perdas causais e perdas resultantes.

Supondo um processo de montagem com 3 funções bem distintas: A, B e C, supondo um processo de montagem de caderno em espiral, tem-se no processo A, tem-se o corte das folhas de papel; no processo B, ocorre a furação das folhas e no processo C, é feito a passagem da espiral.

Partindo das condições anteriores, supõe-se que o processo A esteja com a perda causal “corte desalinhado” necessitando de uma parada para alinhamento, as perdas resultantes dessa perda causal serão, por exemplo, para o processo B, a espera (custo de mão de obra), energia (energia das iluminações, de manutenção de máquina ligada). Para o processo C serão a espera (custo de mão de obra), energia (energia das iluminações).

Figura 6 - Processo de montagem de cadernos



Fonte: O Autor (2020)

- O quarto passo está relacionado ao cálculo do custo das perdas identificadas

Coleta de dados de todos os custos operacionais ou relacionados que, uma vez quantificados, deve-se fazer o levantamento de que tipo de custos operacionais se trata, por exemplo uma quebra no processo A, gera custo de mão de obra parada, material de manutenção, mão de obra indireta e energia.

- O quinto passo será selecionar metodologias e ferramentas para solução dos problemas em questão.

Utilizar ferramentas tais qual ICE, PDCA e DMAIC para atacar as perdas identificadas.

A ferramenta ICE, irá dar prioridade, por exemplo quais melhorias devem ser feitas imediatamente, no médio e no longo prazo. As ferramentas PCDA e DMAIC, tem o intuito de entender o problema e encontrar possíveis soluções ou melhorias que amenizem ou neutralizem o problema.

- O sexto passo é estimar os custos da melhoria

Passado o quinto passo, após o uso das ferramentas PDCA e DMAIC,

Essa etapa deve-se fazer levantamento dos custos para que a melhoria seja aplicada, tanto de material quanto operacional, energia, modificações, adaptações.

- O sétimo passo é estabelecer e implementar plano de melhoria

Nesta etapa deve conter um cronograma de implementação e deve haver um acompanhamento da melhoria, juntamente com uma análise se trouxe ou se foi compatível com os resultados esperados.

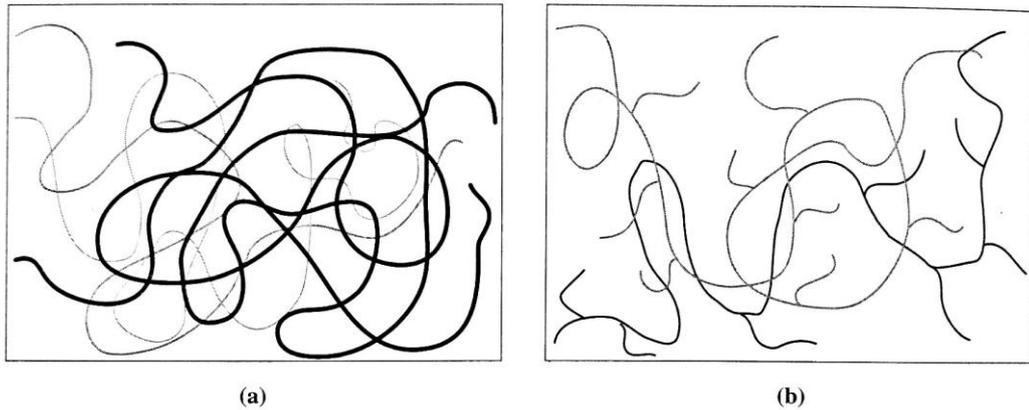
## 2.9 POLÍMEROS

Da morfologia da palavra, “*mero*” refere-se a um grupo unitário de átomos ou moléculas, poli refere-se a vários, dando sentido a palavra polímeros: vários grupos de átomos. De forma geral os polímeros apresentam o carbono como base de sua estrutura, entretanto nem todos são assim, podendo apresentar estruturas de caráter inorgânicas tais como estruturas do tipo Si-O. (ASKELAND, 2013).

### 2.9.1 Classificação dos polímeros

Podemos classificar os polímeros pela sua forma de sua cadeia polimérica, que podem ser é linear ou ramificado conforme a Figura 7, que apresenta as possíveis formas de cadeia poliméricas. Na Figura 7 (a) trata-se de um polímero linear não-ramificado e a Figura 7 (b) representa um polímero linear com ramificações.

Figura 7 - (a) polímero linear não ramificado e polímero linear com ramificações



Fonte: (ASKELAND, 2013)

Os polímeros podem ser separados em 4 grupos distintos:

- Termoplásticos que são compostos que apresentam longas cadeias, devido a união de monômeros, de forma geral apresenta comportamento mecânico de caráter dúctil. Podem ser amorfos ou cristalinos, quando aquecidos amolecem e fundem e assim podem dar formas a diversos objetos.
- Os Termofixos são compostos por longas cadeias (ramificadas), com muitas moléculas ligadas entre si. Devido a suas várias ligações são ,em geral, resistentes porém, mais frágeis do que os termoplásticos. Eles não se fundem quando aquecidos, mas começam a se decompor, tornando seu reprocessamento difícil após seu processo de reticulação (etapa de síntese dos termofixos).
- Elastômeros são também conhecidos como borrachas, suas cadeias se comportam como molas que se deformam de forma reversível estes, quando deformados elasticamente podem apresentar deformações superiores a 200%.
- Elastômeros termoplásticos, representam um grupo especial de polímeros que apresentam facilidade de processamento tal como um termoplástico e com as propriedades elásticas dos elastômeros.

## 2.9.2 Plásticos

Materiais plásticos são materiais compostos por polímeros que contém aditivos, sejam eles fibras, cargas, pigmentos. Este tipo de material vem ganhando espaço na indústria e no mercado global de tal forma que para onde se olhe existe algum material plástico, proporcionando para nossas vidas produtos com diversas utilidades que vão desde armazenamento (baldes, copos e caixas d'água), diversão (proteção de televisão, de computadores, cadeiras de bar, espreguiçadeiras), proteção (carenagem de motos, carros). (ASKELAND, 2013).

Dos materiais plásticos o mais usado no processo de rotomoldagem são os provindos de polietileno, este também apresenta um custo menor de processamento comparado a seus pares (polipropileno, por exemplo) este apresenta um ponto de fusão mais baixo cerca de 115°C.

### 2.9.2.1 Polietileno

O polietileno é um termoplástico, utilizado em vários processos de fabricação, tais como: rotomoldagem e injeção. De fácil manuseio, nos processos citados, ele é amplamente produzido pela empresa Braskem, a qual é uma das maiores fornecedoras para mercado brasileiro. Cada polietileno tem a sua especificação de propriedades, além de aditivos para resistência a luz ultravioleta, muito importante para produtos como caixas de água, por exemplo, assim como fluidez específica para moldes que apresentem geometrias complexas.

## 2.9.3 Granulometria para aplicações na indústria dos polímeros

A Granulometria trata de um estudo que estratifica o tamanho do grão de um material polimérico a ser processado, para melhor entendimento o processo, tem-se vários tamanhos de grãos são possíveis, mas 3 são amplamente presentes na indústria de injeção plástica ou de rotomoldagem.

- Material moído – trata-se de um material mais grosseiro, moído em um moinho de facas, por exemplo, e pode apresentar várias faixas de granulometria, da ordem de 20 milímetro de diâmetro;

- Material em tamanho de Pellets – material processado numa indústria de segunda geração ou vindo de uma extrusora, estes grãos podem ser encontrados numa faixa média de 5 milímetros.
- Material micronizado – esse material é um material processado por um moinho micronizador, seu grão fica em torno de 0,06 mm.

## 2.10 ROTOMOLDAGEM

A rotomoldagem é um processo de fabricação em que o produto é produzido através da rotação e aquecimento suficiente para fundir o material dentro de um molde (preenchido previamente), seguido de um processo de resfriamento, podendo ser por ventilação ou por jatos de água na superfície externa do molde.

A Figura 8 apresenta duas poltronas rotomoldadas, que correspondem a alguns dos produtos fabricados pela empresa na qual foi desenvolvida a presente pesquisa.

De acordo com Nunes (2015), algumas desvantagens do processo são:

- Necessidade de micronizar a matéria-prima antes do processo;
- Os materiais disponíveis são limitados (cerca de 85% da produção é feita com polietileno)
- Ciclos longos.

Figura 8 - Produtos Rotomoldados



Fonte: (ROTOLINE, 2018)

### 2.10.1 Vantagens e desvantagens

As principais vantagens da rotomoldagem são:

- Custo relativamente baixo dos moldes e prazo curto para a sua obtenção;
- Moldes diferentes podem ser utilizados na mesma máquina, muitas vezes simultaneamente;
- Produção de peças fechadas sem emendas;
- As peças podem ser produzidas com baixas tensões residuais e
- Possibilidade de um bom controle de espessura.

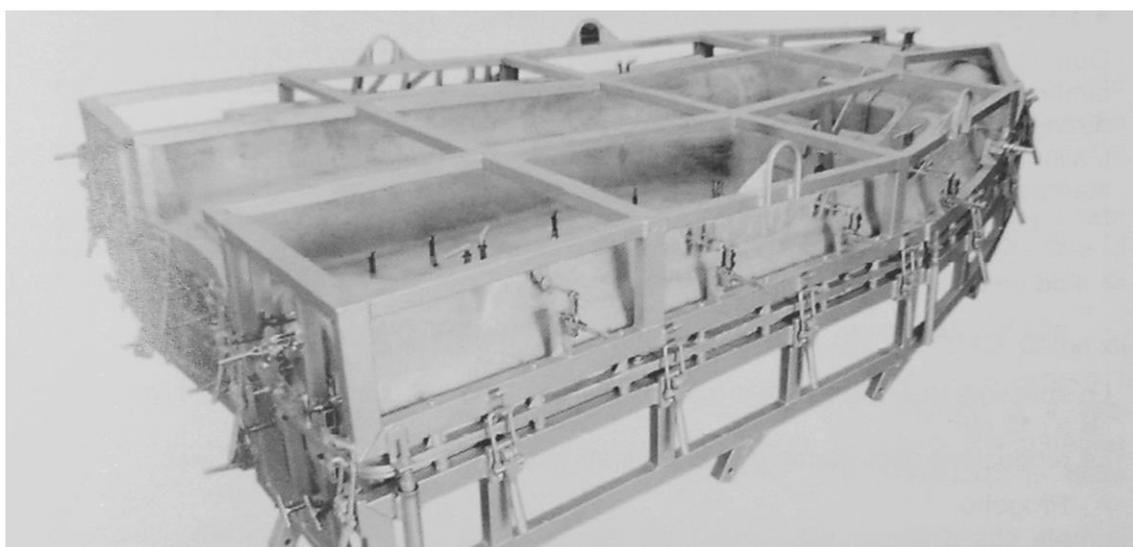
### 2.10.2 Etapas do processo de rotomoldagem

O processo de rotomoldagem contém 4 etapas bem definidas, conforme descrição abaixo:

## I- Desmoldagem e alimentação

A alimentação e a desmoldagem ocorrem simultaneamente na mesma etapa. Ainda se trata de uma etapa manual, devido à necessidade de remoção de travas ou desparafusamento. Na empresa estudada, existe um mix de produtos muito diverso, com pesos bem diferentes e formas de molde e posicionamento de travas distintos, dificultando a automatização, na Figura 9, podemos ver um molde rotomoldado e suas travas.

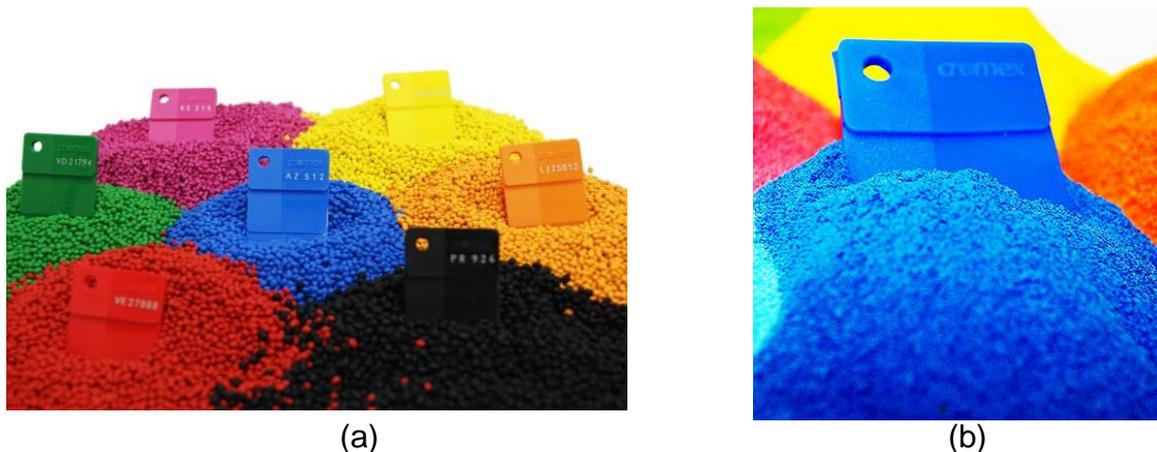
Figura 9 – Molde de rotomoldagem



Fonte: (CAVARNI, MONDINI, e ROMBOLI, 2006)

Durante a alimentação é depositado um material baixa granulometria, geralmente com 600 microns de tamanho médio de grão, visando uma maior área de contato e, conseqüentemente, menos tempo no forno (WHITE, 1992). Na Figura 10 (a) temos PE na forma de pellet, pronto para ser micronizado em moinho micronizador e assumir o formato de um pó fino de cerca de 600 microns de tamanho médio de grão (Figura 10 (b))

Figura 10 – (a) Pellet;(b) Micronizado de Polietileno



Fonte: CROMEX (2018)

A desmoldagem deve ser feita com as ferramentas adequadas para evitar danos às peças. Nunca se deve fazer alavancas para remover as peças e também se deve usar ferramentas para remover rebarbar aderidas às flanges dos moldes, evitando que a superfície de fechamento seja danificada e torne a limpeza cada vez mais problemática, dificultando o fechamento dos moldes.

## II- Aquecimento

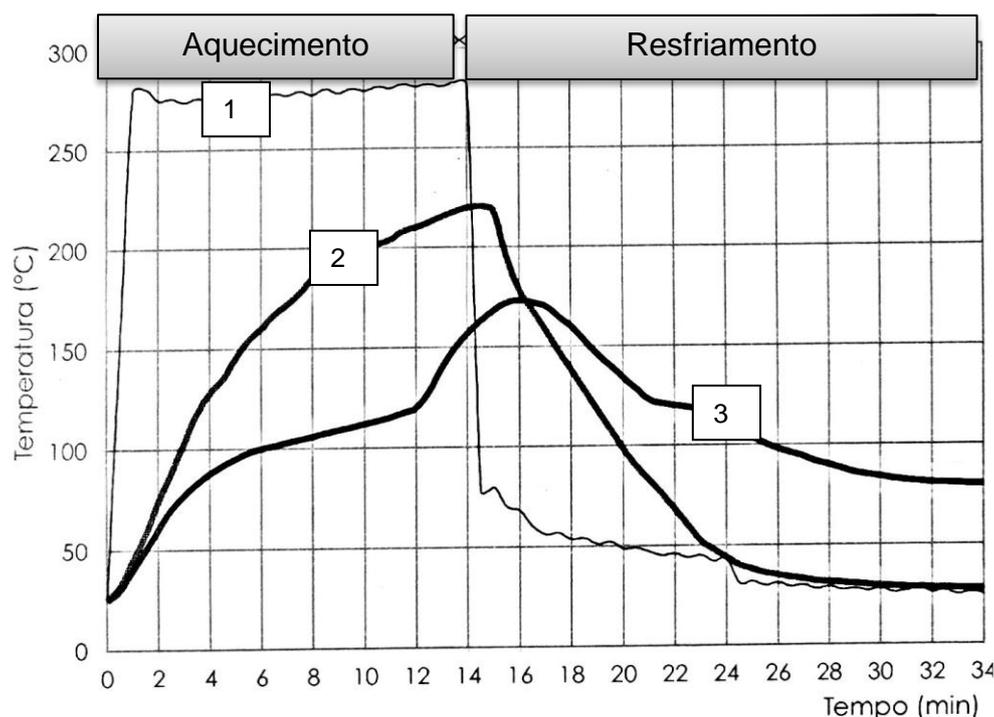
Durante a etapa de aquecimento, acontecem dois fenômenos muito importantes para o resultado final da rotomoldagem: a deposição e a densificação do material sobre a superfície interna do molde. Como pode-se ver na Figura 11, nas curvas de temperatura das principais zonas, o forno a combustão é aquecido com o molde no interior do mesmo, a superfície externa recebe calor e conseqüentemente tem sua temperatura aumentada, por condução a temperatura do interior do molde começa a aumentar e esse aumento que promove gradativamente a fusão do material.

Geralmente se especifica que a espessura seja uniforme em todas as regiões do molde. Entretanto, algumas vezes, se deseja que as espessuras sejam diferentes para gerar maior reforço em determinada região. Esta característica está diretamente ligada ao tempo que o material fica em contato com a superfície e a temperatura desta região (NUNES, 2015).

Deve-se tomar cuidado com moldes de formato muito complexo, pois podem exigir o uso de recursos especiais para aumentar a temperatura em regiões de difícil

acesso, sejam elas de espessura pequena o com curvas acentuadas ou cantos vivos. Ainda assim, mesmo com o uso de sopradores de ar quente, a inserção de aletas na superfície externa do molde, para aumentar a área de absorção de calor, e a redução da espessura do molde na região desejada, de nada adiantará se o fluxo de material dentro do molde não entrar em contato por tempo suficiente para que se aglomere nas superfície das paredes do molde(NUNES,2015).

Figura 11 – Curva de temperatura ao longo do tempo



1-Curva de aquecimento do forno, 2- Curva de aquecimento da superfície externa do molde,  
3- Curva de aquecimento da superfície interna do molde

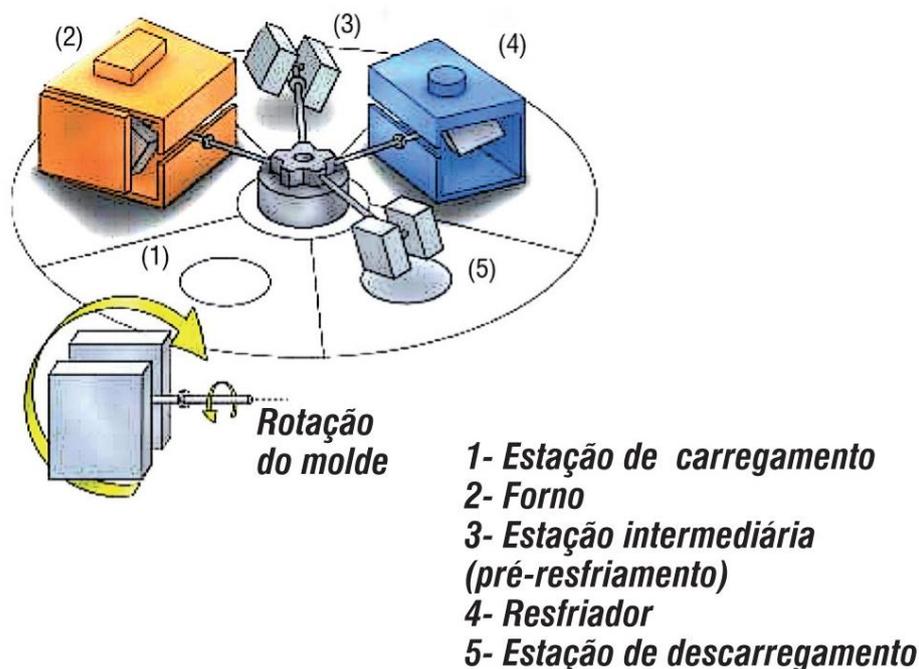
Fonte: (CAVARNI, MONDINI, e ROMBOLI, 2006)

### III- Resfriamento

O calor fornecido deve ser removido no resfriamento. Em um dado momento o forno é aberto e o braço se movimenta para a próxima etapa (como pode ser observado na Figura 12 que demonstra as etapas do processo de rotomoldagem para uma máquina do tipo carrossel). Nesta etapa para conseguir resfriar de maneira eficaz, é necessário usar ventilação forçada e aspersão de água, o que ocasiona uma queda brusca na temperatura exterior do molde como foi observado na Figura 11. Porém, a

aplicação de ventilação e água devem ser feitas com cuidado para evitar as deformações das peças.

Figura 12 - Etapas do processo de rotomoldagem para uma máquina tipo carrossel



Fonte: (MANTOVANI, 2020)

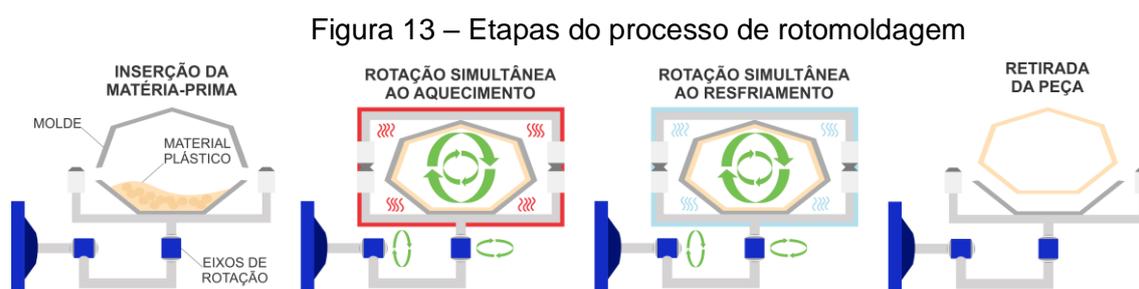
Uma vez que a taxa de resfriamento e a temperatura da peça no momento da desmoldagem estão diretamente ligadas ao grau de contração e às propriedades mecânicas da peça. Um resfriamento rápido gera peças com maior resistência ao impacto devido a menor cristalinidade do material, entretanto aumenta a tendência à deformação. Para evitar esse efeito é importante que a peça se mantenha em contato com o molde até o momento da desmoldagem (NUNES,2015).

Também vale salientar que é importante o controle da temperatura das peças no momento da desmoldagem. Podem uma vez que, visando um aumento da produtividade, as peças serem desmoldadas ainda muito quentes, continuando a se contrair fora do molde e sem restrições, gerar distorções. Quanto maior o rigor dimensional, maior deverão ser os cuidados que devem se ter após a desmoldagem, geralmente envolvendo o uso de gabaritos (NUNES,2015).

#### IV- Operações secundárias e testes

Dificilmente as peças rotomoldadas saem prontas para uso, muitas vezes é necessário remoção da rebarba, furação, corte, usinagem, adesivos e montagens. Em outros casos é necessário continuar o resfriamento da peça, mesmo após a desmoldagem, em condições controladas (NUNES,2015).

A Figura 13 é uma representação esquemática da alimentação, aquecimento, resfriamento e da extração.



Fonte: (SULPLAST, 2020)

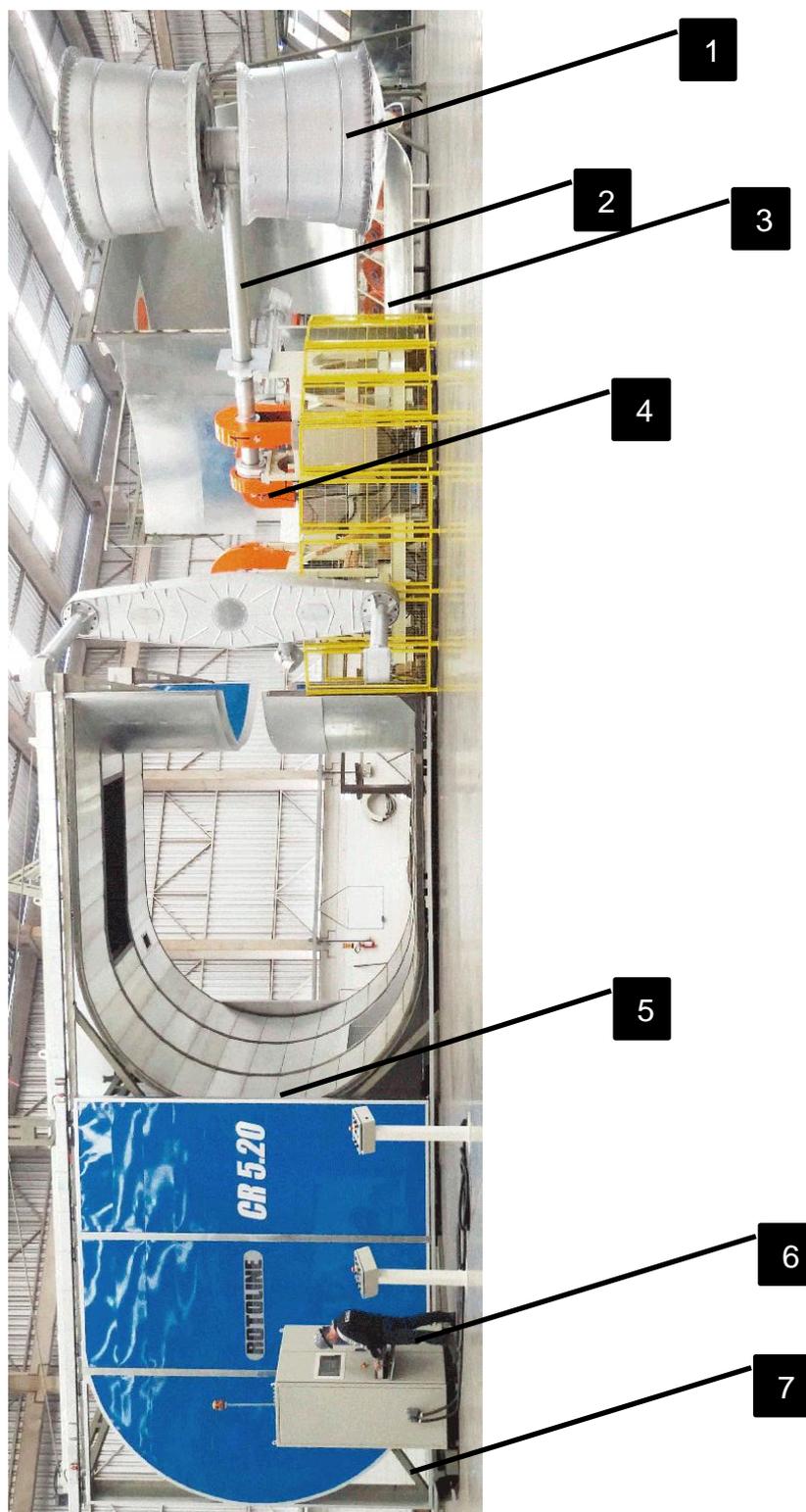
Na Figura 15 é apresentada uma máquina Rotomoldadora carrossel a máquina utilizada no presente trabalho. Uma máquina rotomoldadora do tipo carrossel funciona semelhante a um carrossel de parque de diversões, ela terá 5 estações bem definidas, conforme a Figura 12. No centro do carrossel, tem-se um motor que irá fornecer a energia mecânica necessária para realizar os movimentos de rotação dos braços e do spider (como pode-se observar na Figura 14, a spider consiste da superfície a qual irá se fixar os moldes, também conhecida como prato), os quais estarão com os moldes fixados nos mesmos, seguindo o sentido horário.

Figura 14 - Spider



Fonte: (DUANETTI, 2020)

Figura 15 - Rotomoldadora Carrossel



1-Molde, 2- Braço que sustenta spider e moldes, 3-Ventiladores, 4-Motores dos braços e da máquina, 5-Forno, 6-Painel de controle dos braços, 7-Painel de controle do forno e dos indicadores da máquina

Fonte: (ROTOLINE, 2018)

### 3 METODOLOGIA

Para melhor entendimento essa seção foi dividida em escolha da área modelo, aplicação dos fundamentos do pilar desdobramento de custos, implementação de indicadores, pilar de desdobramento de custos.

#### 3.1 ESCOLHA DA ÁREA MODELO

As áreas modelos correspondem aos setores que geralmente apresentam as menores eficiências, cujas horas paradas têm menor valor. Essas áreas permitem uma análise mais ampla e os colaboradores vão se sentir mais à vontade em ajudar, sendo portanto, a percepção das mudanças mais visíveis. O objetivo da escolha dos locais de estudo para implementação das ferramentas de qualidade é usá-los como “modelo” para os demais setores da fábrica. No presente trabalho foi escolhida rotomoldagem, devido a baixa produtividade, refugo acima dos padrões da fábrica e por apresentar muito trabalho de caráter manual, tal como a remoção de molde via chave catraca não pneumática.

#### 3.2 APLICAÇÃO DOS FUNDAMENTOS DO PILAR DESDOBRAMENTO DE CUSTOS

Antes de ser aplicado o pilar existe a necessidade de coletar dados e implementar indicadores.

##### 3.2.1 Coleta de dados

A coleta de dados consistiu num levantamento de informações visando entender melhor a situação do processo ou da área. Geralmente esses dados se revertem em indicadores para uma melhor visualização. Foram desenvolvidas planilhas de coleta de dados na rotomoldagem para visualizar a razão do refugo e o desperdício de tempo nas trocas de molde no setor, assim como a perda de tempo de produção devido à máquina parada.

### **3.2.1.1 Controle do nível de gás**

Para melhorar a forma de controle foram realizadas inspeções diárias nos níveis de gás nos cilindros e efetuado o registro com planilha, com a qual era gerado um gráfico do volume diário dos manômetros.

### **3.2.1.2 Refugo rotomoldagem**

Foi criada uma planilha de coleta de dados referente aos motivos pelos quais as peças foram refugadas, instruindo os operadores da máquina a sempre fazer as anotações. A partir desse acompanhamento foi possível identificar as principais razões de refugo viabilizando solucionar o problema.

### **3.2.1.3 Tempo de troca de molde**

Foi percebido ao longo da operação que existia uma demasiada perda de tempo nas trocas de molde além de um desgaste físico considerável dos operadores. Foi realizado um estudo de quanto tempo levava-se para trocar um molde, estratificando o tempo de troca de molde padrão da operação e verificando quais eram as dificuldades.

### **3.2.1.4 Retrabalho**

Um dos produtos precisava ser rebarbado com precisão, o que muito dificilmente poderia ser feito por ferramentas manuais como facas, foi contabilizado o tempo necessário para fazer os retrabalhos.

### **3.2.1.5 Paradas por falta de gás**

Na época não se tinha um controle com o qual pudesse se afirmar quando era necessário um abastecimento de gás ou se estava havendo algum vazamento de gás, foi contabilizado o número de vezes que havia parada de máquina e por quanto tempo.

### 3.3 IMPLEMENTAÇÃO DE INDICADORES

Visando uma melhor gestão das áreas, uma vez que a coleta de dados foi implantada, a próxima etapa é a implementação de indicadores.

O controle do nível de gás, a partir dos dados coletados todas as manhãs foi possível visualizar a situação do consumo de cada um dos seis cilindros diariamente, com isso foi realizado uma avaliação se existia a necessidade de uma expansão do sistema ou de aumento no número de abastecimentos.

No caso do refugo (peças que não podem ser reaproveitadas ou retrabalhadas), criaram-se planilhas que segregavam o refugo do produto por defeito, referência, cor e molde, e feito o levantamento a partir do molde, quais eram os índices de dias produzidos daquele molde, número de peças refugados naquele molde, peso total refugado e percentual destes dados como apresentado na figura 16.

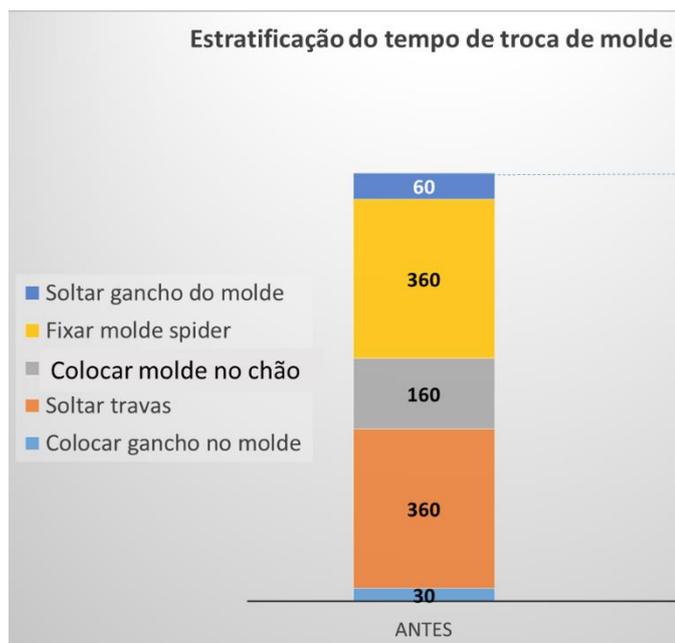
Figura 16 – Indicadores Rotomoldagem de refugo

| Moldes | DIAS DE PRODUÇÃO | PEÇAS PRODUZIDAS | CONSUMO Kg | REFUGO (UN) | %REFUGO | REFUGO (Kg) |
|--------|------------------|------------------|------------|-------------|---------|-------------|
| 910    | 20               | 141              | 1057,5     | 2           | 1,4%    | 15          |
| 911    | 30               | 215              | 851        | 3           | 1,4%    | 12          |
| 914    | 107              | 808              | 4040       | 14          | 1,7%    | 70          |
| 915    | 92               | 544              | 4896       | 4           | 0,7%    | 36          |
| 917    | 256              | 2184             | 13104      | 39          | 1,8%    | 234         |
| 920    | 17               | 93               | 418,5      | 0           | 0,0%    | 0           |
| 921    | 38               | 330              | 2048,4     | 8           | 2,4%    | 48          |
| 922    | 35               | 318              | 3498       | 11          | 3,3%    | 121         |
| 926    | 37               | 261              | 2349       | 3           | 1,1%    | 27          |
| 927    | 8                | 33               | 660        | 1           | 2,9%    | 20          |
| 928    | 25               | 188              | 940        | 1           | 0,5%    | 5           |
| 931    | 11               | 62               | 368,9      | 1           | 1,6%    | 5,95        |
| 932    | 33               | 128              | 1177,6     | 2           | 1,5%    | 18,4        |

Fonte: O autor (2020).

O tempo de troca de molde foi quantificado e estratificado, conforme a Figura 17. O gráfico está com seus dados medidos em segundos e estratificado em 5 momentos bem distintos, a maneira como a atividade é realizada, tem-se: colocar gancho do molde, soltar travas, colocar molde no chão e pegar outro molde, fixar molde no spider e soltar gancho do molde.

Figura 17 – Estratificação da troca de molde

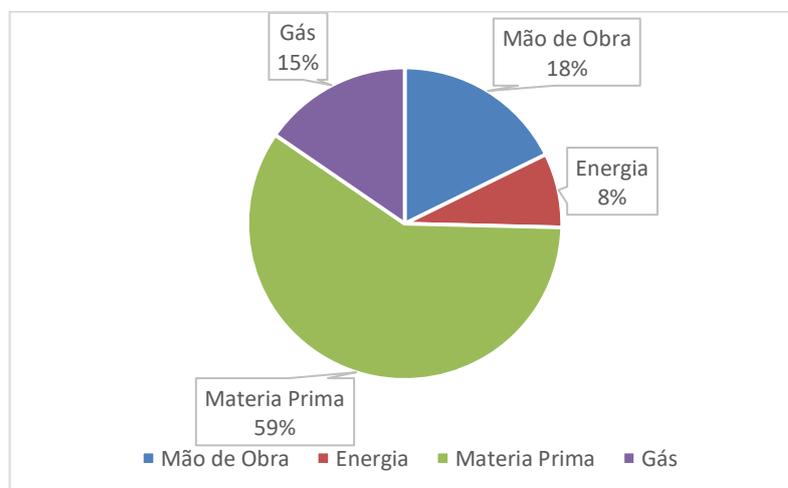


Fonte: O Autor (2020)

Com os indicadores e coleta de dados, pode-se seguir para a próxima etapa, o primeiro passo do pilar de desdobramento de custos.

### 3.4 PILAR DE DESDOBRAMENTO DE CUSTOS

Figura 18 – Custos da seção



Fonte: O Autor (2020)

Essa seção foi dividida em estudo das condições atuais em relação aos custos, identificar macro perdas de forma quantitativa, relacionar as perdas causais com as resultantes, traduzir perdas e desperdícios, identificar métodos para recuperar perdas e desperdícios.

#### 3.4.1 Estudo das condições atuais em relação aos custos

Uma vez os dados em mãos, pode-se identificar quem são as principais causas e quais podem realmente ser reduzido. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** tem-se o custo da eção, estratificado em 4 categorias: mão de obra, energia, gás e matéria prima.

A matéria prima corresponde a maior fonte de custo, seguido pela da mão de obra, gás e energia.

#### 3.4.2 Identificar macro perdas de forma quantitativa

Com o foco dos estudos no setor, pôde-se perceber que existiam algumas macros perdas bem notórias: Refugo, Setup de troca de molde e de abertura de molde, tempo de paradas.

##### 3.4.2.1 Índice de refugo

O índice de refugo do setor da rotomoldagem é da ordem de 3%. A diferença de metodologia para o que já existia foi avaliar essa mudança por molde e por referência.

##### 3.4.2.2 O Setup de troca de molde e abertura

Por ter uma gama de produtos bem diversificada, ocasionava perda de tempo e desgaste físico dos colaboradores. Foi mensurado o tempo que se perdia apenas trocando um molde, com cerca de 93 trocas mensais.

### **3.4.2.3 Retrabalho dos vasos**

O custo do retrabalho representava além do tempo, que tinha que ser feito nos vasos da empresa estudada consumia cerca de 1 hora diária do operador, mais a matéria prima, o refugo diário de 2 ou até 3 peças por dia.

### **3.4.2.4 Paradas por falta de gás**

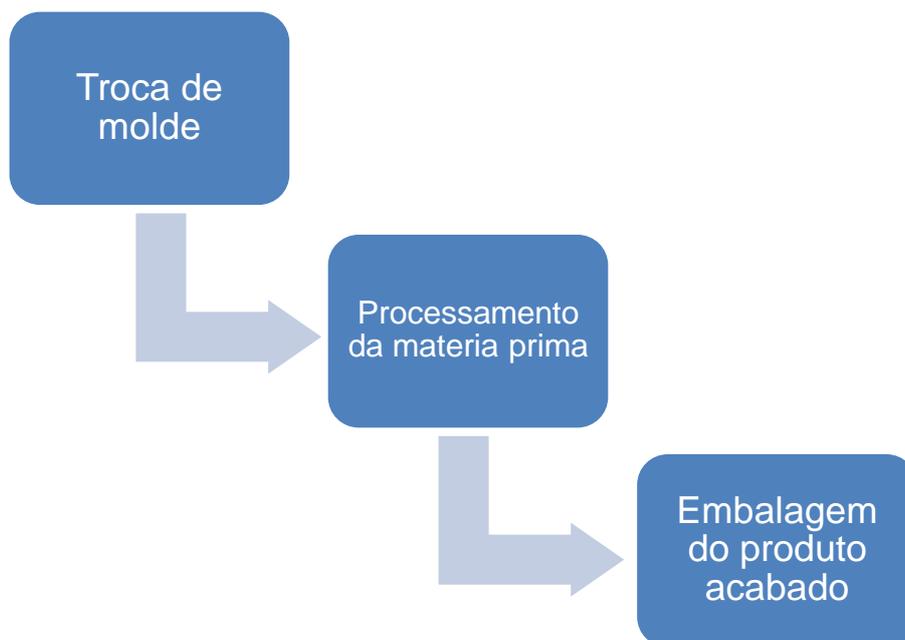
Foi investigado quanto tempo se perdia com esse tipo de parada e a representação do custo devido a esse tipo de parada, a perda de tempo chegava a ser de 4 horas por mês, como não ocorriam com muita frequência era deixada de lado.

### **3.4.3 Relacionar as perdas causais e resultantes**

De acordo com a esquematização da Figura 19 - , tem-se 3 processos: Processo A, Processo B e Processo C. No Processo A, realiza-se a atividade de troca de molde, para em sequência esses moldes serem preenchidos com matéria prima e processados na rotomoldadora (processo B) e, por fim, as peças acabadas, são submetidas ao processo C que seria a embalagem.

Perda Causal: Lentidão na troca de molde do processo A, as perdas resultantes dessa perda causal são, por exemplo, Para o processo A tem-se: Espera (Custo de Mão de Obra), Energia (Energia das iluminações), para o processo B: Espera (Custo de Mão de Obra), Energia (Energia das iluminações, de manutenção de máquina ligada), de Gás (para manter o queimador sempre aceso). Para o Processo C: Espera (Custo de Mão de Obra), Energia (Energia das iluminações).

Figura 19 - Processo de Rotomoldagem



Fonte: (DINIZ, MOREIRA e SANTOS, 2018)

Através de um brainstorming (tempestade de ideias), com os colaboradores e responsáveis da área, foram levantadas algumas possíveis razões para nosso problema de refugo e tempo de troca de molde, além de algumas possíveis soluções.

#### 3.4.3.1 Impacto e esforço (Improvement Effort)

A ferramenta I. E. ajuda bastante na tomada de decisão, permitindo que as decisões sejam firmadas em Impacto e Esforço. Para uma visualização mais rápida resolveu-se condensar o impacto (redução de custo) e o esforço (tempo). Por meio desta ferramenta foi possível estabelecer uma ordem de prioridade das atividades. Por exemplo, existiam tarefas que, apesar de serem de grande impacto, demandavam muito dinheiro e esforço, estas necessitariam ser feitas a longo prazo, perdendo prioridade no curto prazo sobre as melhorias de baixo esforço e baixo, médio ou alto impacto.

A Tabela 1 exemplifica como estava sendo utilizada a ferramenta I. E. de modo mais simplificado. As atividades tiveram uma atribuição de 1 a 7 para Impacto

e para Esforço, a partir do produto do esforço e impacto teremos uma distribuição de pontos que posteriormente irá ser utilizada para construir a Figura 20.

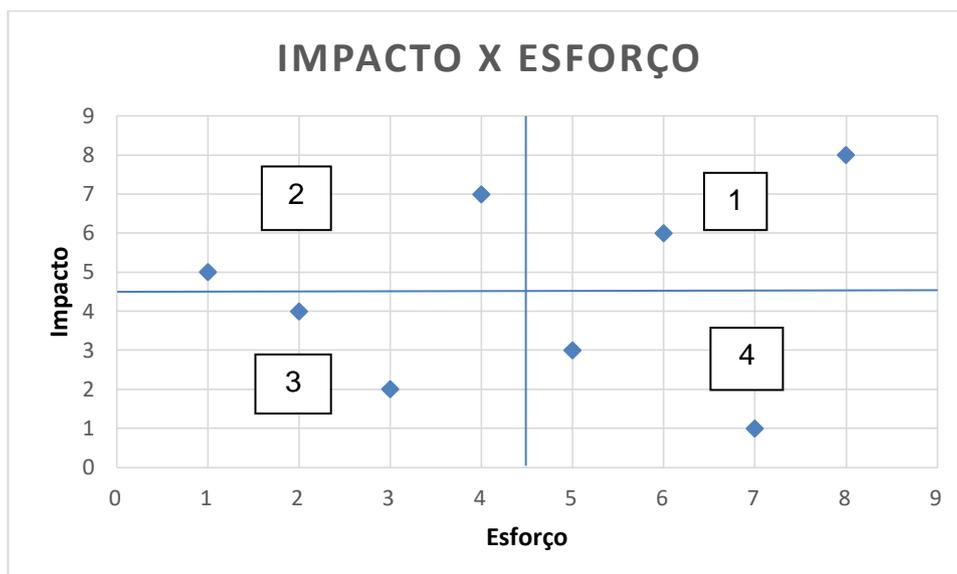
Tabela 1 - Impacto X Esforço

| Tarefas | Impacto | Esforço | Produto |
|---------|---------|---------|---------|
| 1       | 3       | 2       | 6       |
| 2       | 6       | 6       | 36      |
| 3       | 7       | 1       | 7       |
| 4       | 2       | 4       | 8       |
| 5       | 1       | 5       | 5       |
| 6       | 5       | 3       | 15      |
| 7       | 4       | 7       | 28      |

Fonte: O Autor (2020)

O gráfico da Figura 20 simula a distribuição das atividades baseadas no impacto e esforço. Como pode ser observado, o gráfico foi dividido em 4 quadrantes, cada quadrante tem sua importância: o primeiro, representado por tarefas que têm alto impacto e alto esforço, ou seja, essas serão feitas a longo prazo. As do segundo quadrante merecem uma atenção especial pois elas têm alto impacto e baixo esforço, ou seja, deve-se tomar estas com prioridade. As do terceiro quadrante são de baixo impacto e baixo esforço, normalmente possíveis de serem feitas no dia a dia. As que devem ser deixadas por último estão localizadas no quarto quadrante estas exigem muito esforço para pouco impacto.

Figura 20 - Gráfico do Impacto x Esforço



Fonte: O Autor (2020)

### 3.4.4 Traduzir as perdas e desperdícios em termos de custos

Nesta seção foi dividida nas principais fontes de desperdícios encontradas no setor são esses: refugo rotomoldagem, trocas de molde, retrabalho de peças de geometria circular, paradas por falta de gás.

#### 3.4.4.1 Refugo rotomoldagem

Foi realizada a conversão a partir do levantamento do custo da matéria prima, mão de obra, gás e energia consumida para poder ser visualizado quanto efetivamente estava sendo desperdiçado com refugo por mês.

#### 3.4.4.2 Trocas de molde

Foi realizada a conversão contabilizando o total de horas de troca de molde e custo de energia e mão de obra para cada hora utilizada.

#### 3.4.4.3 Retrabalho de peças de geometria circular

Uma vez levantada a quantidade de horas perdidas e matéria prima desperdiçada foi levantado o custo do quilograma e da mão de obra perdida nessa atividade.

#### 3.4.4.4 Paradas por falta de gás

Foi levantado o custo da mão de obra e energia desperdiçado nessas paradas por falta de gás.

### **3.4.5 Identificar métodos para recuperar perdas e desperdícios**

Uma das ferramentas mais completas em termos de lean manufacturing com o intuito de identificar métodos para recuperar perdas é o ciclo PDCA.

#### 3.4.5.1 Ciclo PDCA

Uma vez estabelecidas quais tarefas seriam realizadas primeiro, por meio da ferramenta I. E., iniciou-se a aplicação do ciclo PDCA. Foi possível fazer a primeira etapa do ciclo, o P de planejar: foi estudado o problema, a causa-raiz do mesmo e como combatê-lo. Em sequência foi realizada a etapa D (Do) fazer: aplicou-se a melhoria, partindo para a etapa C de checar: contabilizou-se o efeito da melhoria, de modo a identificar se sua inserção foi boa ou ruim e, por fim, a etapa A de Agir, foi padronizada a melhoria e aplicada em outros setores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha da rotomoldagem foi bem proveitosa, obtiveram-se resultados positivos em termos de refugo e produtividade. A seguir é apresentado um estudo de caso.

### 4.1 QUEBRAS NOS MOLDES DA MESA E DA POLTRONA

Através do uso dos indicadores de refugo por referência, molde e motivo, foi detectado que um dos produtos da empresa apresentava um dado problema (refugo devido a queima na superfície da peça), para uma cor específica, que vinha se repetindo. Analisando o problema e tentando entendê-lo, foi aplicado um PDCA. Na fase P (Plan) de planejamento, tentou-se identificar as possíveis causas do problema, por exemplo: se o problema era no molde, na cor ou no processo. Identificou-se um problema no molde: o tubo de ventilação era muito curto para aquele tipo de molde, acarretando o derramamento do material por ele e, como paliativo, utilizava-se um produto para obstruir a passagem do material. A Figura 21, mostra o problema no molde que foi identificado.

Figura 21 – Esquema de um molde de rotomoldagem



Fonte: (ROTODESIGN, 2018)

Através de um *Brainstorming* percebeu-se que com um prolongamento do tubo de ventilação seria possível erradicar o problema. Na fase D (Do), rapidamente o molde foi levado à ferramentaria e, em sequência, fez-se o prolongamento. Na fase C (check) percebeu-se que não era mais necessário colocar o produto para obstruir, reduzindo uma fase no setup do molde. Na fase A (act), resolveu-se aplicar esta solução nos demais moldes que apresentavam esse mesmo tipo de problema.

Como pode ser observado na Tabela 2, tem-se os dados referente ao número de peças produzidas, dias de produção, consumo em Kg (que seria a matéria prima processada), o refugo em unidades de peças, a porcentagem de refugo e o refugo em quilogramas nos anos de 2018 e 2019.

Tabela 2 – Comparativo refugo 2018 e 2019 das referências estudadas

| Ano  | Descrição | Dias de produção | Peças produzidas | Consumo (Kg) | Refugo (UN) | %Refugo | Refugo (Kg) |
|------|-----------|------------------|------------------|--------------|-------------|---------|-------------|
| 2019 | NA        | 107              | 808              | 4040         | 14          | 1,70%   | 70          |
| 2018 | NA        | 114              | 660              | 3305         | 27          | 3,90%   | 135         |
| 2019 | CA        | 256              | 2184             | 13104        | 39          | 1,80%   | 234         |
| 2018 | CA        | 319              | 2036             | 12168        | 81          | 3,80%   | 486         |
| 2019 | NA TR     | 34               | 305              | 1525         | 6           | 1,90%   | 30          |
| 2018 | NA TR     | 44               | 312              | 1565         | 23          | 6,90%   | 115         |
| 2019 | CA TR     | 76               | 804              | 4824         | 21          | 2,50%   | 126         |
| 2018 | CA TR     | 76               | 595              | 3570         | 23          | 3,70%   | 138         |

NA - Molde de mesa; CA - Molde de poltrona; NA TR – Molde de mesa na cor transparente; CA TR – Molde de poltrona na cor transparente

Fonte: O autor (2020)

A diferença da porcentagem de refugo de um ano para o outro nos moldes estudados que tem como descrição NA e CA. A diferença entre as porcentagens de refugo entre os anos de 2018 e 2019 foi de 2,2 % para o molde NA e de 2 % para o molde CA, a redução foi mais crítica quando observada a cor do produto “Transparente” que no molde NA de 6,9 % para 1,9%, uma redução de 5%, e no CA de 3,7% para 2,5%, uma redução de 1,2%.

Como resultado houve uma redução substancial do refugo daqueles moldes, fazendo uma alteração no tubo de ventilação, o que promoveu uma redução de perda de 242,75 reais por mês de matéria prima considerando o refugo de 29,25 Kg por mês, contabilizando ambos os moldes.

Base de cálculo:

Redução de refugo mês = (% Refugo 2018 – % Refugo 2019) \*

Consumo (Kg) \* Preço médio da matéria prima

Lembrando que o preço médio da matéria prima considerado foi de R\$ 8,30.

Foi calculado o custo da mão de obra, do gás e da energia. A mão de obra e energia será contabilizada por hora perdida, em um ciclo que gira em torno de uma hora e será dividida pelo número médio de moldes no braço (braço é o termo dado a estrutura que sustenta os dois spider) que são 4.

Base de cálculo:

Custo de energia e mão de obra

= N° de peças produzidas em 2019 \* (% Refugo 2018 – %Refugo 2019)

\*  $\left( \frac{P_{mob}}{N^{\circ} \text{ de moldes no braço}} + P_{me} \right)$

P<sub>mob</sub> = Preço do médio de mão de obra por hora considerado: R\$ 56,66

P<sub>me</sub> = Preço da energia por hora considerado: R\$ 4,8

N° de moldes no braço considerado = 4

Ambos o P<sub>me</sub> e o P<sub>mob</sub> foram divididos por 4 que são os demais moldes que entram no forno com o molde estudado.

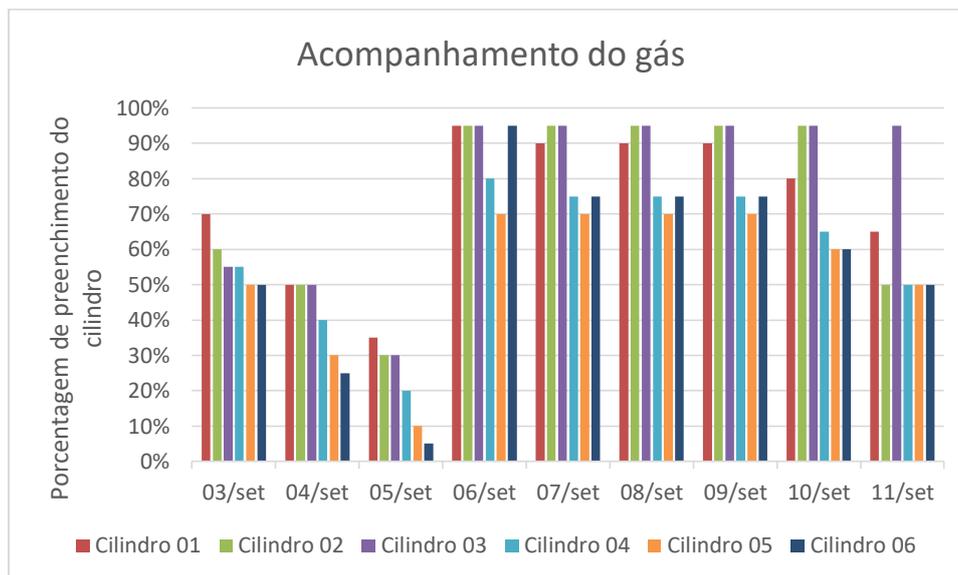
Assim temos um valor total de R\$ 339,89 por mês (Redução de perda por matéria prima de 242,75+(5,121 pçs por mês \* R\$ 18,97 por peça)), totalizando uma economia ao ano de R\$ 4.078,74.

## 4.2 CONTROLE DOS NÍVEIS DE GÁS

Com os valores obtidos na coleta de dados, foi possível prever que o abastecimento de gás estava insuficiente para a nova demanda, além de perceber no processo que alguns dos manômetros se apresentavam travados, dando uma informação errada, Na teoria, os cilindros de gás esvaziam de maneira igual, por diferença de pressão mas, como pode-se ver na Figura 22, isso não estava refletindo no controle. Posteriormente tomou-se a medida de aumentar a quantidade de gás média a partir do cilindro de menor percentual. Uma vez controlado, os manômetros ajustados, a quantidade de gás ainda não era suficiente para aquele reservatório de gás com aquele abastecimento (uma vez a semana apenas). Com isso, tinha-se duas possíveis escolhas: aumentar o volume do sistema de armazenamento ou aumentar

o número de abastecimentos. Depois de uma rodada de negociações com o representante da fornecedora, munidos dos dados de consumo de gás, o setor de compras foi capaz de optar pelo abastecimento de duas vezes na semana ao invés da expansão, a Figura 22 que representa a planilha de controle diária do volume de cada cilindro de gás.

Figura 22 - Controle do gás rotomoldagem



Fonte: Próprio Autor

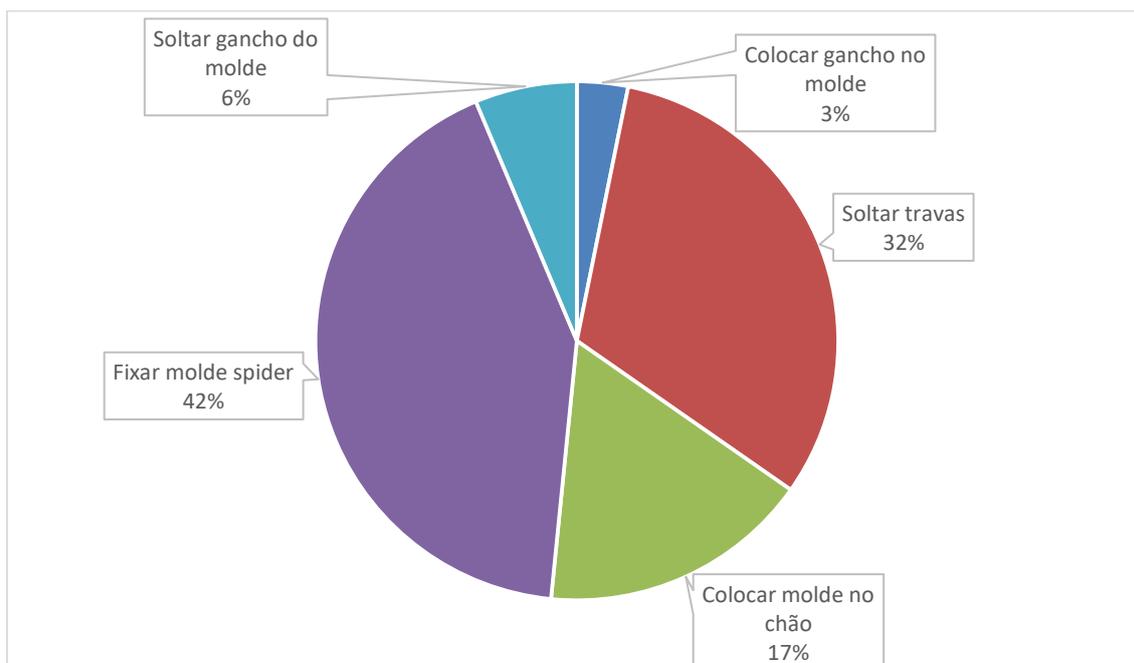
Como esse tipo de parada era cerca de 4 horas de mão de obra e energia, traduzindo para termos de custo tem-se R\$ 2.746,92 de desperdício anuais.

### 4.3 CHAVE CATRACA

A partir da coleta de dados, nos deparamos com os dados da Figura 23, os quais indicam, em porcentagem, o tempo de troca de molde no setor da rotomoldagem.

Esses dados representam a fatia de tempo demandada, de um tempo total de 920 segundos, para ser realizada uma troca de molde padrão.

Figura 23 – Tempo de troca de molde estratificado



Fonte: O Autor (2020)

A Figura 24 demonstra a situação das ferramentas e das travas dos moldes antes da melhoria, na Figura 24 (a), temos uma chave catraca manual que era usada em conjunto com uma chave de boca para que fosse aplicado o torque no parafuso da trava, ilustrada na Figura 24 (b). Uma vez apertado repetiria esse processo por uma ou até três vezes mais, dependendo do peso do molde.

Figura 24 - (a)Travas e (b) Chave catraca



(a)



(b)

Fonte: O autor (2020)

Como pode-se perceber as ferramentas ainda eram manuais e as travas utilizadas para fixar moldes estavam muito oxidadas. Figura 25, mostra as imagens das novas aquisições. Na Figura 25 (a) tem-se a chave catraca, a qual já oferece um determinado torque para cada trava (uma vez que a mesma gira em vazio quando o aperto é superior a 122 N.m, o qual foi verificado como suficiente pelos operadores. Na Figura 25 (b) tem-se um soquete de impacto longo de 75 mm, suficiente para realizar as operações de aperto e desaperto dos parafusos. Na Figura 25 (c) tem-se a imagem referente às travas mais espessas de 130 mm, uma vez que as travas finas de 65 mm, com o aperto dado manualmente, empenavam e conseqüentemente espanavam os parafusos. Na Figura 25(d) pode-se visualizar que os parafusos e porcas de aço inox, encontravam-se com problemas, quando as porcas de aço carbono comum enferrujavam e ganhavam volume, devido o destacamento da camada não-compacta e não-aderente de óxido de ferro, tornando a operação de desaperto quase impraticável.

Figura 25 - (a) Chave catraca manual, (b) Soquete 75mm, (c)Travas novas para moldes e (d) Parafuso de aço



Fonte: Próprio Autor

A implementação da chave catraca pneumática, em combinação com o soquete, novas travas e parafusos com porcas de inox acarretou uma redução de 57% do tempo nas trocas de molde, como pode-se se ver na Figura 26 (a). A diminuição do desgaste físico, a flexibilidade nas trocas e a padronização de aperto, reduziram as perdas com chapas empenadas.

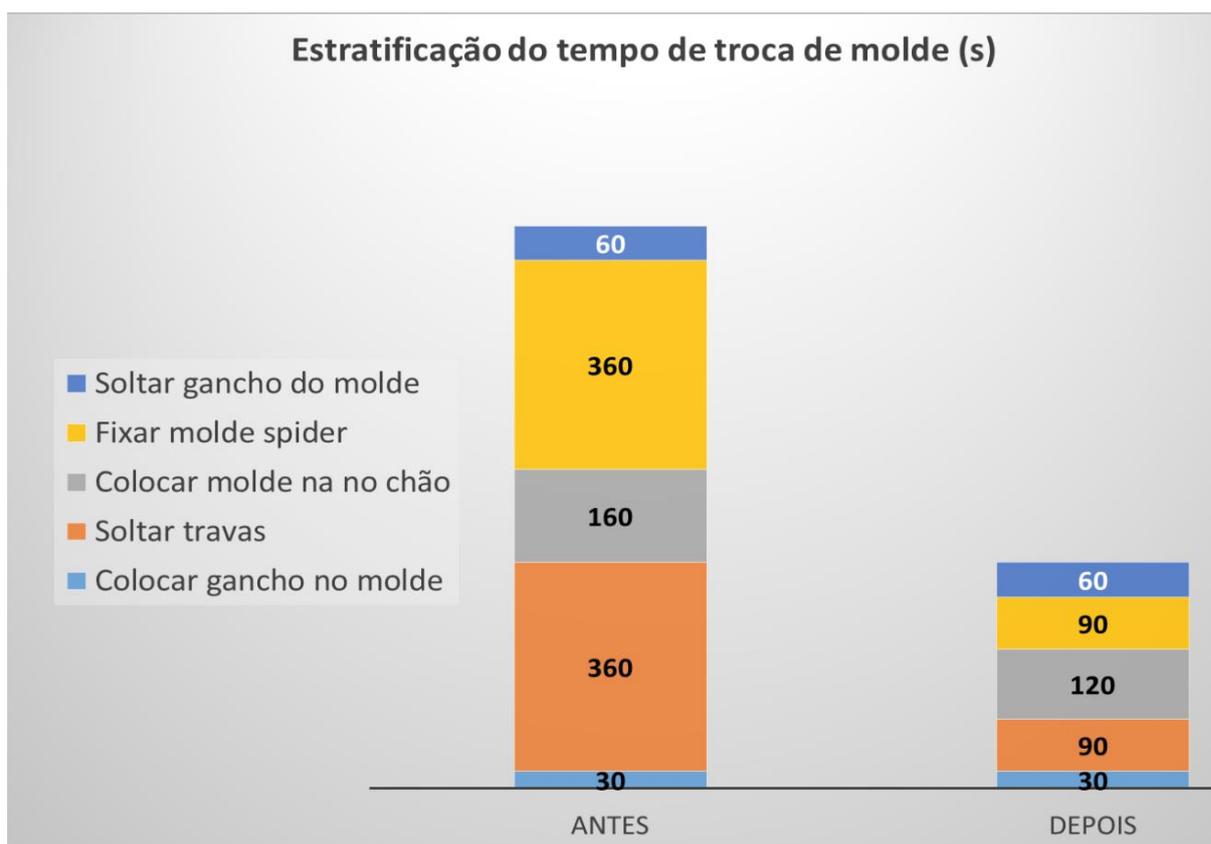
Em termos de custos foi realizada o seguinte cálculo:

Custo total = Custo mão de obra + Custo de energia / hora economizada

Custo de mão de obra + Custo de energia = R\$ 63,46 / hora

Custo reduzido por ano: R\$ 36.552,96

Figura 26 – Estratificação do tempo de troca de molde em segundos



Fonte: O Autor (2020)

Por fim, essa redução de troca de molde viabilizou a expansão da linha de produtos rotomoldados da empresa estudada, conferindo ao setor produtivo da rotomoldagem uma maior confiabilidade para entrega da sua produção, diante da empresa.

#### 4.4 RETRABALHO DAS PEÇAS DE GEOMETRIA CIRCULAR

Foi desenvolvida uma bancada para quase que erradicar totalmente o refugo ocasionado pelo retrabalho dos vasos, como pode-se observar na Figura 27 a bancada desenvolvida apenas para corte das rebarbas dos pratos dos vasos.

Figura 27 - Melhoria no corte de vasos



Fonte: O Autor (2020)

Desperdiçava-se cerca de 1 hora diária do operador e uma perda de cerca de 5 quilogramas de matéria prima diária. Totalizando, em um mês, 24 horas (escala 6x1, trabalha 24 dias no mês) e cerca de 140 quilogramas de material. Com a perda de 24 horas de operador e 140 quilogramas de matéria prima refugada por mês, tínhamos um total de R\$ 15.840 anual.

## 5 CONCLUSÕES

Pode-se perceber que houve uma evolução no processo, a partir das ferramentas do WCM, obteve-se uma melhor compreensão do processo, um envolvimento dos operadores para contribuição nos preenchimento de planilha de controle de dados, as quais proporcionaram uma melhor visão, resultando assim numa posterior modificação do tubo de ventilação do molde, o que provocou uma redução de refugo em 50% nos moldes estudados e a abertura para novas ideias de tal forma que os operadores pudessem dar sugestões. Foi possível uma modernização das ferramentas utilizadas e das condições das travas, resultando numa redução de 57% no tempo de troca de molde, e redução em 50 % do refugo dos moldes estudados, melhor eficiência no abastecimento e menor índice de refugo provindo do retrabalho dos vasos totalizando uma economia da ordem de R\$ 59.218,62 anual.

A aplicação das ferramentas WCM está em fase de implantação, contudo, ficou evidenciado o potencial desse método em promover retornos significativos no processo, podendo-se estender o uso desse modelo para os demais outros setores da fábrica e obter ganhos ainda maiores, seja pelo ganho de eficiência produtiva, redução de refugos, quanto na melhoria de capacitação profissional, redução do tempo de indisponibilidade de máquina e redução de erros no processo.

## 6 TRABALHO FUTUROS

O autor acredita que existe a necessidade de realizar trabalhos que não foram contemplados no presente trabalho, mas que podem ser realizados no futuro, tais como:

- Otimização do número de moldes por spider
- Otimização do uso da matéria prima em outros setores
- Avaliação do aumento da capacidade de reciclagem de produtos plásticos dentro da fábrica.

## REFERÊNCIAS

- ASKELAND, D. R. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- CAVARNI, M.; MONDINI, F.; ROMBOLI, E. **Stampaggio rotazionale teoria e pratica**. Palazzago: Grafo, 2006.
- CERQUEIRA, V., e HEMAIS, C. A. Estratégia tecnológica e a indústria brasileira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 7-10, 2001.
- CESAR, M. (19 de 06 de 2020). **Startando.se**. Fonte: Startando.se: <https://startando.se/kaizen-o-sistema-toyota-de-producoes/>
- COLLARD, E. F. (1993). **The Impact of Deming Quality Management on Interdepartamental Cooperation**. *HUMANR RESOURCE DEVELOPMENT QUARTER*, 1-9.
- CROMEX. (15 de 11 de 2018). **Embalagemmarca**. Fonte: [www.embalagemmarca.com.br/2017/03/cromex-anuncia-novidades-em-masterbatches/](http://www.embalagemmarca.com.br/2017/03/cromex-anuncia-novidades-em-masterbatches/)
- DEMING, W. E. (1982). **Improvement of Quality and Productivity**. *National Productivity Review*, 12-24.
- DINIZ, H., MOREIRA, B., e SANTOS, M. (11 de 9 de 2018). **Manufatura de Classe Mundial**. Recife, Pernambuco, Brasil.
- DOX. (19 de 06 de 2020). **DOXplan**. Fonte: Doxplan: <http://www.doxplan.com/Noticias/Post/Ciclo-PDCA,-uma-ferramenta-imprescindivel-ao-gerente-de-projetos>
- DUQUE, D. F., e CADAVID, L. R. (Outubro de 2007). **Lean Manufacturing Measurement: The relationship between lean activities and lean metrics**. *Estudios Gereciales*, pp. 69-83.
- FARIA, A. C., VIEIRA, V. S., e PERETTI, L. C. (2012). **Redução de custos sob a ótica da manufatura enxuta em empresas de autopeças**. *Revista Gestão Industrial*, 186-208.
- GAITHER, N., e FRAZIER, G. (2002). **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: CENGAGE Learning.
- GHINATO, P. (2000). **Produção e Competitividade: Aplicações e Inovações**. Recife: Editora UFPE.
- GHOBIADIAN, A., e SPELLER, S. (1994). **Gurus of Quality: a framework for comparison**. *Total Quality Management*, pp. 53-70.

LIKER, J. K., e MEIER, D. (2007). **O Modelo Toyota-Manual de Aplicação: Um Guia Prático para a Implementação dos 4Ps da Toyota**. Bookman Editora.

MANTOVANI, R. (25 de 07 de 2020). **Rotomoldagem: Aplicação**. Fonte: Plástico: [https://www.plastico.com.br/rotomoldagem-aplicacao-de-superficies-estendidas-em-moldes-melhora-troca-termica-e-acelera-processo-de-transformacao/artigo-tecnico\\_rotomoldagem\\_figura\\_02/](https://www.plastico.com.br/rotomoldagem-aplicacao-de-superficies-estendidas-em-moldes-melhora-troca-termica-e-acelera-processo-de-transformacao/artigo-tecnico_rotomoldagem_figura_02/)

MENDES, R. d. (23 de Novembro de 2017). **Gestão do Conhecimento aplicada ao Modelo de World Class Manufacturing**. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

MIRANDA, d. S. (15 de 10 de 2018). Fonte: LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/wcm-world-class-manufacturing-produ%C3%A7%C3%A3o-de-classe-miranda-da-silva>

NUNES, M. A. (Junho de 2015). **Rotomoldagem principais conceitos e inovações**. São Carlos, São Paulo, Brasil.

OHNO, T. (1997). **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman.

PETRONOTÍCIAS. (26 de 11 de 2018). Fonte: Petronoticias: <https://www.google.com.br/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiyZXa2fHeAhVCx5AKHYyqDIQQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fpetronoticias.com.br%2Farchives%2F101144&psig=AOvVaw3bfl8YDmnsLnRbLwp30A-X&ust=1543309227595446>

RIBEIRO, A. P. (08 de Março de 2014). **Utilização da manufatura de classe mundial (WCM) como uma ferramenta estratégica de diferenciação competitiva**. Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

ROTHER, M., e SHOOK, J. (1998). **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil.

ROTODESIGN. (20 de 11 de 2018). Fonte: Rotodesign: <https://rotodesign.wordpress.com/paradesigners/>

ROTOLINE. (10 de 11 de 2018). Fonte: ibtmoldes: <http://www.ibtmoldes.ind.br/moldes-injecao/moldes-de-rotomoldagem>

ROTOLINE. (10 de 11 de 2018). *Rotoline*. Fonte: Rotoline: [www.rotoline.com](http://www.rotoline.com)

SCHONBERGER, R. J. (1986). **World Class Manufacturing: The Lessons of Simplicity Applied**.

SLACK, N., CHAMBERS, S., e JOHNSTON, R. (2007). **Operations Management**. Em N. Slack, *Operations Management* (p. 755). Pearson Education Limited.

SULPLAST. (25 de 07 de 2020). **Rotomoldagem**. Rio Claro, São Paulo, Brasil.

SUPERGÁS. (26 de 11 de 2018). Fonte: Comercialsupergasbras:  
<https://www.google.com.br/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjzs-6x2fHeAhWEFZAKHYzWCsoQjRx6BAgBEAU&url=http%3A%2F%2Fwww.comercialsupergasbras.com.br%2Fam%2Fcondominio%2F&psig=AOvVaw3bfl8YDmnsLnRbLwp30A-X&ust=1543309227595446>

TOTAL, Q. (29 de 11 de 2018). **Qualidade Total**. Fonte: Apostilasdaqualidade:  
<http://www.apostilasdaqualidade.com.br/os-5-porques-5-why-analise-da-causa-raiz/>

WHITE, T., e L., J. (1992). **The Effect of Colorants on the Properties of Rotomolded Polyethylene Parts**. 1-9.

WOMACK, J. P., e JONES, D. T. (2003). **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**. New York: Free.