

N. CLASS. M 620.1
CUTTER M 357 e
ANO/EDIÇÃO 2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
MATHEUS DIEGO MARQUES

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO: Rotomoldagem e
Sopro**

Varginha
2015

MATHEUS DIEGO MARQUES

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO: Rotomoldagem e
Sopro**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia
Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas
– UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do
grau de bacharel, sob orientação do Professor Esp.
Fabiano Farias de Oliveira.

Varginha

2015

MATHEUS DIEGO MARQUES

COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO: Rotomoldagem e Sopro

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais Ana Lúcia e Sebastião, minha irmã Ana Luísa, e minha namorada Priscila, por todo apoio, carinho e incentivo durante todo o curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e força nesta jornada de estudos, ao diretor da empresa onde o estudo foi desenvolvido, meus colegas de trabalho por todo conhecimento transmitido e apoio durante a realização do mesmo.

“O Senhor é o meu pastor, nada me
faltar.”
(Salmos 23:1)

RESUMO

O presente trabalho é um estudo de caso entre os processos de fabricação por rotomoldagem e sopro, ambos os processos utilizados para produção de peças de plástico, neste caso o tubo especial de ricota especificadamente, para então ser enviado aos clientes, às indústrias de laticínios. Sabendo da competitividade no mercado atual, a grande importância da engenharia nos dias de hoje se dá na realização de estudos e projetos onde há contribuições relevantes para as empresas, meio ambiente, sociedade em geral, com isso a primeira etapa do trabalho foi uma pesquisa sobre a matéria-prima e os processos citados, para um melhor conhecimento dos mesmos. Nas etapas seguintes foram coletados os dados da fabricação do produto em vários dias de produção e então feita uma média dos dados para a análise final. O objetivo do trabalho foi alcançado com sucesso, onde na terceira etapa do trabalho se pode concluir que a produção pelo processo de sopro, em larga escala, se torna mais vantajosa do que no processo de rotomoldagem, tendo suas propriedades melhoradas e uma grande redução no custo do produto.

Palavras-chave: Plástico. Processo de Rotomoldagem. Processo de Sopro.

ABSTRACT

The present work is a case study of manufacturing processes for rotomolding and blow molding, both processes used for the production of plastic parts, in this case, the special tube of ricotta, specifically, to then be sent to customers: the dairy industries. Knowing competitiveness in the current market, the importance of engineering nowadays is given to carrying out studies and projects where there are outstanding contributions to business, environment and society at large. Thereby, the first step of the study was a survey of the raw material and the above processes, to a better understanding of them. All following steps were collected product manufacturing data on several days of production and then made an average of the data for final analysis. The objective was successfully achieved, which in the third stage of the work can be concluded that the output of the blow molding process, on a large scale, becomes more advantageous than in the rotational molding process, with its improved properties and a large reduction in product cost.

Key words: *Plastic. Rotational molding process. Blow molding process.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Esquema de obtenção de plásticos a partir do petróleo	12
Figura 02 - Representação da cadeia molecular do PEBD	13
Figura 03 - Representação da cadeia molecular do PEAD	13
Figura 04 - Etapas do processo de rotomoldagem	18
Figura 05 - Comportamento do material durante o aquecimento	19
Figura 06 - Ciclo térmico do processo de rotomoldagem	20
Figura 07 - Máquina tipo Carrossel com quatro braços	21
Figura 08 - Máquina tipo carrossel com três braços	21
Figura 09 - Esquema do processo de sopro	23
Figura 10 - Exemplo de máquina Sopradora	24
Figura 11 - Ilustração de uma máquina de moldagem por sopro	26
Figura 12 - Molde do tubo de ricota da rotomoldagem	28
Figura 13 - Molde do tubo de ricota da sopradora	29
Figura 14 - Exemplo da disposição dos canais de refrigeração no molde	30
Figura 15 - Tabela de composição dos preços	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Plásticos.....	11
2.1.1 Características.....	12
2.1.2 Utilização.....	14
2.2 Processo de rotomoldagem.....	15
2.2.1 Histórico.....	15
2.2.2 Etapas do processo.....	17
2.2.3 Tipos de máquinas.....	20
2.3 Processo de sopro.....	22
2.3.1 Características.....	22
2.3.2 Componentes da máquina.....	23
2.3.3 Equipamentos Opcionais.....	26
2.4 Os moldes.....	27
2.4.1 Rotomoldagem.....	27
2.4.2 Sopro.....	28
2.4.2.1 Seleção de materiais.....	29
2.4.2.2 Dimensões.....	29
2.4.2.3 Requisitos do sistema de fechamento.....	31
3 METODOLOGIA.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
ANEXOS.....	37
APÊNDICES.....	39

1 INTRODUÇÃO

A grande importância da engenharia nos dias de hoje está na realização de estudos onde há contribuições relevantes para as empresas, sociedade, meio ambiente etc., no sentido de melhoria de processos existentes ou criação de protótipos, que em muitas vezes aperfeiçoam uma linha de produção em série, reduzindo os refugos e aumentando a velocidade de produção.

O homem desde o começo de sua existência procurou dar formas aos materiais encontrados na natureza, de modo a confeccionar utensílios, ferramentas, armas, incrementando seu domínio no ambiente ao seu redor, com isso proporcionando um desenvolvimento evolutivo, tanto cerebral quanto ao corpo, melhorando assim suas habilidades e com isso também sua qualidade de vida. Com a diversidade de equipamentos criados pelo homem e o avanço das tecnologias atuais, o engenheiro procura sempre fazer várias análises para uma melhor elaboração e execução de um projeto.

Segundo Barnett e Clark (1998), os produtos têm uma vida útil limitada e precisam ser aperfeiçoados, desenvolvidos e inovados se a empresa deseja manter-se competitiva. A atual qualidade está relacionada às necessidades e anseios dos clientes, com isso observam-se programas de qualidade e melhoria de processos na maioria dos setores econômicos, junto com o treinamento adequado, podendo significar o êxito do empreendimento.

O mercado encontra-se cada vez mais competitivo, com políticas de qualidade pregando a melhoria contínua independente do ramo de atividade e abrangência de atuação, visando não ficarem obsoletos, podendo ser implantadas diversas ferramentas tais como: PDCA, 6 M'S, CEP, dentre outras.

O objetivo deste trabalho é montar um estudo de caso de dois processos de fabricação em uma empresa da região do Sul de Minas, para uma mesma peça fabricada de polietileno, o tubo especial de ricota (TER), visando obter os dados para comparação dos custos e também a qualidade intrínseca do produto em questão, visto que este produto tem uma alta demanda de venda e a empresa conta com um setor novo de máquinas sopradoras que podem aumentar sua produtividade.

Com isso foi realizada uma pesquisa bibliográfica demonstrando a história e evolução dos produtos plásticos no mercado, em seguida as características dos processos de rotomoldagem e sopro, e foram coletados os dados na empresa em vários dias de fabricação do produto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Plásticos

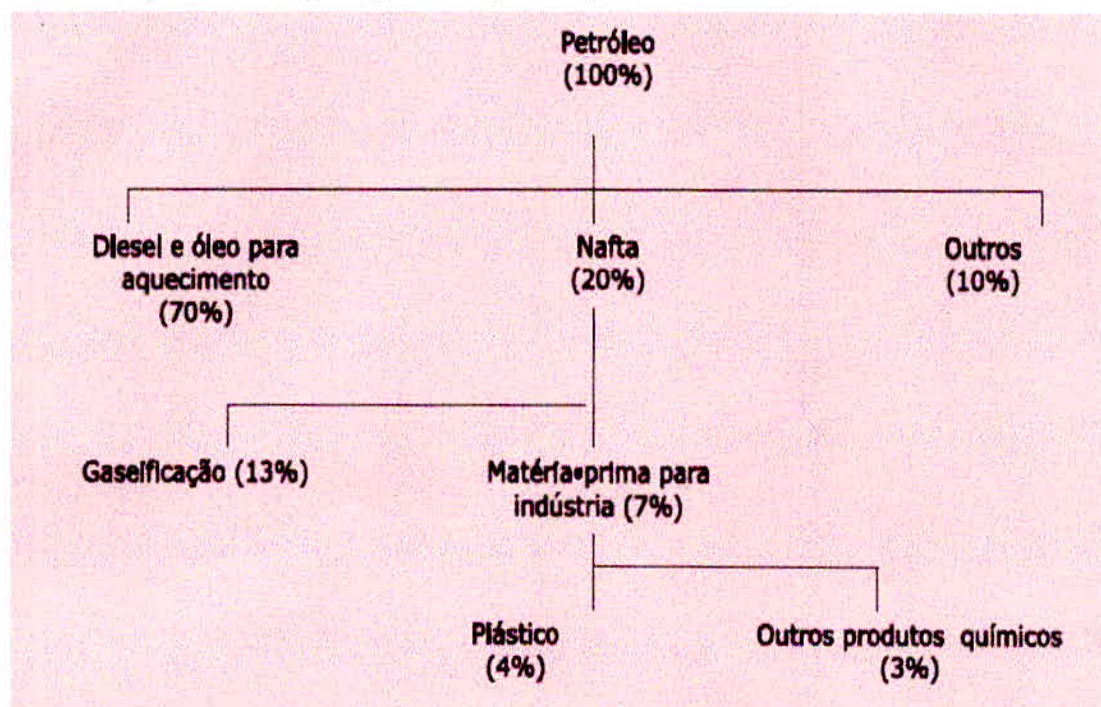
No início do século XX foram desenvolvidos novos tipos de materiais denominados plásticos, que aos poucos foram ganhando espaço na sociedade, e com isso uma maior utilização na fabricação dos mais variados objetos. Sua grande versatilidade vem provocando mudanças no consumo, e conseqüentemente, no estilo de vida das pessoas. Um dos aspectos decisivos, responsáveis pela grande disseminação no uso do plástico, é o econômico, pois é possível confeccionar os mais diferentes artigos e objetos de plástico com custo reduzido, portanto mais acessíveis à população (PIATTI, 2005).

A palavra “plástico” vem do grego *plastikós*. Ela é empregada em várias áreas do conhecimento humano, apresentando um espectro de significados, mas em geral se refere a algo moldável. Assim, quando falamos de cirurgião plástico ou artista plástico estamos nos referindo a profissionais que tentam dar novas formas, moldar, reconstituir, modelar (PIATTI, 2005).

As substâncias utilizadas como matéria-prima na preparação de plásticos são obtidas principalmente a partir do petróleo e são denominadas monômeros.

O petróleo é constituído por uma mistura de compostos orgânicos, principalmente hidrocarbonetos. Através do processo de destilação fracionada do óleo cru, que ocorre nas refinarias, são obtidas várias frações (ver figura 1): o gás liquefeito, a nafta, a gasolina, o querosene, o piche, o óleo diesel, as graxas parafínicas, os óleos lubrificantes. A fração da qual são obtidos os monômeros é a nafta, que submetida a um processo de craqueamento térmico (aquecimento na presença de catalisadores), dá origem a várias substâncias, entre elas o etileno, propileno, butadieno, buteno, isobutileno, denominados petroquímicos básicos. Estes, por sua vez, são transformados nos chamados petroquímicos finos, tais como polietileno, polipropileno, policloreto de vinila etc. Na etapa subsequente, os petroquímicos finos são modificados quimicamente ou transformados em produtos de consumo (PIATTI, 2005).

Figura 1- Esquema de obtenção de plásticos a partir do petróleo.



Fonte: (PIATTI, 2005).

2.1.1 Características

Os polímeros são produzidos por reações de condensação, adição e copolimerização. Num polímero de condensação, o monômero combina-se com a eliminação de um subproduto, tal como água, bióxido de carbono, ácido clorídrico, amônia, etc. (ROMAN, 1995).

Genericamente os plásticos são classificados em dois grupos: Termofixos e Termoplásticos. O produto em estudo se encaixa no grupo dos Termoplásticos, que podem ser amolecidos (quando fundidos) e endurecidos (quando resfriados) inúmeras vezes, não obstante os problemas de deterioração de suas propriedades químicas e físicas.

As propriedades de um polímero dependem principalmente de alguns fatores que determinam seu campo de aplicação. Os fatores que mais afetam as propriedades das resinas são:

- a) Composição Química
- b) Estrutura de Polímero
- c) Distribuição do Peso Molecular
- d) Cristalinidade

- e) Temperatura de processamento
- f) Aditivos
- g) Orientação molecular.

A composição química da resina, evidentemente, é o principal determinante das suas propriedades. Um plástico formado com um tipo de monômero, por exemplo, o etileno é diferente de outro formado com amida. O etileno polimerizado resultará no polietileno. Muito diferente da poliamida ou nylon, que é o polímero da amida. Sendo a composição química destes bastante distintas, suas propriedades e aplicações também serão orientadas para segmentos diferentes (ROMAN, 1995).

Complementando sobre a composição química, a estrutura afetará substancialmente as características do polímero. O polietileno é dentre os plásticos o que tem a estrutura mais conhecida. Neste ponto pode-se comparar a estrutura do polietileno de baixa densidade (PEBD) com a do polietileno de alta densidade (PEAD).

O PEBD possui uma cadeia mais ramificada, o que lhe confere menor temperatura de amolecimento, menor resistência física, etc. (ROMAN, 1995).

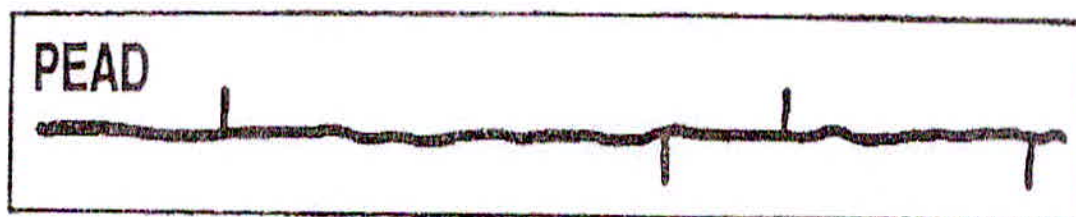
Figura 2- Representação da cadeia molecular do PEBD



Fonte: (ROMAN, 1995).

O PEAD com uma estrutura mais linear é mais cristalino, mais rígido e mais resistente mecanicamente. Por isto sua aplicação é mais orientada à moldagem por sopro e injeção (ROMAN, 1995).

Figura 3- Representação da cadeia molecular do PEAD



Fonte: (ROMAN, 1995).

2.1.2 Utilização

Os plásticos são leves se comparados com a madeira, metais e cerâmicas. A utilização de peças de plástico tornou os automóveis e aviões muito mais leves, portanto, mais econômicos. Além disso, os plásticos são facilmente processáveis a temperaturas baixas se comparadas com a temperatura de processamento de outros materiais tais como o aço e o alumínio. Portanto, o consumo de energia é relativamente baixo, o qual se reflete no custo de fabricação (PIATTI, 2005).

Muitas outras propriedades tornam o plástico um material versátil: baixa condutibilidade elétrica e térmica; alta resistência ao ataque químico de substâncias tais como o oxigênio, ácidos, bases etc. Outra vantagem é que as resinas plásticas podem ser facilmente misturadas com outras substâncias que podem lhes conferir novas propriedades, sendo possível alterar cor, cheiro, elasticidade, resistência a impactos, resistência ao calor e à luz etc., ampliando as possibilidades de aplicações. Estas substâncias são denominadas aditivos.

As matérias plásticas até chegar ao seu destino, os consumidores, são submetidas a diversas etapas de produção, e por fim se dá a forma de objetos. Uma destas etapas é a moldagem. A mistura composta pela resina polimérica e diferentes aditivos deve ser moldada para adquirir a forma do objeto desejado. Vários são os processos de moldagem: calandragem, injeção, extrusão, sopro, fiação por fusão, compressão, etc. (PIATTI, 2005).

Na maioria dos casos, a mistura passa por um estado fluido, pela ação do calor, com ou sem pressão, ou pela adição de um veículo líquido. Uma das razões que fazem os plásticos serem materiais de uso cada vez mais difundido é a sua durabilidade, que lhes confere resistência aos diversos tipos de degradação (biodegradação quimiodegradação, fotodegradação), uma consequência de sua estabilidade estrutural. Alguns tipos de plásticos, por exemplo, necessitam muitos anos e até séculos para se degradar. Se a durabilidade dos plásticos por um lado é uma vantagem, por outro, representa um sério problema ecológico, pois são muito usados na fabricação de produtos de embalagens, usualmente descartadas após utilização e que vão se acumulando ao longo do tempo no meio ambiente, provocando uma forte poluição visual. O plástico tornou-se um símbolo da sociedade de consumo descartável, depois do papel é o segundo item mais comum nos lixos. Entretanto, a opção de não utilizar as matérias plásticas é considerada inviável por muitos especialistas, que afirmam que a substituição destes por outros materiais tais como papel, metais, vidro, madeira, resultaria no aumento de peso e volume do lixo, e o conseqüentemente um aumento dos custos com coleta e tratamento. Não podemos esquecer que a substituição de embalagens plásticas por papel

significaria em um aumento no consumo de árvores e destruição das florestas, que é um problema grave no Brasil e também mundial (PIATTI, 2005).

2.2 Processo de Rotomoldagem

A rotomoldagem, também chamada de moldagem rotacional ou fundição rotacional, é um processo de transformação de plásticos que abrange diversos artigos ocios, vazados ou abertos, desde artigos pequenos, como bolas para tênis-de-mesa, até grandes como tanques para armazenamento de líquidos e caixas d'água. Outros produtos abrangem a área da saúde, indústria química e agrícola, construção civil, instrumentos domésticos, móveis e artigos de decoração, brinquedos, lixeiras, tanques, dentre muitos outros (OLIVEIRA, 1998).

Do ponto de vista do processo, não há limites quanto aos que lhe permite competir com artigos moldados por injeção, sopro, extrusão ou termoformagem.

2.2.1 Histórico

Relatos indicam que a rotomoldagem foi utilizada inicialmente pelos egípcios e gregos para a fabricação de peças cerâmicas através do processo atualmente conhecido como "slipcasting" (TRM, 2007).

Embora haja indícios de que, em meados de 1600, os suíços tenham utilizado pela primeira vez a moldagem rotacional para confeccionar ovos de chocolates ocios, o primeiro registro de patente de máquina aconteceu em 1855, ou seja, antes da existência do plástico (TRM, 2007). Essa patente foi concedida ao britânico R. Peters, registrando o uso de uma máquina térmica biaxial utilizada para criar peças bélicas, confeccionadas em material metálico e embarcações ocios. Nos Estados Unidos, em 1905, um mecanismo semelhante foi utilizado por F.A. Voelke para a confecção de objetos ocios de cera. Cinco anos depois, G.S. Baker's e G.W. Perks também teriam utilizado este processo para a criação de ovos ocios de chocolate.

Segundo Ward (1997), tendo sido utilizadas para variados fins, as máquinas de rotomoldagem foram exploradas em vários países da Europa, até que, no ano de 1920, em Paris, R.J. Powell submeteu gesso à rotomoldagem de polímeros, como se conhece atualmente.

Os polímeros foram introduzidos oficialmente à rotomoldagem em 1950, tendo sua primeira aplicação em cabeças de bonecas de brinquedo, em uma máquina movida por um

motor elétrico externo e aquecimento a gás. O molde foi construído de uma liga de cobre e níquel e o polímero utilizado foi o PVC (TRM, 2007).

Ainda na década de 50, ocorreram dois grandes desenvolvimentos: a introdução de polímeros pulverizados especialmente produzidos para moldagem rotacional e forno com aquecimento através da circulação de ar quente (ZUIM, 2013).

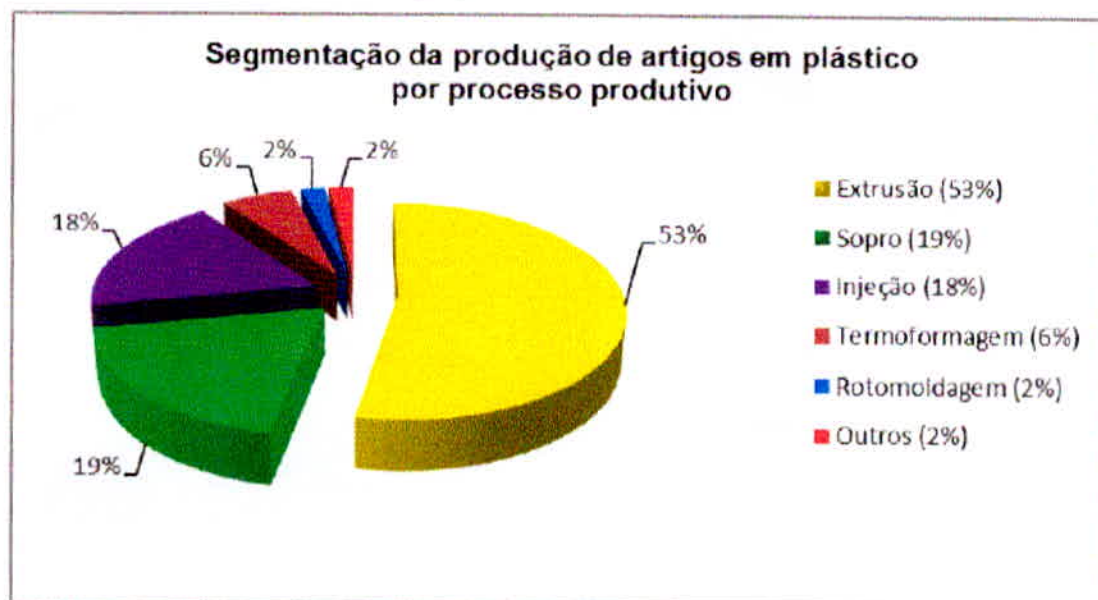
A partir da década de 70, surgiram as outras evoluções consideráveis dentro da rotomoldagem, com o início, nos Estados Unidos e Europa, de novos polímeros aplicáveis ao processo. O polietileno linear micronizado passou a ser utilizado na fabricação de novos produtos com tamanhos considerados grandes (ZUIM, 2013).

Na década de 80, o processo de rotomoldagem ficou ainda conhecido devido ao aumento das indústrias fornecedoras de matéria prima ao redor do mundo. Em resposta a crescente demanda de consumo de produtos rotomoldados, novos materiais se tornaram disponíveis para o processo, incluindo policarbonatos, poliésteres, polipropileno (PP), PEBD, nylon, ABS e PEAD (ZUIM, 2013).

Por fim, a partir dos anos 80, houve um crescimento significativo da utilização do processo de rotomoldagem e já no ano de 2006 alcançava a marca de 400.000 toneladas por ano (HARPER, 2006). Porém, se comparada a processos como injeção, extrusão e sopro, ainda é pouco utilizada, representando apenas 2% do mercado de plásticos, conforme ilustrado no gráfico 1.

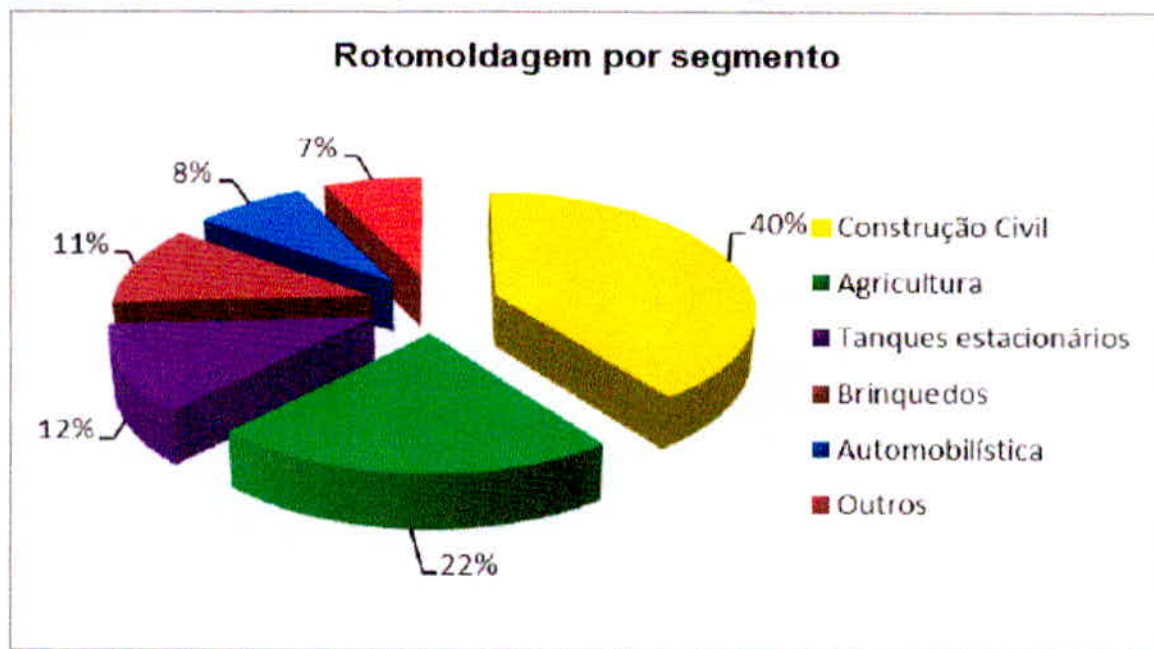
Dentre desses 2%, o segmento que detém a maior representatividade deste mercado é o da construção civil, com 40% de participação, como é demonstrado no gráfico 2. Essa elevada participação se deve, basicamente, a um produto em especial: as caixas d'água. Devido à grande tendência mundial de eliminar o uso desse produto fabricado com fibrocimento que contém fibras de amianto, cuja inalação acredita-se provocar doenças graves, migrando assim o produto para a rotomoldagem (UEKI e PISANU, 2007).

Gráfico 1: Processos produtivos de artigos plásticos



Fonte: (UEKI e PISANU, 2007).

Gráfico 2: Representatividade dos segmentos de produtos da rotomoldagem

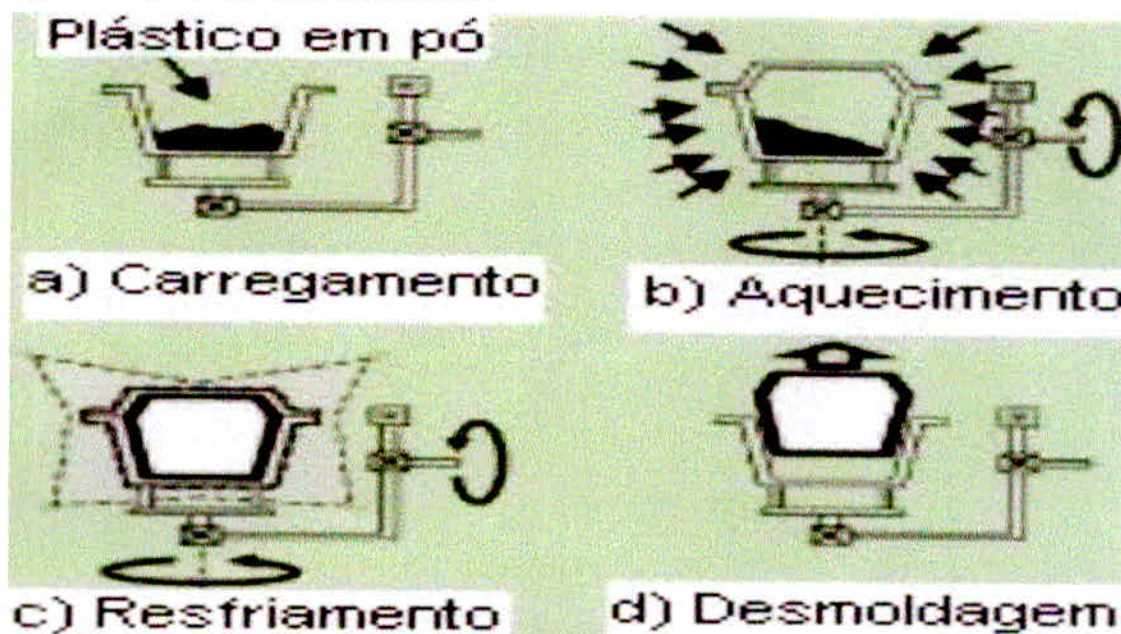


Fonte: (UEKI e PISANU, 2007).

2.2.2 Etapas do processo

Basicamente, o processo de rotomoldagem envolve quatro etapas (SILVA, 2015), conforme pode ser visto na figura 4:

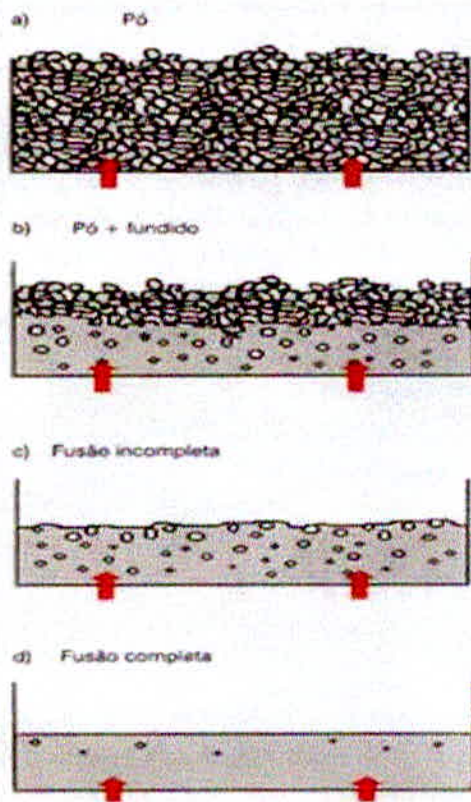
Figura 4- Etapas do processo de rotomoldagem



Fonte: (SILVA, 2015).

- a) Carregamento: a cavidade de um ou mais moldes bipartidos, abertos, são carregadas com uma quantidade pré-determinada de material, geralmente em pó, e a alimentação ocorre manualmente, após o carregamento os moldes são manualmente fechados por cintas, grampos ou parafusos, seguindo-se para próxima etapa.
- b) Aquecimento: os moldes são posicionados em um forno e rotacionados biaxialmente, de modo que o material é distribuído e fundido sobre as superfícies internas do molde, a temperatura pode variar de 200 a 400°C, dependendo do polímero a ser moldado. No início do processo o material, em forma de pó, não está aderido à superfície do molde, mas quando é atingida a temperatura de amolecimento do polímero, esta começa a aderir à superfície do molde. Com a continuidade do aquecimento, objetiva-se, então, a fusão completa do material (figura 5).

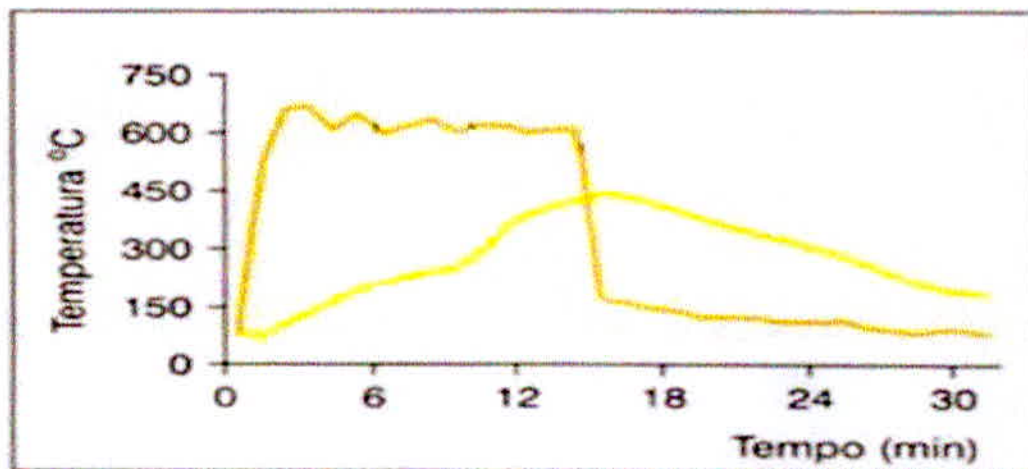
Figura 5- Comportamento do material durante o aquecimento



Fonte: (UEKI e PISANU, 2007).

c) Resfriamento: ainda em rotação, os moldes são removidos do forno e posicionados num ambiente de resfriamento, a remoção de calor dos moldes pode ser feita pelo ar ambiente, por ar forçado ou ainda por aspersão (neblina). O processo de resfriamento possui grande influência sobre as propriedades mecânicas da peça moldada. Se esta for lenta para materiais semicristalinos como o polietileno, haverá tempo suficiente para o crescimento de cristais, resultando em peças de alta rigidez, porém com baixa resistência ao impacto. Se o resfriamento for rápido, gera variações na estrutura do material com diferentes níveis de contração do polímero, com possibilidade de haver o empenamento da peça. Segundo Crawford (1988), o tempo de resfriamento depende dos seguintes fatores: Temperatura ambiente, espessura da peça, material e características superficiais do molde, volume e velocidade do ar, temperatura e vazão da água, taxa retirada do ar e da água da estação de resfriamento. O ciclo térmico do processo de rotomoldagem, da entrada do molde no forno até a desmoldagem está representado na figura 6, onde a linha laranja representa a temperatura no forno e a linha amarela indica a temperatura no interior do molde.

Figura 6- Ciclo térmico do processo de rotomoldagem



Fonte: (UEKI e PISANU, 2007).

- d) Desmoldagem: terminado o tempo previsto para a solidificação e resfriamento complementar das peças, os movimentos rotativos são cessados e os moldes são abertos, para que as mesmas sejam removidas manualmente e devem ser mantidas em uma mesa ou plataforma específica para resfriá-las e permitir a estabilização total de sua estrutura e dimensões, as peças geralmente se encontram com temperatura próxima a 50°C, dependendo do seu tipo e formato. Depois da extração da peça o molde é novamente carregado com material e o ciclo recomeça.

Segundo Silva (2015), duas características do processo de rotomoldagem são específicas a este processo, em relação aos demais na área transformação dos termoplásticos:

- Neste processo não necessita de uma aplicação de pressão no material plastificado para a moldagem, com isto resulta-se na ação da força da gravidade; enquanto todos os outros processos, o material é submetido à grandes forças de cisalhamento para ser conformado;
- A fusão da matéria prima e a solidificação da mesma ocorrem no mesmo local, ou seja, um mesmo molde precisa ser aquecido e resfriado a cada ciclo.

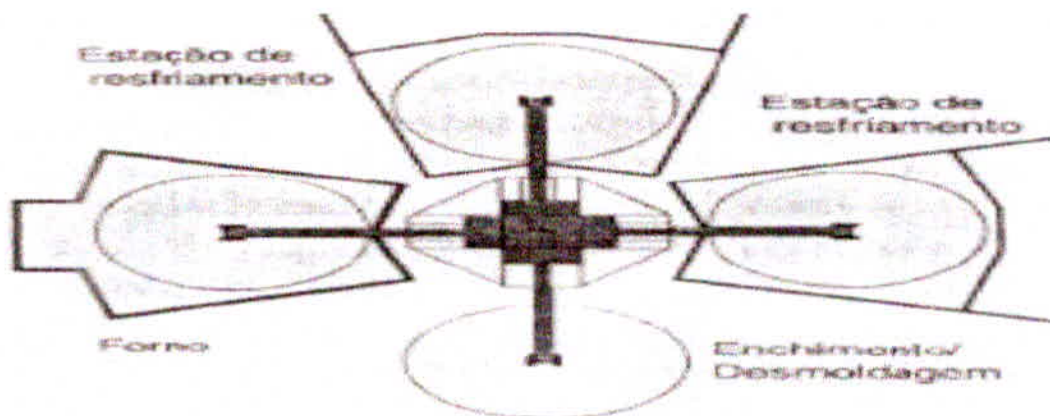
2.2.3 Tipos de máquinas

Existem vários tipos de máquinas, onde as três principais são:

- Carrossel ou Turret;
- Tipo shuttle ou “deslizante”;
- Tipo clamshell ou “ostra”.

Este trabalho focará na máquina no tipo Carrossel (figura 7), que é o tipo de máquina existente na empresa onde foi realizado o estudo de caso.

Figura 7- Máquina tipo Carrossel com quatro braços



Fonte: (RAHNER, 1999).

A máquina da empresa é constituída de três estações fisicamente separadas e os braços ficam presos aos carros, onde são montados um ou mais moldes. Para a seleção desta máquina é imprescindível que a duração dos ciclos de aquecimento e resfriamento de cada produto seja similar, e que a disponibilidade de espaço não seja crítica. Embora não sejam indicadas para altos níveis de produção, são máquinas muito eficientes, de alto rendimento e de baixo custo de manutenção. Na figura 8 encontra-se uma máquina deste tipo, onde o braço dois iniciará a sua etapa de aquecimento no forno e o braço três aguarda para sua etapa de desmoldagem, logo, pode-se afirmar que o braço um encontra-se na posição de resfriamento das peças.

Figura 8- Máquina tipo carrossel com três braços



Fonte: O autor.

2.3 Processo de sopro

A primeira patente para moldagem de pré-forma de polímero extrudado foi obtida em 1 de fevereiro de 1881, pela Celluloid Novelty Co. e Celluloid Manufacturing Co. de New York. No decorrer do século passado um grande desenvolvimento tecnológico e de novos produtos ocorreu, o que continua atualmente acontecendo (ROMAN, 1995).

Embora haja uma forte similaridade entre a fabricação de frascos de vidro e plástico, o termo moldagem por sopro pertence ao segmento dos plásticos. Na área de industrialização de vidro, usa-se o termo “sopro de vidro” (ROMAN, 1995).

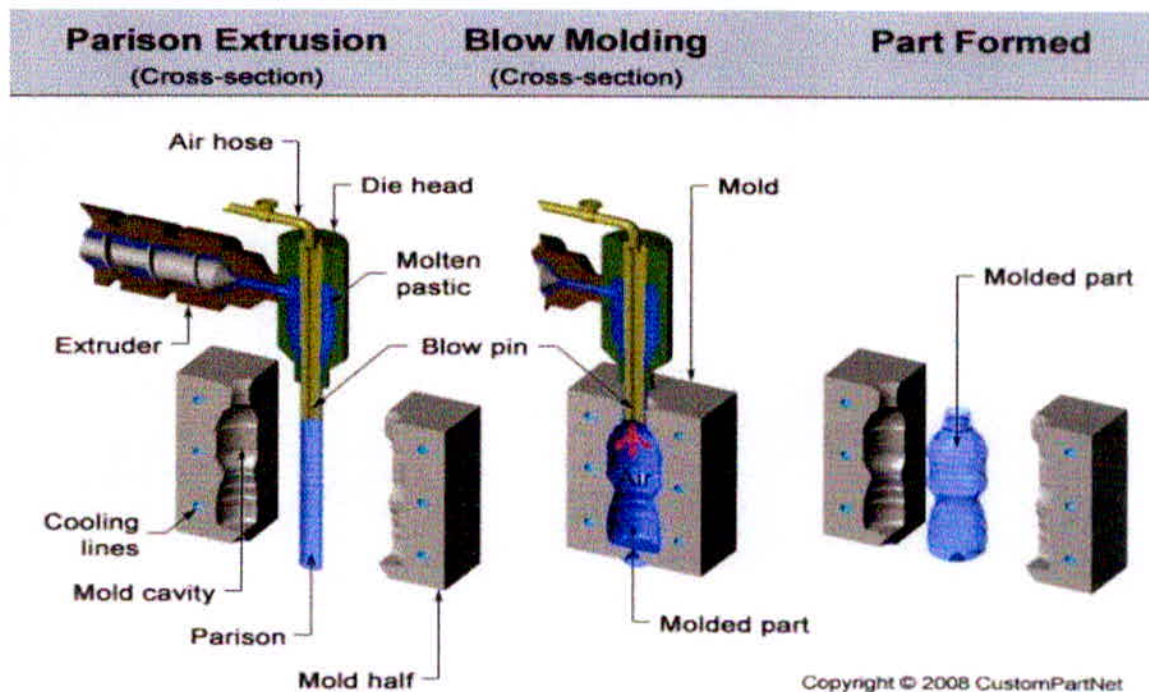
O grande desenvolvimento comercial do processo iniciou com a disponibilidade do polietileno de baixa densidade durante a segunda guerra mundial. Em 1940, a Monsanto moldou frascos elásticos ou que se podia comprimir. O que propiciou a fabricação de frascos para produtos de limpeza no mercado de detergentes. Este mercado cresceu velozmente e substituiu o vidro que é volumoso e perigoso para a saúde devido sua fragilidade à quebra. A indústria atacou, então, o mercado de xampu e sabão líquido. O maior mercado potencial é o da indústria alimentícia que se pronunciou em 1950 (ROMAN, 1995).

2.3.1 Características

A moldagem por sopro é um processo usado para produção de peças ocas, tais como frascos, vasilhames, bonecas, carrinhos de brinquedo, peças automobilísticas, entre outras, utilizando-se dos termoplásticos.

O processo básico para produção envolve algumas etapas, como: produção de uma pré-forma (parison), que é colocada dentro de um molde com a forma da peça a ser produzida. Injeta-se então, gás pressurizado (normalmente ar) dentro do parison aquecido, forçando-o em direção às paredes do molde. Em seguida, a pressão é mantida até o resfriamento e solidificação da peça, para posterior abertura do molde e remoção da peça soprada, conforme mostra o esquema da figura 9.

Figura 9- Esquema do processo de sopro



Fonte: (ALVES, 2013).

A essência do projeto abrange esses estágios. As técnicas, tipos de sopradoras e acessórios fazem o processo ser mais ou menos desenvolvido tecnologicamente. Com isso os produtos soprados terão sua qualidade de acordo com o nível de transformação adotado (ROMAN, 1995).

2.3.2 Componentes da máquina

A máquina sopradora (figura 10) é um conjunto de mecanismos combinados em que, o acionamento, ou seja, o movimento dos componentes é executado através de circuitos pneumáticos, hidráulicos e/ou elétricos (CARASSINI, 2012).

Figura 10- Exemplo de máquina Sopradora



Fonte: O autor.

A máquina sopradora é composta por:

- a) Zona de extrusão;
- b) Base estrutural;
- c) Zona de moldagem;
- d) Sistema hidráulico;
- e) Sistema pneumático;
- f) Sistema de refrigeração;
- g) Sistema de acionamento e controle.

A unidade de extrusão é a responsável por transportar o material plástico até a saída do cabeçote e plastificá-lo por meio da ação do calor e da compressão, promovendo a homogeneização da massa fundida através da contrapressão que o material recebe ao passar através da porta-telas e ao sofrer a restrição no cabeçote (CARASSINI, 2012).

O cilindro de plastificação é aquecido por meio de resistências, que estão dispostas em Zonas de Aquecimento, proporcionando melhor distribuição temperatura e homogeneização térmica do material plástico (CARASSINI, 2012).

O transporte do material plástico é realizado pelo movimento giratório, em função do perfil helicoidal (trajetória em forma de hélice) de seus filetes, fazendo com que o material plástico seja deslocado em direção à ponta da rosca (CARASSINI, 2012).

A plastificação do material plástico na rosca é realizada pela ação conjunta de cisalhamento (esmagamento) dos grânulos e da temperatura, em função de um determinado tempo de exposição e permanência dos grânulos dentro do cilindro de plastificação (CARASSINI, 2012).

O sistema hidráulico, numa sopradora, possui algumas funções básicas: abertura e fechamento dos moldes, avanço e recuo dos carros (estações), movimentação do sistema programador de parison, acionamento do mandril de sopro (pino), etc. (CARASSINI, 2012).

O sistema pneumático funciona pela ação do ar comprimido nos componentes, para realizarem determinadas operações, em que a velocidade se faz necessária, mas a exigência de alta pressão não é um fator determinante. As principais aplicações para esse sistema, na sopradora, são: o sopro (moldagem, calibração e resfriamento), movimentação do mandril (pino de sopro), em máquinas de pequeno porte; acionamento da faca, ar de apoio e refrigeração, automação, manipulação de peças, testes em linha, etiquetagem, envase em linha, etc. (CARASSINI, 2012).

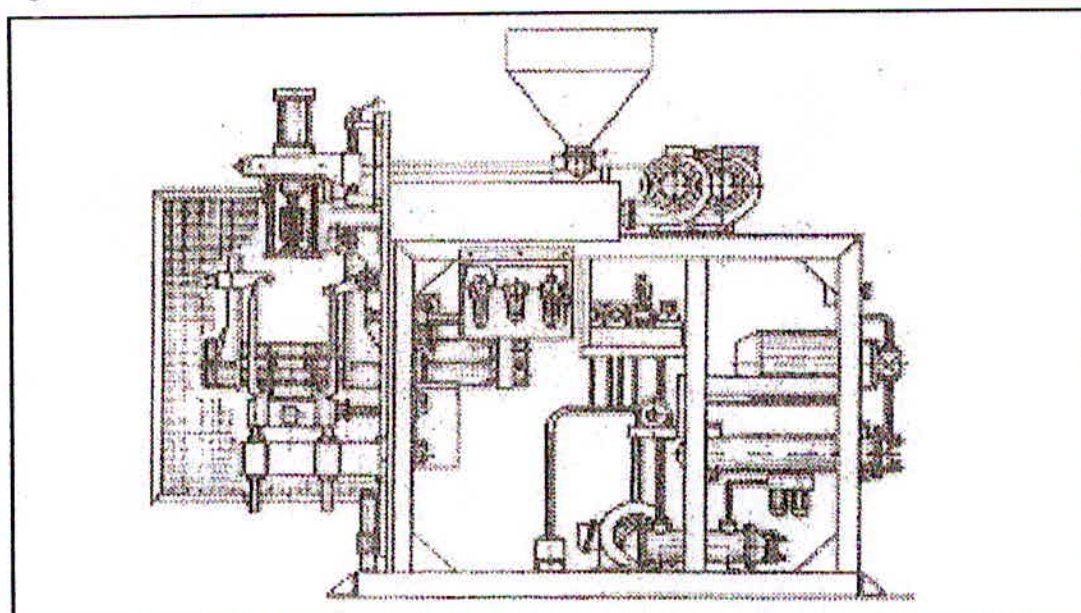
O sistema elétrico é o responsável por fornecer a energia para todas as partes da máquina, possibilitando assim, a distribuição dos sinais elétricos para aquecimento, monitoração, acionamentos, temporização, leituras e programações. Também pertencente ao sistema elétrico da máquina, o painel, que pode ser embutido ou não, é o componente que porta os componentes elétricos de programação, controle, acionamentos, aquecimento, segurança, leitura dos parâmetros, etc. Este pode ser um módulo, localizado próximo à máquina ou móvel, permitindo o acesso rápido. O painel pode ser integrado a blocos de programação, permitindo também interface com sistemas de controle de produção e saída de dados (impressora, terminais, etc.)

Na unidade de calibração de uma sopradora de dupla estação, o conjunto pino é formado de pino de sopro, bucha de corte, ponteira e sistema de refrigeração, e é o responsável direto pela introdução do ar dentro do parison (para a moldagem da peça) e também pelo corte da rebarba, através da bucha de corte, bem como a determinação dimensional do diâmetro interno do gargalo (CARASSINI, 2012).

O programador de parison é um equipamento que trabalha em sistema eletrônico-hidráulico ou eletroeletrônico (com um servo-atuador elétrico) em regime de malha fechada, ou seja, com controle, atuação, sensoramento e retroalimentação de sinais o que permite a correção dos comandos elétricos ponto a ponto durante a operação de controle da espessura do parison (CARASSINI, 2012).

O funcionamento básico do programador de parison, em uma sopradora, se dá pelo trabalho em conjunto do programador, de uma servo-válvula acoplada a um servo-atuador (cilindro hidráulico especial) que movimenta o conjunto do macho do cabeçote, onde raramente a bucha é movimentada (CARASSINI, 2012).

Figura 11- Ilustração de uma máquina de moldagem por sopro



Fonte: (ROMAN, 1995).

2.3.3 Equipamentos Opcionais

Segundo Roman (1995), existem ainda equipamentos opcionais que podem auxiliar as máquinas sopradoras, são eles:

- a) Alimentadores automáticos: Sugam a resina da sua embalagem original ou de uma caixa de mistura de resina virgem, material reciclado e masterbatch.
- b) Geladeira: Resfria a água de refrigeração do molde. Seu dimensionamento é padronizado pelos fabricantes, porém, convém salientar que menor a temperatura da água de resfriamento, menor o ciclo de moldagem, o que irá aumentar a produtividade do processo.
- c) Moinhos ou granuladores: Regranulam as rebarbas das peças moldadas são importantes para evitar perdas de matéria-prima. Eles são, geralmente, localizados bem próximo ao funil de alimentação das sopradoras para agilizar e facilitar o trabalho dos operadores.

2.4 Os moldes

2.4.1 Rotomoldagem

Os moldes para rotomoldagem são consideravelmente mais simples (figura 12), do que o ferramental usado para injeção ou sopro. Na maioria dos casos, são compostos por apenas duas partes, uma vez que detalhes perpendiculares à linha de abertura costumam ser moldados sem a necessidade de “gavetas” laterais, como é frequente em moldes para injeção. A facilidade de fabricação faz com que seu custo médio seja inferior a 10% do preço de um molde similar para injeção. Mesmo para peças técnicas de geometria complexa, a fabricação de moldes leva apenas de seis a oito semanas. A simplicidade dos moldes (anexo A) estende-se também ao seu fechamento, normalmente manual, através de elementos simples de fixação (RAHNER, 1999).

Moldes feitos por chapas de aço conformadas e soldadas são uma solução simples e de baixo custo para a produção de peças de geometria simples e dimensões grandes. Os próprios transformadores costumam construir este tipo de molde.

Moldes de alumínio fundido são os melhores para a produção de peças com formato complexo, de pequenas/médias dimensões e sob situações de uso mais severas. Sua viabilidade econômica é maior quando vários moldes idênticos são necessários. Outra vantagem é condutividade térmica superior à dos moldes em aço. Espessuras de parede homogêneas, com cerca de 7 mm, tornam o molde estável e suficientemente fino para se obter rápida troca de calor. A porosidade resultante do processo de fundição, que origina defeitos na superfície da peça, é uma das principais desvantagens dos moldes de alumínio. Moldes produzidos pelo método Kelch apresentam mínima porosidade e boa qualidade superficial (RAHNER, 1999).

Os ciclos de aquecimento e resfriamento expandem e comprimem o ar no interior do molde. Por esta razão são instalados sistemas para exaustão de ar (também chamados de sistemas de ventagem), com o objetivo de diminuir a distorção no componente que está sendo fabricado e aumentar a vida útil do molde (RUBIN, 1993).

Figura 12- Molde do tubo de ricota da rotomoldagem



Fonte: O autor.

2.4.2 Sopro

Para a construção de moldes de sopro (anexo B) diferentes tipos de materiais já foram utilizados, e muitos moldes podem ser feitos de mais de um tipo de material. A lista inclui aço usinado, alumínio usinado, cobre-berílio (Be-Cu) usinado, cobre-berílio fundido, alumínio fundido, aço fundido, ligas de zinco fundido, e resinas epóxi com cargas (WHELAN, 1999).

Os moldes, na maioria, são construídos de metais (figura 13), configurados por usinagem ou por fundição. Em geral a fundição de metais não-ferrosos (cobre-berílio fundido) possibilita a produção de moldes complexos a custos relativamente baixos, principalmente moldes grandes. Uma das vantagens principais destes materiais é a possibilidade de fundir, ao mesmo tempo, o contorno da cavidade do molde, o sistema de refrigeração e o contorno externo do molde, reduzindo deste modo o tempo de usinagem (WHELAN, 1999).

A condutividade térmica maior deste material é uma atração especial na moldagem por sopro. Estes materiais, porém, não possuem a mesma dureza e resistência ao desgaste que os aços. Para corridas longas de produção o aço, em muitos casos, é o material principal de construção dos moldes (WHELAN, 1999).

Figura 13- Molde do tubo de ricota da sopradora



Fonte: O autor.

2.4.2.1 Seleção de materiais

Para a seleção de materiais, cada caso deve ser considerado pelos seus próprios méritos, levando em conta os fatores a seguir: a forma e o tamanho do artigo a ser produzido, o acabamento de superfície necessário, as tolerâncias exigidas, o número de componentes envolvidos, a facilidade de conserto, a resistência à corrosão, o material a ser moldado, as considerações de desgaste ao esmagamento, o tempo disponível de fabricação e os custos de construção do molde. Muitos desses fatores estão inter-relacionados. Em muitos casos o molde é feito de mais de um material, com a finalidade de tirar vantagem das propriedades de cada um. O corpo do molde, por exemplo, pode ser feito de aço, enquanto a área de gargalo pode ser de cobre-berílio, já que esta é a parte mais grossa (WHELAN, 1999).

2.4.2.2 Dimensões

A diferença entre as dimensões de uso final dos produtos moldados depende de um número de fatores, tais como, o encolhimento no molde, o encolhimento após a moldagem e o ambiente de uso final. Para cada material a grandeza de encolhimento depende do grau do

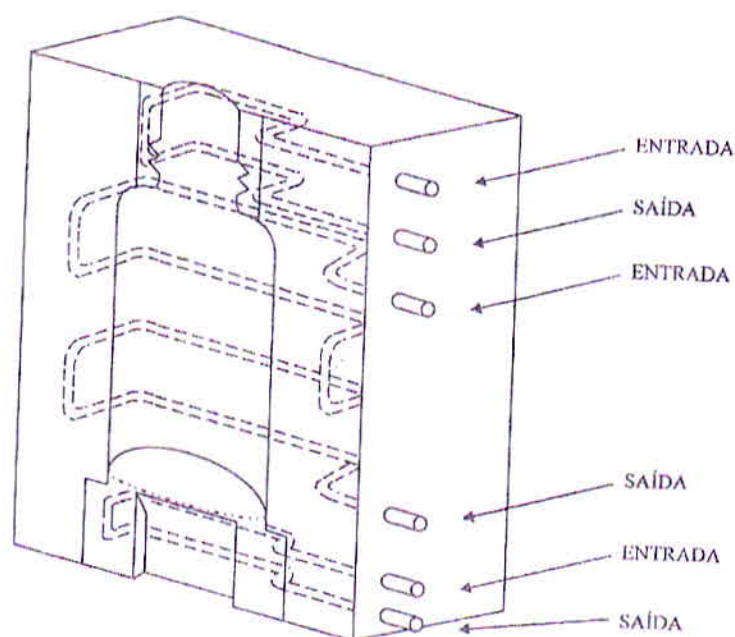
aditivos usados com este grau, das condições de moldagem, da configuração do molde e da configuração do produto moldado, por exemplo, das espessuras das seções e da distribuição de espessura de parede. Por este motivo, quaisquer valores de contração são cotados somente em caráter orientativo (WHELAN, 1999).

Em alguns materiais, como termoplásticos semi-cristalinos, uma contração de pós-moldagem significativo pode ocorrer. Isto pode ser o resultado de seções delgadas e moldes bastante frios, provocando uma refrigeração de choque (WHELAN, 1999).

Peças com desenhos complexos requerem muita atenção na construção dos canais de refrigeração. Em peças com diferentes espessuras de parede, as paredes mais espessas exigem um resfriamento com menores temperaturas e mais rápido. Quanto maior a superfície de troca térmica, melhor o desempenho do resfriamento. Assim, os dutos de resfriamento (figura 14) no corpo do molde, de preferência devem se localizar o mais próximo possível da parede da cavidade. Maior o número de canais de refrigeração com menor diâmetro, melhor a troca térmica (ROMAN, 1995).

Segundo Roman (1995), existem outros procedimentos que auxiliam a troca térmica, como: Aumento de pressão do ar de insuflamento, aumento de vazão de água, substituir água por CO₂ líquido, reciclagem do ar quente enquanto a peça estiver na cavidade, isto para grandes peças.

Figura 14- Exemplo da disposição dos canais de refrigeração no molde



Fonte: (ROMAN, 1995).

2.4.2.3 Requisitos do sistema de fechamento

Segundo Whelan (1999), o sistema de fechamento deve apresentar uma série de qualidades, como por exemplo:

- a) Fechar e apertar o molde: Até em moldes grandes a velocidade de fechamento do molde deve ser 250mm/s e, aproximadamente, 10 bar ou 145 psi de pressão de fechamento.
- b) Esmagar e soldar o material na base, e (quase) separar a rebarba: 0,6 até 6 toneladas por metro de força podem ser necessárias para o esmagamento.
- c) Movimentar o molde a velocidades diferentes para minimizar choques, reduzir o perigo de rompimento do produto e providenciar soldas mais resistentes: uma velocidade alta no trecho final do curso de fechamento pode melhorar a resistência da solda.
- d) Moldar e configurar o topo do produto.
- e) Resistir à força de abertura do molde: Isto será aproximadamente 1,25 vezes a área projetada x pressão de sopro (aproximadamente 7 bar ou 100 psi).
- f) Abrir o molde para ejeção do produto.

As duas metades do molde devem possuir um ajuste de encaixe bem preciso, pois ao se fecharem não podem permitir vazamento de resina da cavidade do molde. Maior a superfície de contato, mais eficiente o fechamento (ROMAN, 1995).

Duas pressões são monitoradas, a de fechamento das placas e do ar comprimido que insufla a pré-forma. É imprescindível que a primeira seja maior, caso contrário o ar comprimido vazará danificando a peça moldada (ROMAN, 1995).

O perfeito sincronismo do fechamento do molde e sopro da pré-forma é a chave da qualidade da peça. Se não houver um sincronismo, uma das placas cortará a pré-forma, antes da outra, provocando problemas no ciclo de moldagem. As duas placas quando abertas, devem estar equidistantes do seu ponto de encontro ou do centro do dispositivo de insuflamento (ROMAN, 1995).

3 METODOLOGIA

Este trabalho visou comparar dois tipos de processos de fabricação de peças plásticas.

A primeira etapa se deu realizando uma pesquisa bibliográfica, para uma melhor compreensão dos mesmos.

Na segunda etapa realizou-se a comparação entre os materiais que são utilizados em cada processo, os gastos por hora das máquinas retro referidas, os preços para fabricar o molde do produto para cada máquina, a quantidade de peças produzidas por cada uma no mesmo tempo e a qualidade final do produto. Todas essas informações foram coletadas na empresa onde se realizou o estudo de caso, com o apoio do supervisor de produção, projetista e também do setor financeiro, para uma análise posterior sobre as vantagens e desvantagens de se fabricar a peça por cada tipo de processo.

Na terceira etapa foi possível determinar o método mais viável para a fabricação de um produto específico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da tabela abaixo foram montados ao longo de um período de 05 meses, em variados dias de produção do produto, sabendo que pode haver uma variação nos valores, sejam eles no setor de compras, quando se realiza a cotação da matéria-prima, ou na produção do produto, como em parâmetros de regulagem da máquina, no custo/hora do maquinário, e até mesmo em caso de aumento nos encargos, provocando assim um reajuste no preço final do produto.

Figura 15- Tabela de composição dos preços

PROCESSO DE FABRICAÇÃO	Sopro	Rotomoldagem
Saco (25 kg)	R\$ 166,42	R\$ 196,87
MATERIAL (Kg)	R\$ 6,65	R\$ 7,87
HORA/ MÁQUINA	R\$ 65,00	R\$ 41,00
PEÇAS PRODUZIDAS (HORA)	30	2
PEÇAS REPROVADAS	8	0
PEÇAS APROVADAS	22	2
PESO/ PEÇA (g)	585	750
PREÇO UNITÁRIO	R\$ 14,71	R\$ 26,30

Fonte: O autor, 2015.

A tabela acima, nos seguintes itens: peças produzidas (hora), peças reprovadas, peças aprovadas, foi montada com as médias dos itens citados em vários dias de produção. A pesagem do produto foi feita em caixas de 25 unidades, já sem a rebarba do processo e toda a furação da peça realizada antes de o produto ir para o setor de expedição e ser encaminhado ao cliente.

O produto soprado é 165 gramas mais leve que o rotomoldado, como pode ser visto no apêndice A. Em relação às propriedades mecânicas do processo, ele tem uma ligeira vantagem, como uma melhor resistência a impactos e temperatura, devido ao material utilizado ser o polietileno de alta densidade, enquanto o da rotomoldagem é o polietileno de média densidade.

O preço unitário descrito na tabela é o preço final de venda do produto, por questões éticas da empresa em não divulgar o preço de produção sem as margens de contribuição e lucro, onde nota-se uma redução de aproximadamente 44% do custo do produto soprado em

relação ao da rotomoldagem, além de uma média de produção em 20 unidades a mais por hora. No apêndice B pode ser visto o Controle Estatístico de Processo (CEP) da máquina sopradora produzindo o tubo.

Para a fabricação de um molde do tubo especial de ricota (TER) para a sopradora estima-se um gasto de aproximadamente R\$25.000 e uma durabilidade aproximada de 20 anos. Enquanto no molde do tubo para rotomoldagem estima-se um gasto no valor de R\$2.000, porém uma durabilidade menor, variando entre 2,5 a 3 anos, devido ao constante aquecimento e resfriamento do molde.

Com estes dados, analisando um período de 20 anos produzindo estes tubos, pode-se concluir que, para viabilidade do tubo produzido no processo de sopro deve haver uma demanda mínima de aproximadamente 2.493 peças, devido ao custo do molde ser superior ao da rotomoldagem. Entretanto, devido sua produtividade ser amplamente maior, esta cota é atingida rapidamente com 13 dias de produção, comprovando assim, a vantagem do processo de sopro em relação ao processo de rotomoldagem.

5 CONCLUSÃO

Após o término deste trabalho, foi possível conhecer as principais características dos processos de rotomoldagem e sopro, dois processos bastante utilizados pelas indústrias de transformação dos termoplásticos.

Foi possível observar que os plásticos são responsáveis por grandes avanços e traz uma série de benefícios para a sociedade moderna, apesar de também gerar alguns problemas ambientais, devido sua decomposição muito lenta. Com custos competitivos e diversidade de produção, pode-se afirmar que a “era dos plásticos” já se consolidou.

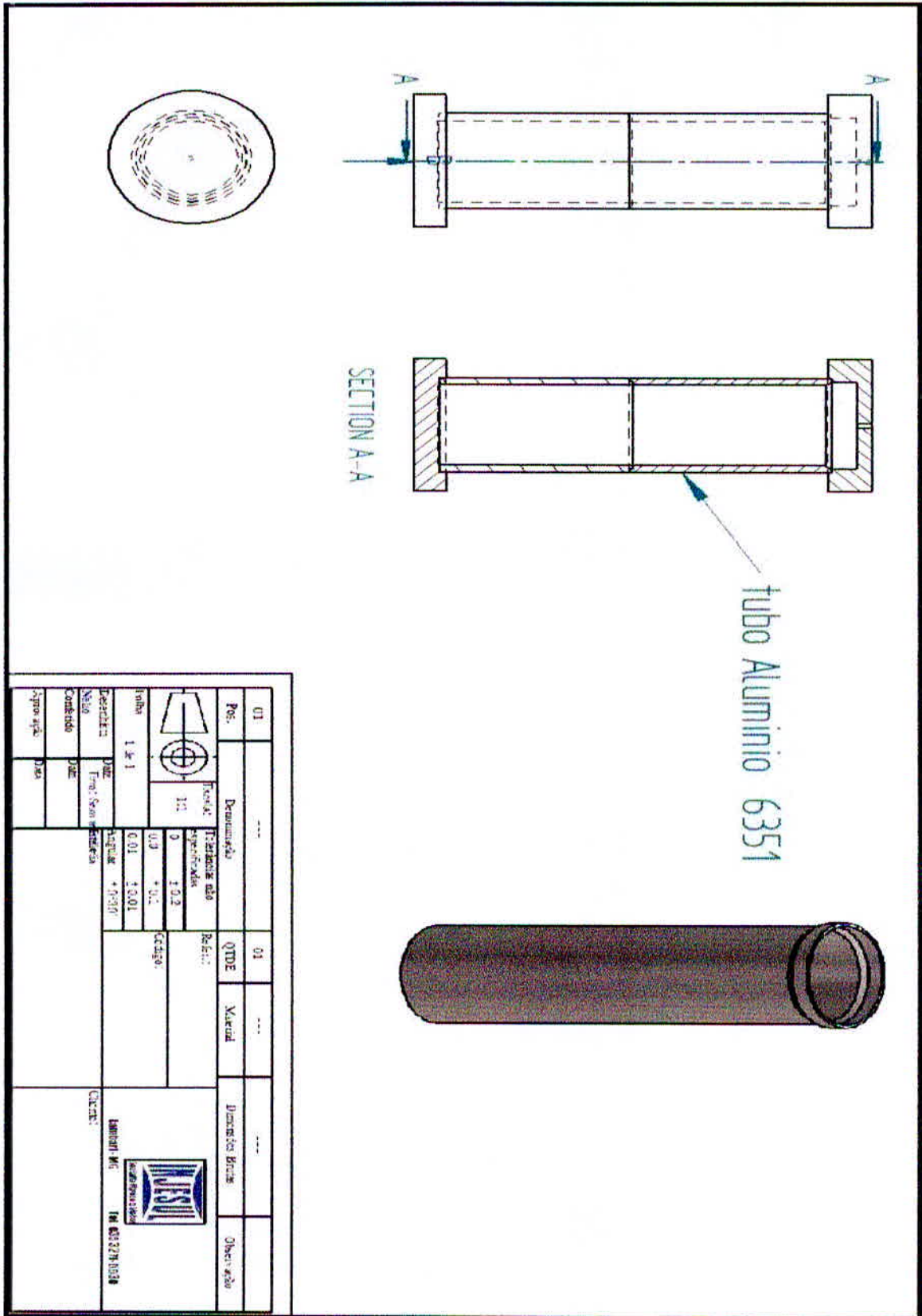
O objetivo deste estudo de caso foi concluído com sucesso, contando com o conhecimento teórico e prático adquirido no curso, visto que foi permitido analisar os dados coletados na empresa dos processos citados e, posteriormente, concluir que é mais vantajoso fabricar a referida peça através do processo de sopro, onde a produtividade é significativamente maior em vez de produzi-la no processo de rotomoldagem, além dos outros parâmetros que também favorecem para redução do custo final e qualidade do produto, podendo assim obter uma maior competitividade do produto no mercado.

Estar sempre atualizado com as necessidades e desejos dos clientes, com o mercado que sempre traz novas técnicas de aprimoramento, são o ponto de partida de sucesso para as empresas, que também devem investir em treinamentos e capacitação dos colaboradores e processos mais modernos, podendo assim aplicar os conceitos de engenharia para o seu bem, do meio ambiente e da sociedade em geral.

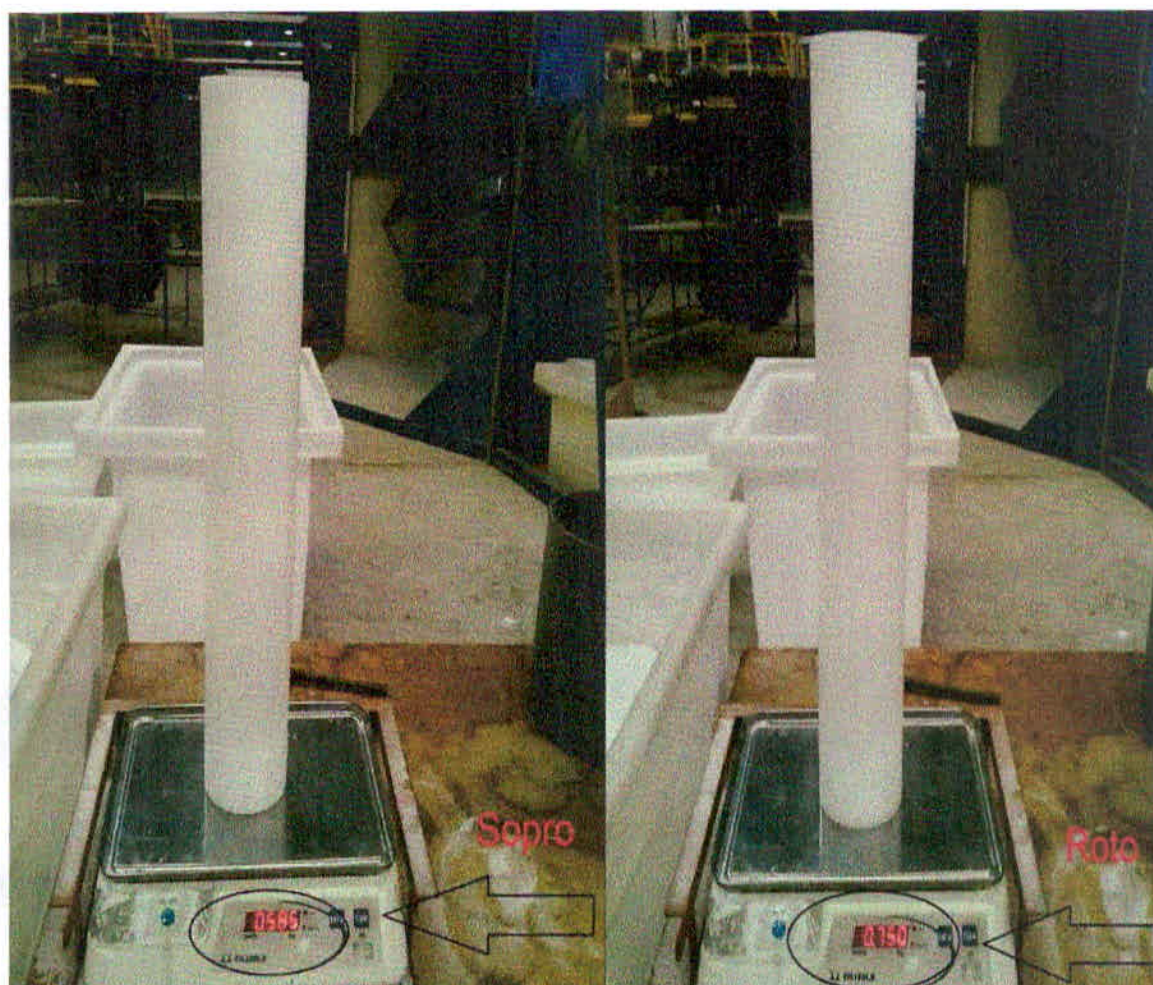
REFERÊNCIAS

- ALVES, Fabio. **Moldagem por sopro**, 2013.
Disponível em: <<http://www.industriahoje.com.br/moldagem-sopro>>. Acesso em: 18 abr. 2015.
- BARNETT, B. D.; CLARK, K. B. **Problem solving in product development: a model for the advanced materials industries**. International Journal of Technology Management, vol. 15, n. 8, 1998.
- CARASSINI, Carlos Alberto. **Introdução à tecnologia dos polímeros**. SENAI, 2012.
Disponível em:
<http://www.4shared.com/office/JcZLI7VKba/Apresentao_de_Aula_Sopro_Vasit.htm>.
Acesso em: 05 maio 2015.
- CRAWFORD, R. J. **Practical Guide to Rotational Moulding**. Belfast, Reino Unido: Rapra, 1988.
- HARPER, C.A. **Handbook of Plastic Processes**. Nova Jersey: Wiley, 2006.
- OLIVEIRA, W. E. **Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, Saneamento do meio**. São Paulo: Fundacentro, 1992. p.81-114
- PIATTI, T.M. RODRIGUES, R.A.F. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. Maceió-AL: Edufal, 2005.
- RAHNER, S. Avanços técnicos ampliam os horizontes da rotomoldagem. **Revista: Plástico Industrial**, 1999. p. 32-43.
- ROMAN, A. **Transformação do Polietileno-PEBD**. São Paulo: Érica, 1995.
- RUBIN, I. **Handbook of plastic materials and technology**. New York: Wiley, 1993.
- SILVA, F.J. **O Que é rotomoldagem?** Disponível em:
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA7MAD/que-rotomoldagem>>. Acesso em: 15 fev. 2015.
- TRM RESINAS TERMOPLÁSTICAS. **Manual: Rotomoldagem prática**. São Paulo, 2007.
- UEKI, M. M.; PISANU, L. Fundamentos do processo de rotomoldagem. **Revista: Ferramental**, ano 3, nº13. 2007.
- WARD, N.M. **A History of Rotational Molding**. Ohio-Estados Unidos: Hansen Gardner Publications, 1997.
- WHELAN, T. **Manual de moldagem por sopro da Bekum**. São Paulo: Polietileno, 1999.
- ZUIM, B.B. **Reaproveitamento energético dos refugos industriais do processo de rotomoldagem a partir da gaseificação**. São Carlos-SP, 2013.

ANEXO A – Molde (TER) rotomoldagem



Apêndice A – Pesagem dos produtos



Apêndice B – CEP máquina sopradora

