



**Acompanhamento e estudo dos processos de injeção,
extrusão e sopro na empresa Logoplaste**

JOÃO DAVID ROSA DUARTE
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes
Co-Orientador: Licenciado Bruno Ildefonso Rocha Fera

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutora Maria Leopoldina Mendes Ribeiro de Sousa Alves
Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Dezembro 2017



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica

**Acompanhamento e estudo dos processos de injeção,
extrusão e sopro na empresa Logoplaste**

JOÃO DAVID ROSA DUARTE
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador: Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes
Co-Orientador: Licenciado Bruno Ildefonso Rocha Fera

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutora Maria Leopoldina Mendes Ribeiro de Sousa Alves
Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Dezembro 2017

*“Knowledge without practice is useless.
Practice without knowledge is dangerous.”*

Confúcio

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer à *Logoplaste* pela incrível oportunidade e confiança que tem depositado em mim, desde o primeiro instante em que entrei na organização. Seria ingrato não referir os nomes de Aurélio Fernandes, David Martins, Nelson Silva, Valdemar Guerreiro, Adriano Chaves, António Martins, Emilio Blasco, Juan Antonio Morejon, Juan Jose Montalvo, Julian Ferrer, Pedro Monteiro, Hélder Dinis, Fernando Menezes, Jorge Valentin, Fernando Duarte, Victor Alves... e às equipas com quem trabalhei, pelo conhecimento e valores que me transmitiram e ainda transmitem... A estes um “Muito Obrigado! “.

Sem nunca esquecer os meus companheiros de percurso, Sérgio Silva e Luís Amaral, que sempre têm demonstrado o seu apoio incondicional na elaboração deste trabalho, assim como dos meus orientadores, Engenheiro Bruno Fera e Professor Mário Mendes.

À minha Mãe, Irmão e Madrinha Cláudia. Agradeço pela paciência e apoio constantes no meu percurso académico e profissional.

Resumo

Sem que se perceba, as embalagens rígidas de plástico têm um papel impactante na sociedade moderna, uma vez que são utilizadas diariamente para os mais variadíssimos fins. A indústria alimentar, por exemplo, utiliza em grande escala este tipo de embalagens devido às capacidades de produção possíveis de atingir, baixo custo e propriedades químicas e mecânicas.

O presente volume, retrata o acompanhamento e estudo dos principais processos de fabrico de embalagens rígidas de plástico da empresa *Logoplaste*, nomeadamente o processo de estiramento-sopro, extrusão-sopro e injeção. Durante a descrição dos três processos, serão mencionados aspetos, quanto aos fundamentos teóricos do processo em si, assim como o funcionamento dos equipamentos associados a cada tecnologia. Para a recolha e elaboração deste trabalho, o autor acompanhou o dia-a-dia da unidade de produção e participou nas atividades necessárias para concretizar o produto final. Também enunciados estão alguns trabalhos de melhoria implementados nas unidades de produção, que tiveram como objetivo aumentar a poupança energética das instalações, melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores e, indiretamente, a qualidade do produto final.

Palavras-chave: Estiramento-sopro, extrusão-sopro, injeção, embalagens rígidas de plástico, processos de fabrico

Abstract

Without our understanding, plastic rigid containers have a crucial importance in modern society, because of his use in the most varied purposes. The food industry, for instance, uses this type of containers because of the high production possible to achieve, low cost and chemical and mechanical properties.

The present volume describes the follow-up and study of the main processes of manufacture of rigid plastic containers of the company *Logoplaste*, namely the stretch-blowing, extrusion-blowing and injection process. For the collection and elaboration of this work, the author followed the daily routine of several production facilities and participated in the activities necessary to realize the final product. Also mentioned are some improvements implemented in the production units that aimed to increase the energy savings, improve the quality of life of the workers and, indirectly, the quality of the final product.

Keywords: Stretch blow molding, extrusion Blow molding, injection, plastic rigid containers, manufacturing processes

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice	iv
Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	xii
Acrónimos	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação	2
1.2. Contextualização.....	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Apresentação da Empresa	4
1.5. Estrutura do trabalho.....	5
2. Estiramento Sopro	6
2.1. Perfil da Unidade de produção.....	7
2.2. Matéria-Prima em SBM.....	7
2.3. Fundamentos de máquina de estiramento sopro	11
2.3.1. Alimentação de Pré-formas	12
2.3.2. Forno	14
2.3.3. Unidade Porta Molde	18
2.3.4. Ciclo de uma máquina rotativa.....	25
2.4. Variáveis do processo de Estiramento Sopro	27
2.4.1. Estiramento.....	28
2.4.2. Aquecimento	30
2.4.3. Pré Sopro	38
2.4.4. Sopro	40
3. Extrusão Sopro	41
3.1. Perfil da Unidade de Produção	42

3.2.	Matéria-Prima em EBM.....	42
3.3.	Fundamentos de uma máquina de Extrusão Sopros.....	44
3.3.1.	Fuso de extrusão.....	46
3.3.2.	Cabeça de extrusão.....	49
3.3.3.	Molde	58
3.3.4.	Facas de Corte	62
3.3.5.	Calibradores & Gargalos Calibrados.....	63
3.3.6.	Movimentação Translacional e de Abertura e fecho dos Moldes	65
3.3.7.	Contramoldes e Rebarbagem.....	67
3.3.8.	Cortadora.....	68
3.3.9.	Testadoras de furos.....	70
3.3.10.	Ciclo da máquina.....	72
3.4.	Equipamentos Periféricos e auxiliares da UP	74
3.5.	Equipamentos subjacentes ao processo	77
3.5.1.	Moinho	77
3.5.2.	Misturador.....	78
3.5.3.	Transporte de matéria-prima	81
3.5.4.	Abastecimento da máquina	82
4.	Injeção	84
4.1.	Perfil da Unidade de Produção	84
4.1.1.	Secagem da Matéria-Prima	85
4.2.	Máquina de injeção	88
4.2.1.	Alimentação	89
4.2.2.	Fuso de injeção.....	89
4.2.3.	Bico de injeção.....	90
4.2.4.	Sistema de fecho do molde.....	91
4.2.5.	Extração.....	92
4.3.	Molde de injeção de Pré-formas	92
4.4.	Processo de Injeção.....	95
4.4.1.	Injeção	96
4.4.2.	Compactação	96
4.4.3.	Dosagem.....	98
4.4.4.	Tempo de Arrefecimento.....	102
5.	Projetos de Melhoria	104

5.1. Sistema de aquisição de dados	104
5.2. Sensor de peso das Pré-formas	109
5.3. Reprogramação do Moinho de matéria.....	111
6. Conclusões e trabalho Futuro	114
6.1. Conclusões	114
6.2. Trabalho Futuro	114
Bibliografia.....	116

Índice de Figuras

Figura 2.1- Exemplo de Pré-formas (Extraído) [7]	6
Figura 2.2- Da pré-forma à garrafa (Adaptado) [8].....	6
Figura 2.3- Organograma da unidade de produção do Barreiro	7
Figura 2.4- Granulado de PET.....	8
Figura 2.5- Pré-forma Cristalizada com zonas amorfas	9
Figura 2.6- Relação entre o Peso molecular e a Viscosidade intrínseca (Adaptado) [10]	10
Figura 2.7- Variação do módulo de elasticidade em função da Temperatura (Extraído) [10]	11
Figura 2.8- Esquema de uma sopradora (Extraído) [12]	12
Figura 2.9- Esquema do alimentador de pré-formas (Extraído) [12]	13
Figura 2.10- Tremonha e tapete transportador à esquerda, rolos orientadores à direita (Extraído) [12].....	13
Figura 2.11- Entrada das pré-formas provenientes do trilho para a roda de carregamento (Extraído) [12].....	14
Figura 2.12- Haste giratória (Extraído) [12].....	15
Figura 2.13- Forno das máquinas	16
Figura 2.14- Zonas de incidência (Adaptado) [12].....	17
Figura 2.15- Distribuição de zonas de aquecimento na pré-forma e posterior localização na garrafa	17
Figura 2.16- Ventilação posicionada atrás dos refletores.....	18
Figura 2.17- Unidade Porta Moldes	19
Figura 2.18- Funcionamento da Compensação (Extraído) [12]	20
Figura 2.19- Came de estiragem.....	21
Figura 2.20- Tubeira.....	21
Figura 2.21- Esquema interno da tubeira (Adaptado) [12].....	22
Figura 2.22- Válvula de sopro ativada.....	23
Figura 2.23- Válvula de sopro desativada	23
Figura 2.24- Abertura e fecho do molde [12][Adaptado].....	24
Figura 2.25- Sistema do bloqueio do molde [12][Adaptado].....	25
Figura 2.26- Diagrama circular do ciclo de SBM [12][Extraído]	26

Figura 2.27- Esquema do ciclo de SBM.....	27
Figura 2.28-Identificação do comprimento da pré-formas e da garrafa para o cálculo do ASR	29
Figura 2.29- Identificação do diâmetro da pré-forma e da garrafa para o cálculo do RSR	29
Figura 2.30- Dedo do forno e Pré-forma (Extraído) [14]	31
Figura 2.31 Transmissão em função do comprimento de Onda (Extraído) [10].....	32
Figura 2.32 Penetração das lâmpadas em função da sua percentagem (Extraído) [5] ...	32
Figura 2.33- Lâmpada a 40% (Extraído) [10]	33
Figura 2.34- Lâmpadas a 70% (Extraído) [10].....	33
Figura 2.35- Lâmpada a 100% com recurso a ventilação (Adaptado) [10].....	34
Figura 2.36- Perfil de Temperaturas ao longo da espessura da pré-forma (Extraído) [10]	34
Figura 2.37- Efeito pearlcense (Extraído) [15].....	35
Figura 2.38- Evolução das temperaturas no forno manual da sidel (Adaptado) [14].....	37
Figura 2.39- Avaliação do percentual de arranque de produção	38
Figura 2.40- Embalagens com três pressões de PS; à esquerda pouca pressão, ao meio muita pressão e à direita a pressão Standart	38
Figura 2.41- - Influência da pressão de PS na distribuição da garrafa final.....	39
Figura 2.42- Influência do tempo de entrada do pré-sopro na distribuição do material na garrafa.....	39
Figura 3.1 Sequência de Produção de uma embalagem através do processo de Extrusão Sopro (Extraído) [17]	41
Figura 3.2 Organograma da unidade de produção de Guadalajara.....	42
Figura 3.3- Variação do Volume específico com a temperatura (Extraído) [16]	44
Figura 3.4- Exemplo de uma máquina EBM Shuttle.....	45
Figura 3.5– Esquema ilustrativo do ciclo da matéria-prima desde a sua entrada na máquina até à formação da manga	46
Figura 3.6 – Zonas usuais de um fuso comum e estado do material nas respetivas zonas	46
Figura 3.7 -Perfil de Temperatura de diferentes máquinas a produzir a mesma referência	47
Figura 3.8-À direita, crivo do filtro. À esquerda, filtro de rede	48
Figura 3.9- Sensor de pressão e temperatura, para material fundido	49

Figura 3.10 -Filtro e material degradado removido após mudança de filtro	49
Figura 3.11 Exemplo de distribuidor de 3 canais	50
Figura 3.12 Formação da manga (Extraído) [16]	50
Figura 3.13- Formação da manga tipo Estrela (Extraído) [16].....	51
Figura 3.14-Formação da manga tipo torpedo (Extraído) [16]	51
Figura 3.15-Descentramento de mangas e relação de posição fieira/núcleo	52
Figura 3.16 – Efeito de "Die Swell"	53
Figura 3.17 Relação entre comprimento da manga, draw down e die Swell	53
Figura 3.18- Perfil de espessuras da embalagem- (A) com regulação de espessuras (B) Sem regulação de espessuras	54
Figura 3.19 – Esquema para cálculo da espessura de material no molde.....	55
Figura 3.20– Esquema de AWT (Extraído) [16]	56
Figura 3.21 – Simulação de perfil do parison.....	57
Figura 3.22- Perfil real de uma embalagem	57
Figura 3.23- Manga aberta com ar de apoio e manga fechada com ar programado, respetivamente	58
Figura 3.24- Molde EBM	59
Figura 3.25-Meio molde (marisa, corpo e fundo)	60
Figura 3.26-Fundo do molde e navalha cortante	60
Figura 3.27- Condutividade térmica de alguns metais (Adaptado) [20]	61
Figura 3.28-Corte rotativo	62
Figura 3.29-Corte frontal.....	63
Figura 3.30 – Embalagens suspensas pelos calibradores (direita) Rebarbagem dos excedentes (esquerda).....	64
Figura 3.31 – Ilustração de calibrador para gargalos calibrados	64
Figura 3.32- Calibradores	65
Figura 3.33- Perfil de velocidade de fecho do molde.....	66
Figura 3.34- Perfil de velocidade de abertura do molde.....	67
Figura 3.35- Parte do conjunto do rebarbador	68
Figura 3.36- Extração dos frascos	68
Figura 3.37 – Cabeça-perdida (laranja) de um frasco	68
Figura 3.38 – Funcionamento da cortadora	69
Figura 3.39 – Evolução da pressão dentro de um frasco durante o teste de fugas	70
Figura 3.40- Testadora rotativa	71

Figura 3.41- Testadora linear.....	71
Figura 3.42- Ponteira para vedar frascos com cabeça-perdida.....	72
Figura 3.43- Tabela com tempos, em segundos, das etapas de cada grupo do ciclo de EBM	72
Figura 3.44- Exemplo de ciclo da máquina EBM – formato circular	73
Figura 3.45- Exemplo de ciclo da máquina EBM – formato Linear	73
Figura 3.46 – Sensor de peso.....	74
Figura 3.47 – Silos de matéria-prima	74
Figura 3.48- Secador de ar comprimido	75
Figura 3.49 – Geometria e funcionamento dos silos de frascos	77
Figura 3.50 –Grelha do moinho para calibrar a dimensão do material triturado (Esq.) Funcionamento do moinho (Dir.)	78
Figura 3.51- Misturador de MP	79
Figura 3.52 – Comporta do doseador e balança	79
Figura 3.53 – Exemplo do controlo de quantidades do misturador.....	80
Figura 3.54- Sistema de remoção de partículas em suspensão do sistema de vácuo	81
Figura 3.55- Sistema de alimentação da máquina	82
Figura 3.56- Mecanismo de carga de material	83
Figura 4.1- Principais etapas de injeção (Extraído) [21].....	84
Figura 4.2- Exemplo de funcionamento secador de PET	86
Figura 4.3- Esquema da absorção através da sílica	86
Figura 4.4- Circulação de ar no Interior da Cuba de matéria Prima.....	87
Figura 4.5- Circuito de regeneração da sílica	87
Figura 4.6- Esquema da constituição de uma máquina típica hidráulica de injeção	88
Figura 4.7- Entrada de material para o fuso	89
Figura 4.8- Perfil radial de aquecimento do material por atrito dentro do cilindro da extrusora	90
Figura 4.9- Par bico de injeção e bucha do carburador do molde	90
Figura 4.10- Sistemas de Fecho.....	91
Figura 4.11-Constituição base de um molde de injeção de pré-formas.....	92
Figura 4.12-Repartição do material pelos vários canais do molde.....	93
Figura 4.13- Cavidade	94
Figura 4.14-Placa das buchas e cavidades.....	94
Figura 4.15- Movimento das maxilas	95

Figura 4.16- Gráfico do processo de injeção de pré-formas.....	97
Figura 4.17- Tempo de compactação em função espessura e temperatura do material a injetar (Extraído) [22].....	98
Figura 4.18- Colchão de material	98
Figura 4.19-Ponta do fuso com sistema de passagem/bloqueio de material fundido.....	99
Figura 4.20 -Funcionamento Valve gate	100
Figura 4.21- Máquina com pote de injeção	101
Figura 4.22- Temperatura de desmoldagem em função do tempo de compactação e arrefecimento (Extraído) [22].....	102
Figura 4.23- Estação de arrefecimento através de alvéolos.....	103
Figura 4.24- Sistema coolpik Husky HyPet HPP	103
Figura 5.1- Arquitetura da Instalação	105
Figura 5.2- Módulo de comunicação	105
Figura 5.3-Diagrama de sinais.....	106
Figura 5.4- Esquema elétrico do módulo de comunicação.....	106
Figura 5.5- Ecrã Principal.....	107
Figura 5.6- Menu de cada máquina	108
Figura 5.7- Registo da produção	109
Figura 5.8- Pressão hidráulica em função do curso na subida.....	109
Figura 5.9- Funcionamento do FIFO	111
Figura 5.10- Quadro elétrico	111
Figura 5.11- Excerto da tabela de análise Lactalis-Logoplaste, da zona dos Moinhos	113

Índice de Tabelas

Tabela 2.1- Rácios de estiramento em função da aplicação (Extraído) [13].....	30
Tabela 3.1 Especificação da Embalagem quanto à MP, corante e material recuperado	80
Tabela 5.1- Resultados obtidos da alteração do moinho de matéria prima	112
Tabela 5.2- Resultados obtidos da alteração do moinho das tampas.....	113

Acrónimos

AA – Acetaldeído

ASR – *Axial stretch ratio*

DUS - *Diameter Under Support ledge*

EBM - *Extrusion Blow molding*

HDPE - *High density polyethylene*

IF- Índice de fluidez

INJ – Injeção

IV- Índice de viscosidade

MFI – *Melt flow index*

MP - Matéria-Prima

PET- Polietileno tereftalato

PC – Policarbonato

PPM- Partes por milhão

PP – Polipropileno

PS – Pré Sopro

PVC - Policloreto de Vinilo

RSR - *Radial stretch ratio*

SBM - *Stretch Blow molding*

TSR – *Total stretch ratio*

Tg - Temperatura de transição vítrea

Tm - Temperatura de fusão

UP - Unidade de Produção

1. Introdução

A necessidade da elevada produção de embalagens rígidas de plástico para suprir as necessidades do mercado tem levado à evolução e criação de novos processos de fabrico.

O crescimento populacional mundial é uma das preocupações globais vividas hoje. Esta situação tem vindo a ser debatida por forma a prever quais serão as consequências a nível da economia global, das políticas governamentais e questões ambientais, uma vez que se teme que os recursos disponíveis no planeta possam não ser suficientes para a procura que futuramente possa existir [1]. Este crescimento tem potenciado a indústria mundial, mas mais diretamente a indústria alimentar que tem procurado soluções que visam dar resposta à procura sentida mundialmente.

Diretamente ligado à produção de alimentos está a forma como serão preservados e armazenados até serem entregues ao consumidor, por outras palavras, a embalagem do alimento. Por forma a garantir a segurança de todos os envolventes na produção de embalagens alimentares, estão estabelecidas diretivas quanto ao tipo de materiais que poderão estar em contacto com os alimentos [2], já que grande parte das matérias utilizadas hoje em dia passam pela utilização de derivados de petróleo e que, para a sua produção, são utilizados aditivos que podem ser prejudiciais à saúde humana se estes estiverem fora dos limites regulamentados.

A indústria da produção de embalagens destinadas ao uso alimentar tem seguido uma tendência crescente e prevê-se que haja um aumento no ritmo de crescimento nos próximos anos [3]. Para além das questões regulamentares, existem outros pontos de grande importância face ao sucesso ou insucesso de uma embalagem. Temas como a protecção do alimento por forma a garantir um maior prazo de validade, tendências do mercado face a produtos similares, custo da embalagem, que pode vir a ser até 10% do valor do produto, e a imagem a passar pela marca são tópicos cruciais para uma boa embalagem [4].

1.1. Motivação

A *Logoplaste* é uma empresa de referência na produção de embalagens rígidas para a indústria alimentar, conquistou este estatuto devido à excelência e rigor em todas as atividades que desempenha. A elevada competitividade do mercado torna a *Logoplaste* numa empresa tecnologicamente avançada. Trabalhar diariamente numa realidade em que nada pode falhar é um desafio constante de uma aprendizagem crescente. A possibilidade de poder conciliar o dia-a-dia desta magnífica experiência, com fundamentos teóricos, fez com que fosse possível complementar e enriquecer o conhecimento adquirido diariamente.

Com a elaboração deste trabalho espera-se atingir um nível de conhecimento que não pode ser apenas adquirido no chão da fábrica, mas sim com o pesquisar de bases científicas que solidificam e fazem endender com um maior rigor os conceitos praticados todos os dias.

1.2. Contextualização

Este trabalho vem de encontro a um programa de estágio da empresa *Logoplaste*. Este estágio está enquadrado no programa “*Logoplaste Internship Program*” e tem como principal objetivo a criação de um *Pool* de talentos para futuras posições de liderança no Grupo *Logoplaste*. O estágio pretende formar pessoas seguindo o conceito “*Training-on-the-Job*”, focando na Operação e na Tecnologia praticadas pelo grupo.

Com o desafio proposto pela *Logoplaste*, apresentar-se-á neste trabalho um Relatório de Natureza Profissional para a obtenção de grau Mestre em Engenharia Mecânica, no ramo de Produção e Manutenção.

O estágio tem a duração de 2 anos e foi iniciado a 13 de outubro de 2015 e está dividido em seis principais etapas, em que cada etapa tem uma duração aproximada de 4 meses. Essas etapas são:

- 1ª Etapa – Estiramento Sopro (UP *Logoplaste Barreiro*, Portugal)
- 2ª Etapa – Extrusão Sopro (UP *Logoplaste Guadalajara*, Espanha)
- 3ª Etapa – Injeção (UP *Logoplaste Mealhada*, Portugal)
- 4ª Etapa – Departamento Técnico e *Logomolde* (Cascais, Portugal)

5ª Etapa – Departamento de Investigação, *Logoplaste innovation Lab*
(Cascais, Portugal)

6ª Etapa – Acompanhamento de um chefe de fábrica ou chefe de produção

1.3. Objetivos

Os objetivos para a elaboração deste trabalho residem em apresentar as três principais tecnologias da produção de embalagens rígidas de plástico na empresa *Logoplaste*. Pretende-se descrever o processo de fabrico, maquinaria, fundamentos teóricos relativos ao processo de estiramento sopro, extrusão sopro e injeção relativos às unidades de produção em que o autor deste trabalho esteve presente, já referidas no ponto 1.2. Para além da descrição dos processos de fabrico, serão apresentadas melhorias implementadas, melhorias essas que podem ter como objetivo melhorar o processo de fabrico ou procedimentos do dia-a-dia de trabalho da fábrica, mas com o foco de gerar valor no que diz respeito às tarefas já desempenhadas.

É importante realçar os objetivos traçados pela *Logoplaste* a cumprir para cada processo de fabrico, assim como as metas para o estagiário comuns a todas as etapas por onde passar. Os objetivos comuns estão abaixo citados.

“Objetivos para o Estagiário

- *Inteirarmo-nos na filosofia e cultura Logoplaste Portugal que, devido aos largos anos de existência conhecimento é um modelo a seguir para todas as Unidades de Produção Logoplaste.*
- *Cumprir com os objetivos de aprendizagem que nos foram propostos, associados ao processo de moldagem por sopro estiramento (SBM).*
- *Contribuir com o nosso conhecimento técnico para a melhoria contínua das Unidades de Produção a que fomos atribuídos, deixando uma marca positiva.*
- *Dar sempre o nosso melhor para a execução das tarefas que nos forem propostas.*

- *Partilhar informação e conhecimento com todos, e entre estagiários deste programa.*
- *Criar uma relação de compromisso e de confiança com os nossos colegas.*
- *Aprender o relacionamento e compromisso que a Logoplaste tem com os seus Parceiros.*
- *Aprender o máximo de cada função existente dentro de uma Unidade de Produção Logoplaste.*
- *Planear individualmente a evolução pessoal-profissional a curto, médio e longo prazo.” [5].*

1.4. Apresentação da Empresa

A *Logoplaste* é um grupo industrial cuja principal atividade é a produção de embalagens rígidas de plástico, que serão utilizadas para o setor alimentar, higiene pessoal, produtos domésticos e lubrificantes.

Fundada em 1976, a *Logoplaste* é a pioneira no método de produção “*through the wall*”, que consiste no fornecimento de embalagem nas instalações do cliente no momento em que este necessita.

Atualmente a *Logoplaste* tem 59 fábricas em 16 países e utiliza as tecnologias mais avançadas na produção de embalagens por injeção, extrusão sopro e estiramento sopro. Em sintonia com a atividade industrial, a *Logoplaste Innovation Lab* fornece serviços de consultadoria ao desenvolvimento de novas embalagens[6].

A missão da *Logoplaste* é ser a escolha natural no fornecimento de embalagens rígidas de plástico.

1.5. Estrutura do trabalho

Este volume está dividido em 6 capítulos principais. Na Introdução, presente capítulo, é apresentado e contextualizado o tema. Os capítulos 2, 3 e 4 são referentes às tecnologias de produção de embalagens rígidas, com que o autor desta obra teve contacto durante o seu período de estágio. Em cada um destes capítulos, será abordada genericamente cada uma dessas tecnologias, focando por vezes, algumas particularidades do produto. Pretende-se que o volume seja de fácil percepção e bastante visual, para que leitores não conhecedores destes processos de fabrico, possam ter uma noção bastante alargada destes métodos de produção.

O capítulo 5, embora não correlacionado com o tema desta obra, será relativo a alguns projetos de melhoria aplicados nas unidades de produção no decorrer do estágio. Por fim, as conclusões do presente trabalho assim como de trabalho futuro estão presentes no ponto 6.

2. Estiramento Sopros

O processo de estiramento sopros consiste na formação de uma embalagem a partir de uma pré-forma. As pré-formas, consideradas como a matéria-prima do processo de estiramento sopros, são componentes injetados em forma cilíndrica que já possuem o gargalo da embalagem final, e estão ilustradas na Figura 2.1.



Figura 2.1- Exemplo de Pré-formas (Extraído) [7]

Na Figura 2.2 podem ser visualizadas as etapas principais desde a entrada da pré-forma na máquina até à saída da embalagem já formada. Na etapa (1), a máquina recebe as pré-formas e aquece-as, principalmente por radiação, para que fiquem “maleáveis”. Depois de aquecida até à temperatura desejada, a pré-forma é transferida para o interior do molde (3) e (4). Estando o molde fechado, é iniciado o processo de estiramento, em que um pino (veio) através de um movimento axial entra em contacto com a pré-forma e estira a mesma (5). Após a estiragem, dá-se o sopros (6) onde é admitido ar comprimido para o interior da pré-forma a uma pressão que pode variar entre 18 e 40 bar. De seguida, a garrafa é desmoldada (7), através da abertura do molde e encaminhada para a saída da máquina (8). As fases do processo de estiramento sopros serão descritas com maior detalhe no decorrer do presente capítulo.

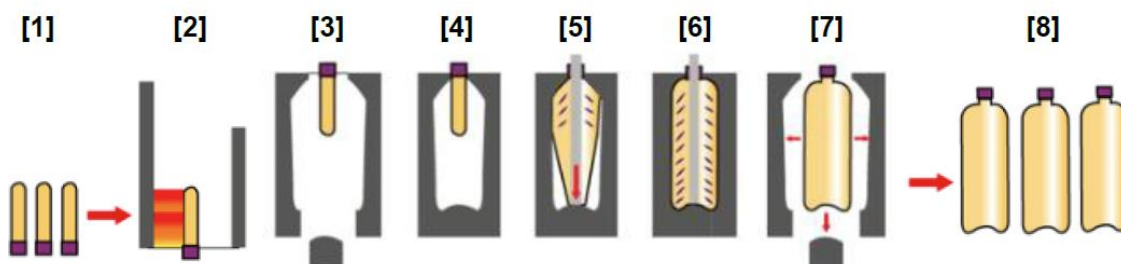


Figura 2.2- Da pré-forma à garrafa (Adaptado) [8]

2.1. Perfil da Unidade de produção

A unidade de produção *Logoplaste* Barreiro iniciou o seu processo trabalho em 1997, em parceria com a *Sovena* e dispõe do método de produção *hole throw the Wall*. A estrutura da fábrica é constituída da seguinte forma:

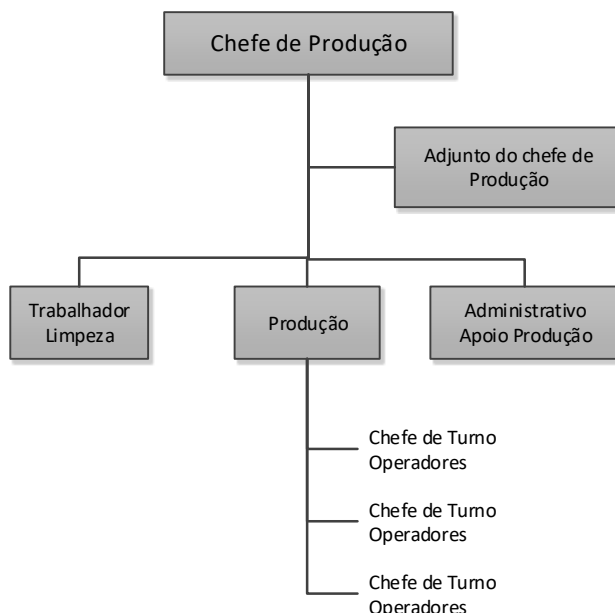


Figura 2.3- Organograma da unidade de produção do Barreiro

A fábrica dedica-se exclusivamente ao processo de embalagem por estiramento sopra (SBM) e sopra o total de 18 referências de embalagens com uma média de produção anual a rondar os 100 milhões de embalagens.

2.2. Matéria-Prima em SBM

No processo de estiramento sopra, o material que será abordado nesta obra é polietileno tereftalato, também designado pela sigla PET. Este termoplástico obtido através da policondensação do ácido tereftálico com etileno glicol foi patenteado em Inglaterra em 1941, mas utilizado no sector alimentar alguns anos depois, devido às suas propriedades [9], tais como:

- Boas características mecânicas
- Resistência a grande parte dos solventes
- Boa material barreira para os gases (dióxido de carbono, por exemplo)

- Elevada transparência

O PET, à semelhança de outros polímeros, pode possuir vários tipos de estruturas macromoléculas:

Estado Cristalino - Quando as cadeias da macromolécula estão orientadas segundo um determinado padrão e ordem formando assim vários cristais. Por exemplo, o PET, quando fornecido em granulado, possui um aspeto esbranquiçado devido à sua elevada taxa de cristalização. A cristalização é o resultado de um arrefecimento lento após o seu processamento, dando tempo para as estruturas macromoleculares se organizarem.



Figura 2.4- Granulado de PET

No estado cristalino, o PET contém as seguintes características:

- Opaco
- Frágil
- Boas propriedades mecânicas e térmicas
- Boas propriedades barreira

Estado Amorfo- As cadeias de macromolécula não são cristais e estão desordenadas. O facto de as cadeias serem desorganizadas não faz com que o material seja opaco, por exemplo uma pré-forma proveniente do processo de injeção.

Na Figura 2.5 está representada uma pré-forma cristalizada (zona esbranquiçada) e transparente na zona do gargalo. A razão pela qual esta se encontra com este aspeto é que somente a zona do corpo foi aquecida e arrefeceu lentamente, dando tempo para as macromoléculas se organizarem e formarem esta zona cristalizada na pré-forma.

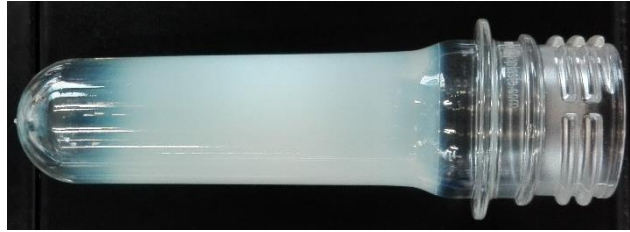


Figura 2.5- Pré-forma Cristalizada com zonas amorfas

O PET no estado amorfo dispõe das seguintes características:

- Transparente
- Baixa resistência química
- Elástico
- Elevada permeabilidade aos gases

Estado Orientado - Este estado é criado através do estiramento da macromolécula amorfa, fazendo com que as cadeias se tornem orientadas (através do processo de estiramento sopro, por exemplo), contendo as seguintes características:

- Transparência
- Ótimas propriedades mecânicas
- Ótimas propriedades barreira

Outra característica importante deste material é o índice de viscosidade (IV). Esta propriedade corresponde a uma relação praticamente linear entre a mesma e o peso molecular do material (Figura 2.6), ou seja, quanto maior for o IV do PET, maior será o peso molecular. Esta característica resulta do comprimento e quantidade de moléculas presentes no material, sendo que, quanto mais compridas as cadeias (maior IV), melhor serão as propriedades mecânicas do produto final.

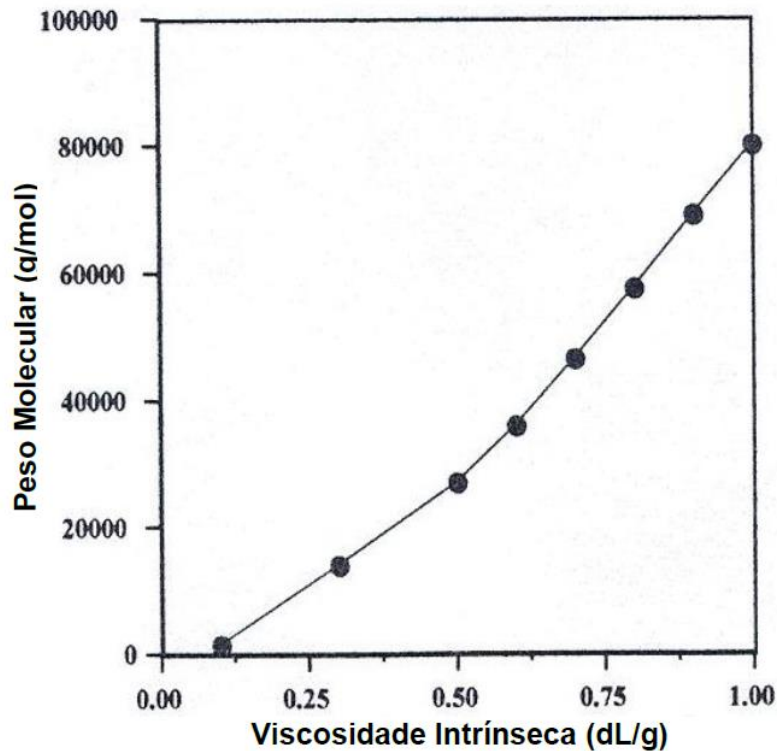


Figura 2.6- Relação entre o Peso molecular e a Viscosidade intrínseca (Adaptado) [10]

Uma consequência do processamento do PET no estado líquido é a formação de uma substância denominada de acetaldeído [11]. Apesar de ser vulgarmente encontrada em alguns alimentos devido à fermentação dos mesmos (transformação do açúcar em álcool), este fica aprisionado no seio do material e quando libertado para o alimento, acima de algumas quantidades (15-20 ppm), causa um sabor desagradável. Para minimizar a formação deste componente, são tomadas algumas medidas durante a processo de injeção, descritas no capítulo de Injeção.

Durante as fases de transformação do PET, é importante conhecer as temperaturas que irão afetar o seu comportamento. Abaixo da temperatura de transição vítrea (T_g), que pode variar entre os 70 e 85 °C, o material tem um comportamento frágil. A partir da temperatura T_g o material atinge um estado dúctil até atingir a temperatura de fusão (T_m). Na Figura 2.7 está demonstrada a variação do módulo de elasticidade em função do aumento da temperatura, é possível que haja um decréscimo do mesmo, devido à maior liberdade das estruturas do material entre si.

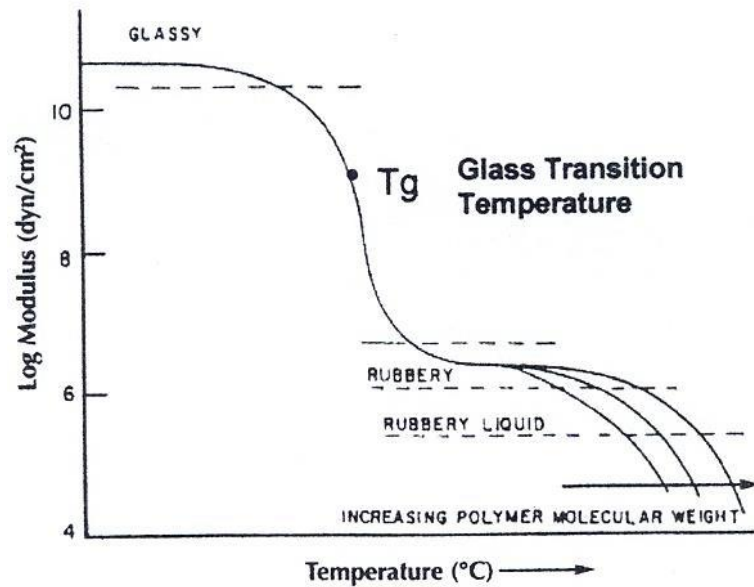


Figura 2.7- Variação do módulo de elasticidade em função da Temperatura (Extraído) [10]

2.3. Fundamentos de máquina de estiramento sopro

Apesar de existirem vários tipos de máquinas de estiramento sopro, nomeadamente as máquinas lineares e rotativas, ao longo deste capítulo, será apenas abordada a máquina rotativa, por ser aquela que foi utilizada durante o estágio. Contudo o princípio de funcionamento é comum aos vários tipos de máquinas, sendo estas compostas pelos seguintes grupos correlacionados com a Figura 2.8 :

- Alimentação de pré-formas (6);
- Forno (2);
- Mesas de transferência pré-formas-garrafas (3);
- Roda de sopro (4);
- Roda de entrada pré-formas (1) e de saída de garrafas (5);
- Circuito de ar (entrada em A);
- Circuito de água de arrefecimento (entrada e saída em B).

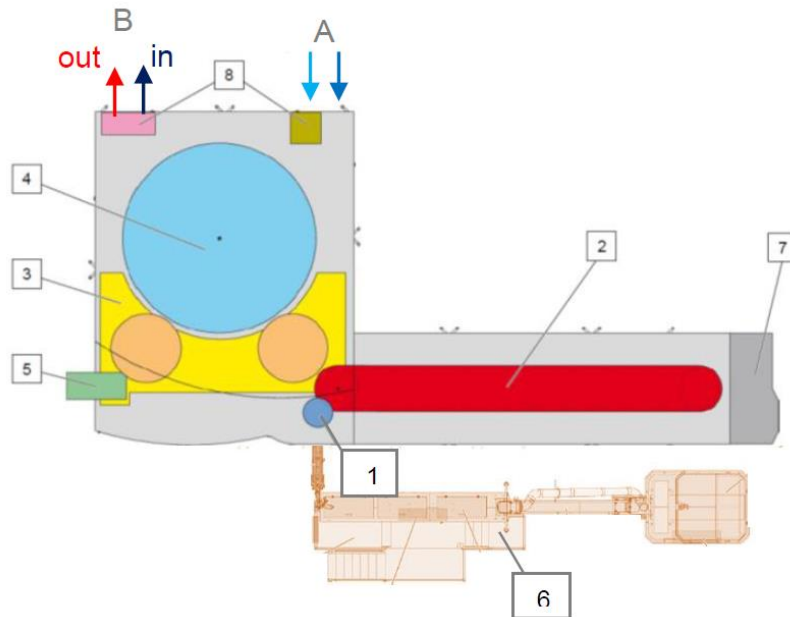


Figura 2.8- Esquema de uma sopradora (Extraído) [12]

Os números 7 e 8 são respetivamente quadro elétrico e zona de entrada de fluídos (ar e água).

2.3.1. Alimentação de Pré-formas

Para que a máquina possa transformar a matéria-prima, neste caso as pré-formas, em garrafas, necessita ser alimentada. Para esse mesmo fim, existe um grupo que se encarrega de alimentar a sopradora com pré-formas é constituído pelos seguintes elementos, tal como ilustrado na Figura 2.9:

- Tremonha (1);
- Coluna elevadora (2);
- Conjunto de rolos orientadores (3);
- Trilho de carregamento (4);
- Passadiço (infraestrutura de acesso humano) (5);
- Armário elétrico do conjunto de rolos orientadores (6);
- Quadro elétrico da tremonha e coluna (7).

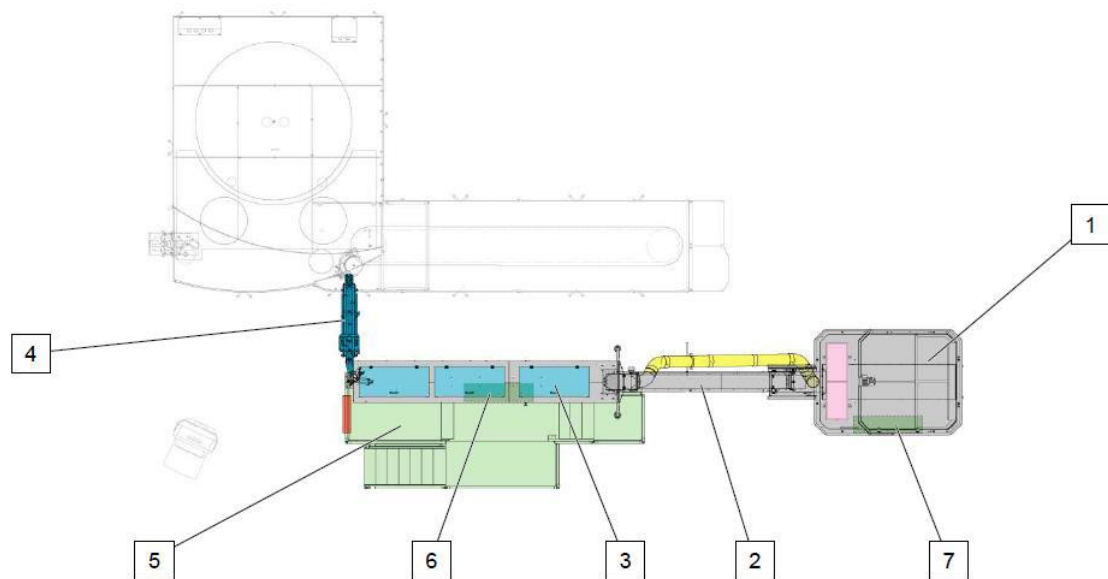


Figura 2.9- Esquema do alimentador de pré-formas (Extraído) [12]

Um contentor de pré-formas é colocado no sistema de alimentação. Este sistema de alimentação é constituído por um elevador que vira os contentores, fazendo com as pré-formas sejam despejadas para o interior da tremonha. Um tapete elevador de alhetas (à esquerda da Figura 2.10) transporta as pré-formas até ao orientador, assegurando que a orientação das pré-formas seja com gargalos para cima (à direita da Figura 2.10) e o enfileiramento das mesmas no trilho de carregamento. A inclinação e a rotação dos rolos asseguram o deslocamento por gravitação das pré-formas para o trilho de alimentação.

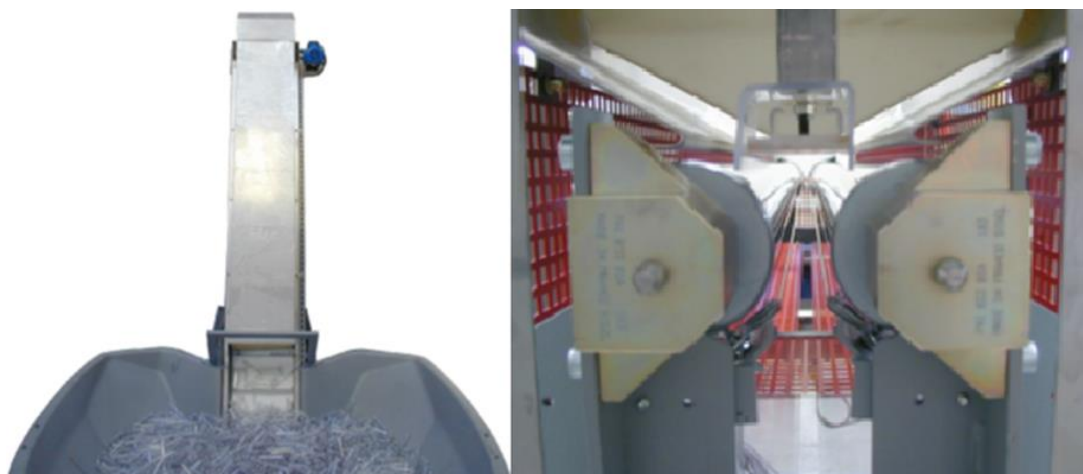


Figura 2.10- Tremonha e tapete transportador à esquerda, rolos orientadores à direita (Extraído) [12]

Estando as pré-formas orientadas, estas são encaminhadas por força gravítica até à roda de carregamento. A roda de carregamento controla a entrada das pré-formas provenientes do trilho de carregamento, ajustando assim a quantidade de pré-formas a entrar no forno com a cadência esperada da máquina.

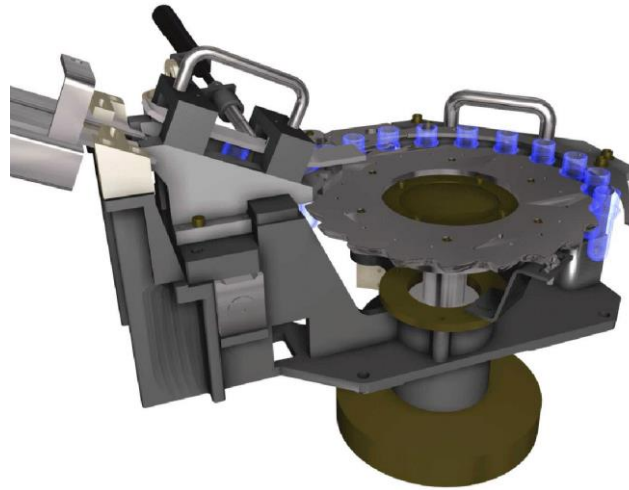


Figura 2.11- Entrada das pré-formas provenientes do trilho para a roda de carregamento (Extraído) [12]

2.3.2. Forno

O forno é a zona da máquina responsável pelo aquecimento da pré-formas antes destas serem moldadas. Este conjunto é composto essencialmente pelos seguintes subgrupos:

- Cadeia do forno
- Lâmpadas e refletores
- Régua de arrefecimento
- Ventilação

A cadeia do forno é responsável pelo movimento de translação e rotação constante, através da haste giratória (Figura 2.12), ao longo de todo o forno, fazendo com que haja um aquecimento uniforme ao longo da pré-forma.



Figura 2.12- Haste giratória (Extraído) [12]

Para garantir este aquecimento, ao longo do percurso feito pela pré-forma, estão posicionadas lâmpadas infravermelhas e refletores da radiação. Os fornos podem conter grupos de lâmpadas denominadas também de fornos, ou seja, o forno de uma máquina pode conter vários fornos segundo as características da máquina (Figura 2.13).

Conjuntos de fornos também podem ser divididos em fornos de penetração e fornos de distribuição. Os fornos de penetração têm o objetivo de aquecer a pré-forma exteriormente e devido à transmissibilidade da radiação irá também ser aquecida internamente. Não é possível controlar a potência das suas lâmpadas, ou seja, se estiverem ligadas estão na sua potência máxima.

Por sua vez, os fornos de distribuição servem para fornecer mais calor às pré-formas em zonas mais críticas, assim como homogeneizar a temperatura da pré-forma.

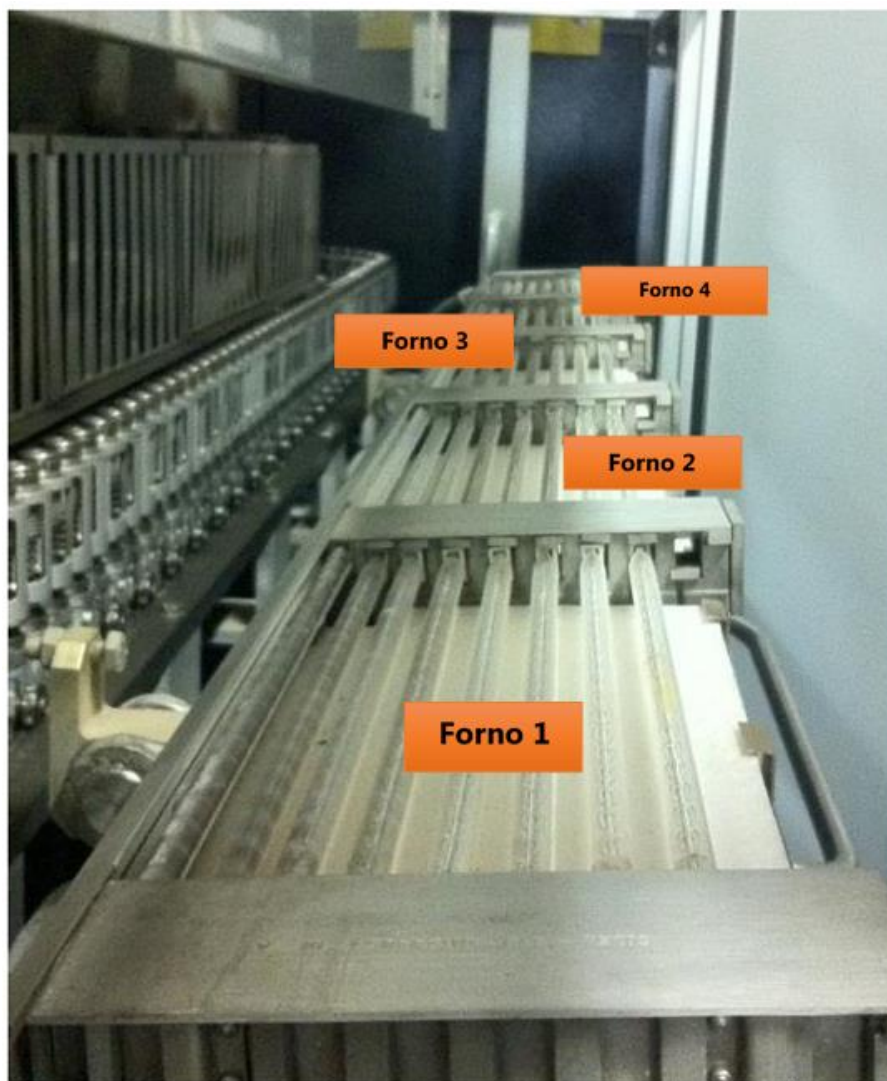


Figura 2.13- Forno das máquinas

Cada forno, seja de penetração ou distribuição, é também dividido por zonas de incidência de radiação segundo o posicionamento de cada lâmpada. Na Figura 2.14 estão demonstradas as diferentes zonas de incidência, assim como assinaladas as régua de arrefecimento, que têm como objetivo não permitir que o gargalo da garrafa aqueça, uma vez que este já tem o formato final da embalagem.

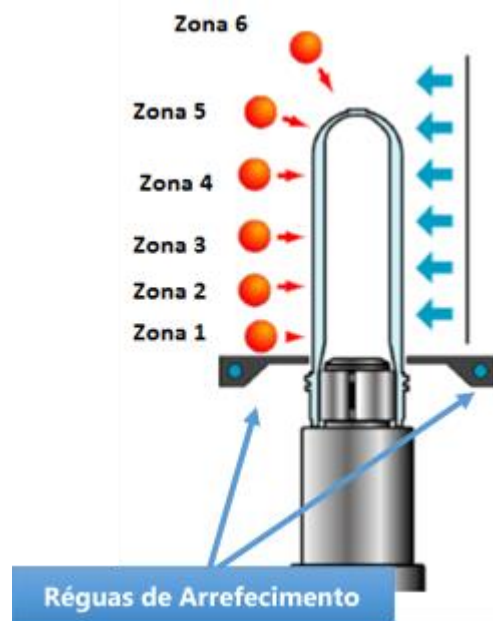


Figura 2.14- Zonas de incidência (Adaptado) [12]

Para um melhor controlo e perceção das zonas de incidência é utilizado um método que visa marcar a pré-forma nas zonas de incidência (marcador de tinta, por exemplo) e correlacionar com a embalagem final, conforme ilustra a Figura 2.15

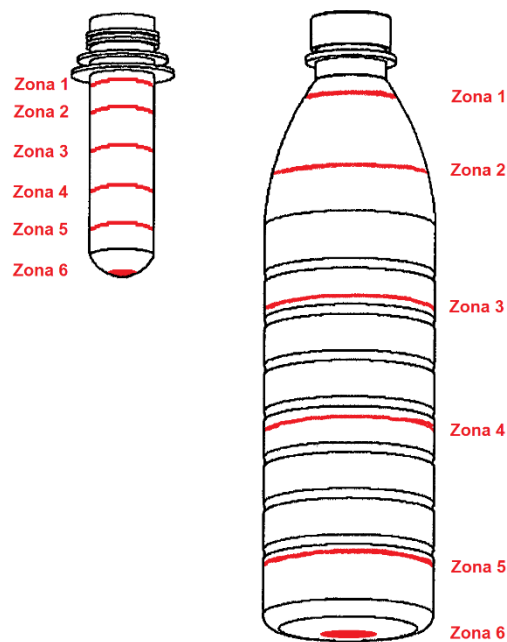


Figura 2.15- Distribuição de zonas de aquecimento na pré-forma e posterior localização na garrafa

De forma a obter uma maior homogeneidade de temperaturas entre a superfície exterior e interior, é utilizado um sistema denominado de ventilação que, como o próprio nome indica, faz recircular ar no interior do forno da máquina (Figura 2.16). Apesar de parecer um contrasenso o facto de estar a retirar calor quando, na realidade, se pretende aquecer, a ventilação é bastante importante para equilibrar as temperaturas, ao longo da espessura da pré-forma. Este fenómeno será melhor abordado no capítulo Aquecimento.



Figura 2.16- Ventilação posicionada atrás dos refletores

2.3.3. Unidade Porta Molde

Após a saída das pré-formas do forno, estas são encaminhadas para a unidade portamolde, uma máquina rotativa pode conter várias unidades portamolde e, quanto maior for o número destas, maior será a capacidade de produção de máquina. Esta unidade é composta pelos seguintes elementos, conforme ilustra a Figura 2.17.

1. Estrutura;
2. Coquilha;
3. Corpo do molde;
4. Fundo do molde;
5. Compensação;
6. Pino de estiramento,
7. Tubeira;
8. Tubagem de circuito de arrefecimento dos moldes;
9. Tranca da unidade;
10. Amortecedor do fecho do molde.

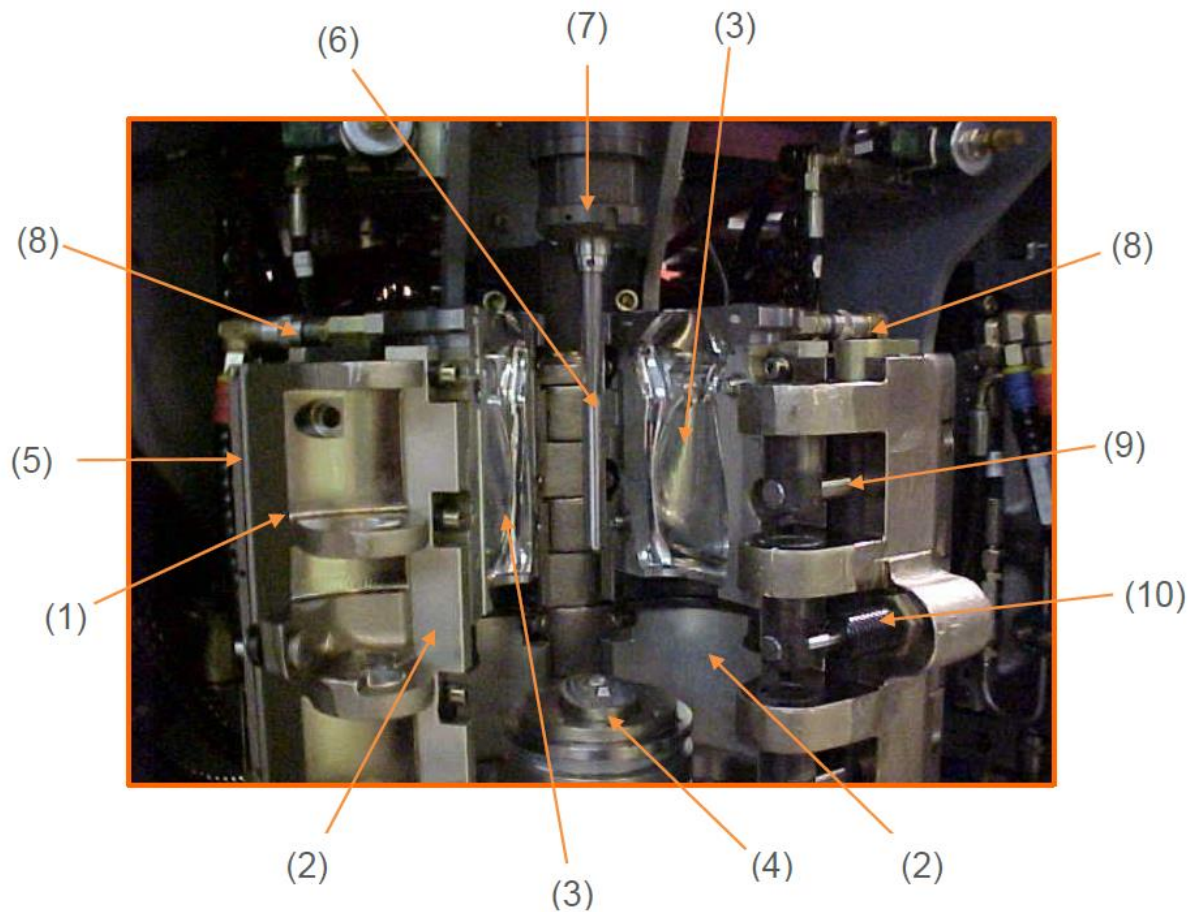


Figura 2.17- Unidade Porta Moldes

A estrutura da unidade porta moldes (1) suporta a coquilha (2) e esta, por sua vez, acondiciona o corpo do molde. Devido à elevada pressão de sopro das embalagens, uma forma de garantir que o molde (3) permanece fechado é introduzir a mesma pressão na face exterior do molde, quando a unidade porte molde se encontra fechada. Este sistema denomina-se por compensação (5), representada na Figura 2.18.

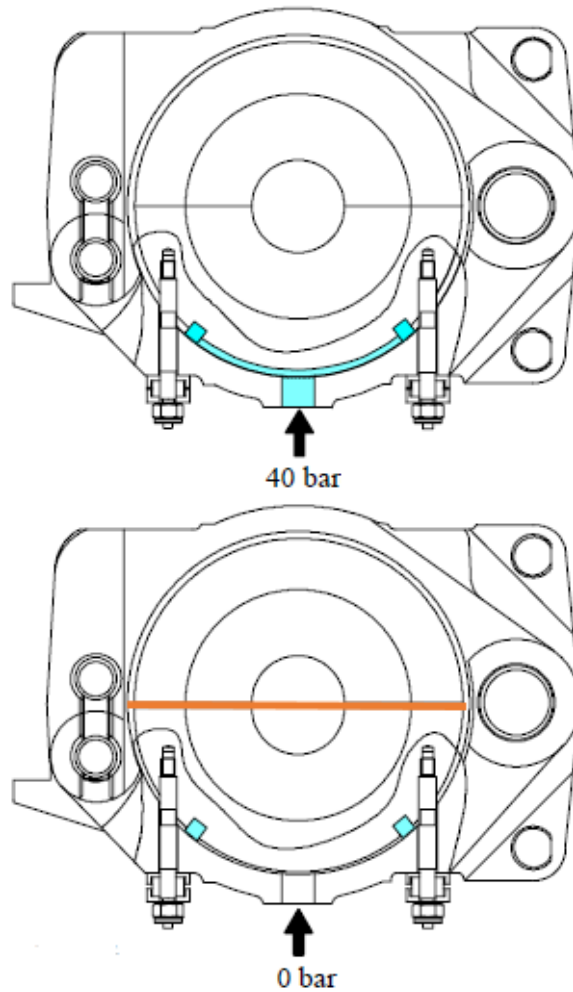


Figura 2.18- Funcionamento da Compensação (Extraído) [12]

Outra função bastante importante da coquilha é o arrefecimento do molde. As metades do molde não possuem canais internos de arrefecimento, pelo que o calor é extraído por condução entre o molde e a coquilha e esta, sim, possui um circuito interno de água fria.

O movimento da estiragem mecânica (6) é efetuado através de um cilindro pneumático e auxiliada por uma came que controla a velocidade da descida. Na Figura 2.19, encontra-se representado o acoplamento entre o cilindro pneumático e o pino de estiragem (esquerda) e a came, onde corre o rolamento que controla a velocidade de descida do pino (direita).

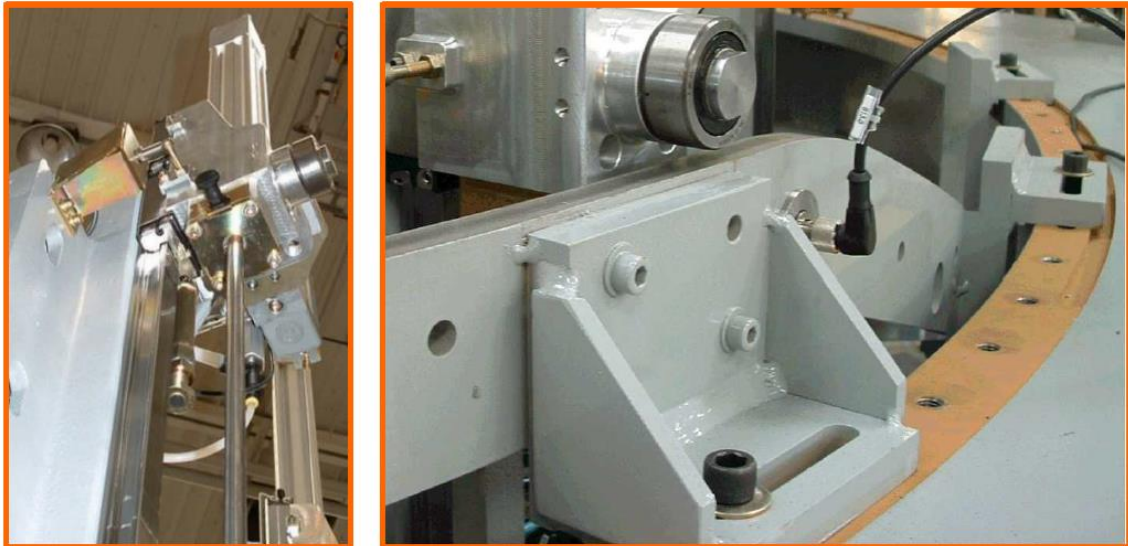


Figura 2.19- Came de estiragem

A tubeira (Figura 2.20) é o componente que tem a função de canalizar o ar de pré sopro, sopro, realizar a recuperação (opcional) e ainda a desgaseificação.

Este componente, de uma forma simplista, é um cilindro de alumínio que, no seu interior, tem outro cilindro que, quando acionado pneumaticamente, entra em contacto com a unidade porta moldes e faz a vedação entre a tubeira, pré-forma e molde.



Figura 2.20- Tubeira

Após a saída das pré-formas do forno, estas, através pinças da mesa de transferência, introduzem a pré-forma quente no interior do molde e dá-se o início da estiragem mecânica. Ainda durante a estiragem mecânica, inicia-se o pré sopro para que a pré-forma estirada não toque no pino de estiramento. No fim da estiragem, inicia-se o sopro que irá fazer com que a pré-forma adquira a forma definitiva da garrafa.

Na Figura 2.21, é possível identificar os diferentes sistemas da tubeira:

- Amarelo: Zona de Entrada de ar de trabalho (7 bar) para a descida da tubeira, por forma a contactar com o molde e realizar a correta vedação. A parte verde da figura é a parte móvel da tubeira.
- Laranja: nesta zona, entra ar de pré-sopro e sopro e sai ar e ar de escape proveniente do interior da embalagem após formada.
- Vermelho: Pino de estiragem que passa no interior da tubeira. É um componente móvel e devido a uma eficiente vedação (roxo) faz com que o ar no interior da tubeira e garrafa não escape para o exterior.

O controlo da descida da tubeira é feito eletricamente através de sinais para as electroválvulas, assim como para o ar de pré-sopro, sopro, recuperação e desgaseificação.

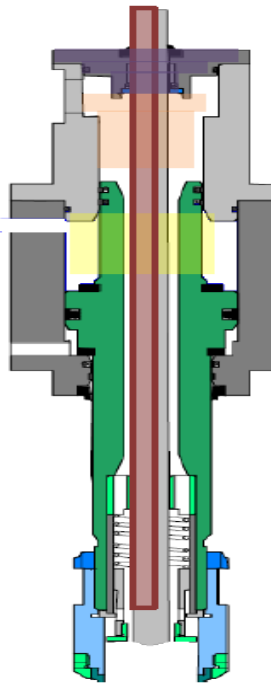


Figura 2.21- Esquema interno da tubeira (Adaptado) [12]

As válvulas de pré-sopro e sopro, escape e recuperação funcionam através de um circuito interno de ar comprimido de baixa pressão que, através da relação de áreas, faz com que seja possível trabalhar com pressões até 40 bar com a atuação de 7 bar. Pensar que esta válvula é a combinação de um cilindro pneumático acoplado a uma válvula comum é uma boa analogia para compreender o seu funcionamento.

Na Figura 2.22, é possível ver a entrada de ar a 40 bar (azul), mas este ar não chega a sair da válvula. O acionamento elétrico da bobine da válvula, ar de trabalho (amarelo) a aproximadamente 7 bar, faz com que avance a haste (vermelho). A haste, ao avançar, comprime a esfera contra o orifício a verde. e faz a com que o ar de alta pressão não passe para a segunda via da válvula.

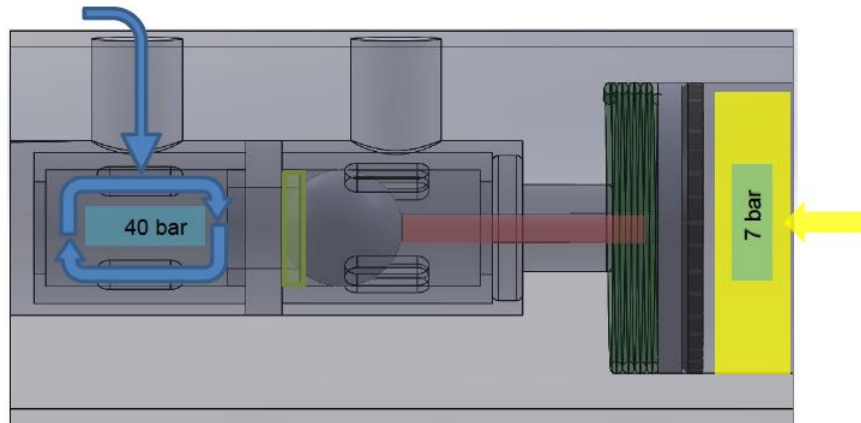


Figura 2.22- Válvula de sopro ativada

Quando a válvula não está pilotada, a haste do cilindro recolhe com o auxílio da mola. Estando a haste recolhida, o ar de alta pressão empurra facilmente a esfera permitindo assim que o ar escape da válvula para a tubeira, como demonstrado na Figura 2.23

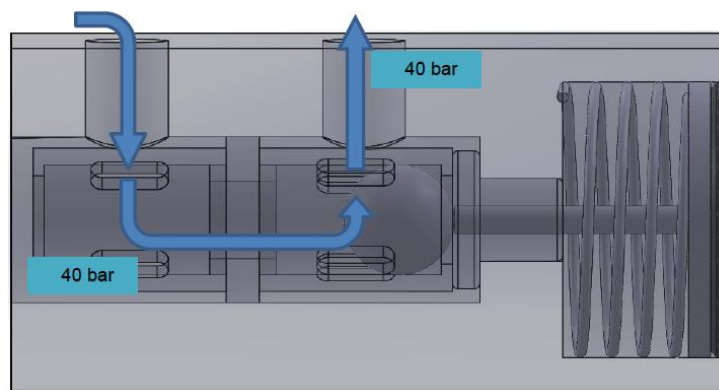


Figura 2.23- Válvula de sopro desativada

O movimento do fundo do molde pode ser visto de duas formas, para facilitar tanto a extração da garrafa já formada, como facilitar o fecho do molde.

Na Figura 2.24, na imagem 1, é possível verificar que o molde está fechado e o fundo bloqueado no seu interior. O sistema de tranca do molde é desativado pela came a

rosa, nas imagens 1, 2 e 3, e através do movimento do braço do molde, a unidade porta molde abre, deixando o fundo descer.

A descida do fundo do molde é controlada pela came a roxo e, nesta altura, é efetuada a extração da garrafa e introdução da nova pré-forma. Estando o molde a fechar o fundo, volta a subir através da came roxa (imagem 3 da Figura 2.24). É de salientar que a came de subida do molde faz com o fundo esteja um pouco subido face ao molde para que, ao fechar, não haja contacto entre ambos, reduzindo assim o desgaste do conjunto.

Estando o molde fechado este é trancado através dacame, como ilustra a imagem 4.

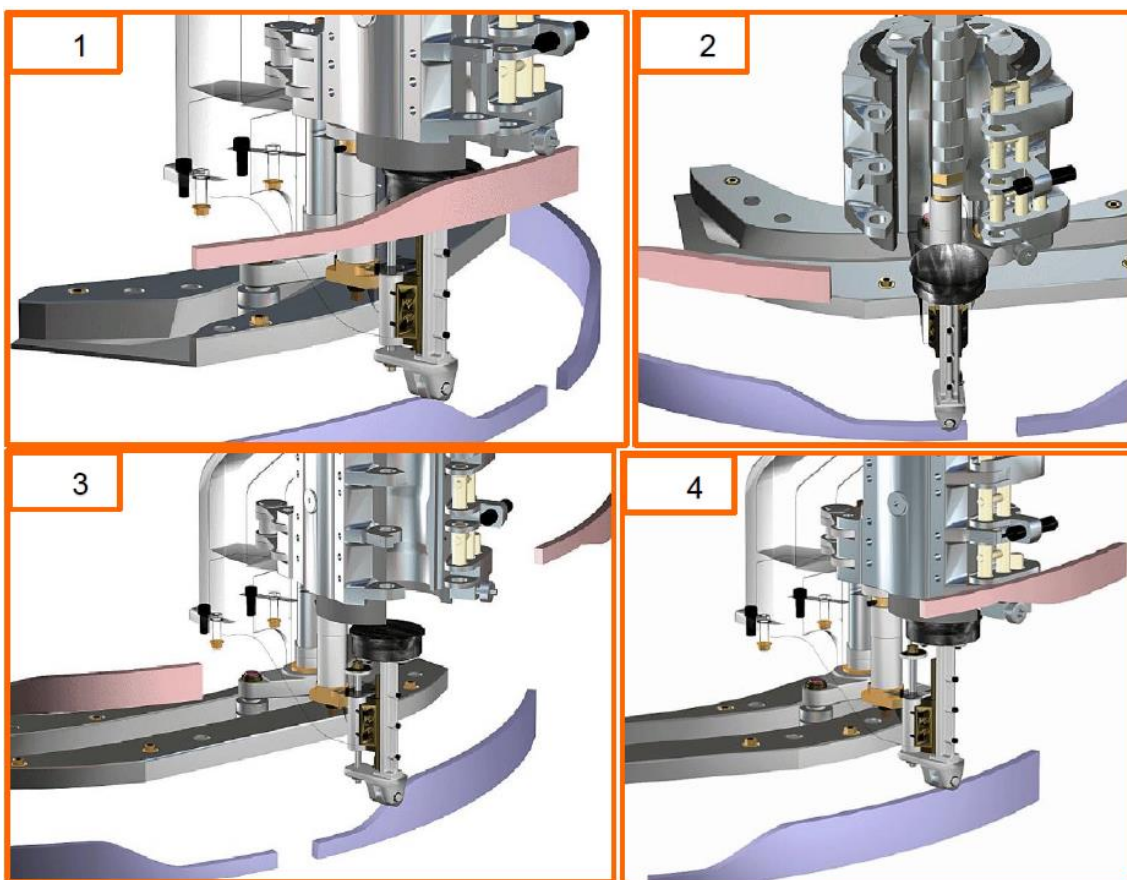


Figura 2.24- Abertura e fecho do molde [12][Adaptado]

O bloqueio do molde é um sistema mecânico que tem o objetivo de garantir que as duas metades da unidade porta moldes estão fechadas. Como pode ser visto na Figura 2.25, o bloqueio do molde é feito quando há contacto entre o batente (vermelho) e o veio

do sistema de fecho (laranja). O conjunto, ao ser comprimido, deixa de estar em contacto com a tranca (verde), fazendo com que esta, pelo próprio peso, caia trancando desta forma a unidade porta moldes. Para abrir a tranca, esta sobe até atingir a zona de engate com o veio que está em pressão devido à mola que o comprime (contacto entra a parte roxa e azul).

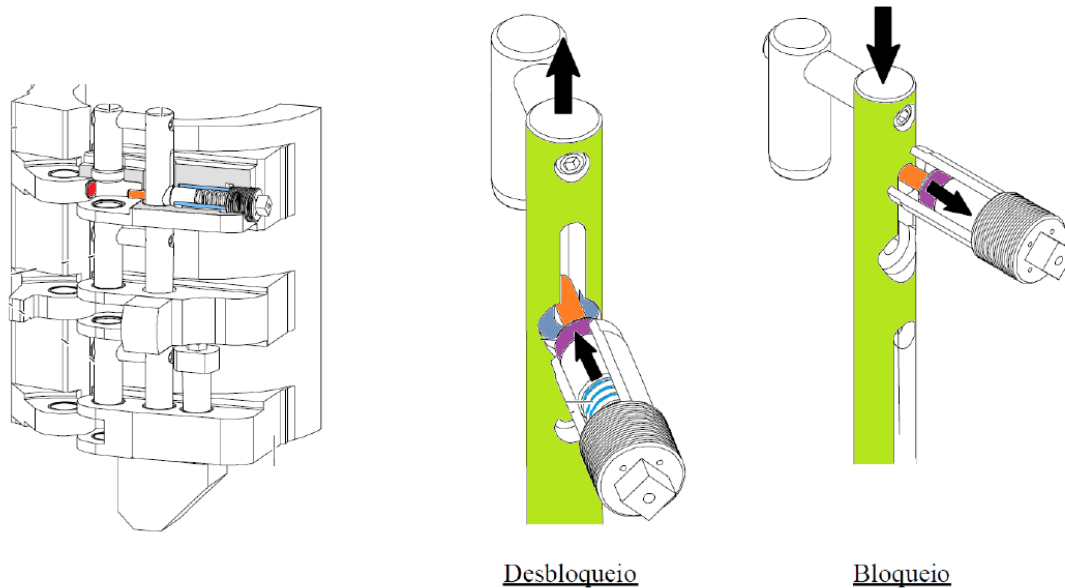


Figura 2.25- Sistema do bloqueio do molde [12][Adaptado]

2.3.4. Ciclo de uma máquina rotativa

De forma a descrever todos os movimentos ao longo dos 360 graus de rotação de um posto de sopragem, a Figura 2.26 revela a duração de cada uma das etapas descritas anteriormente.

A partir do grau 0, o molde começa a fechar e o fundo do molde sobe. Nesta altura, a pré-forma já está no interior do molde. O molde é trancado, a tubeira baixa e entra em contacto com o molde. Assim que o molde está trancado, entra a compensação garantindo que as metades do molde estão em contacto.

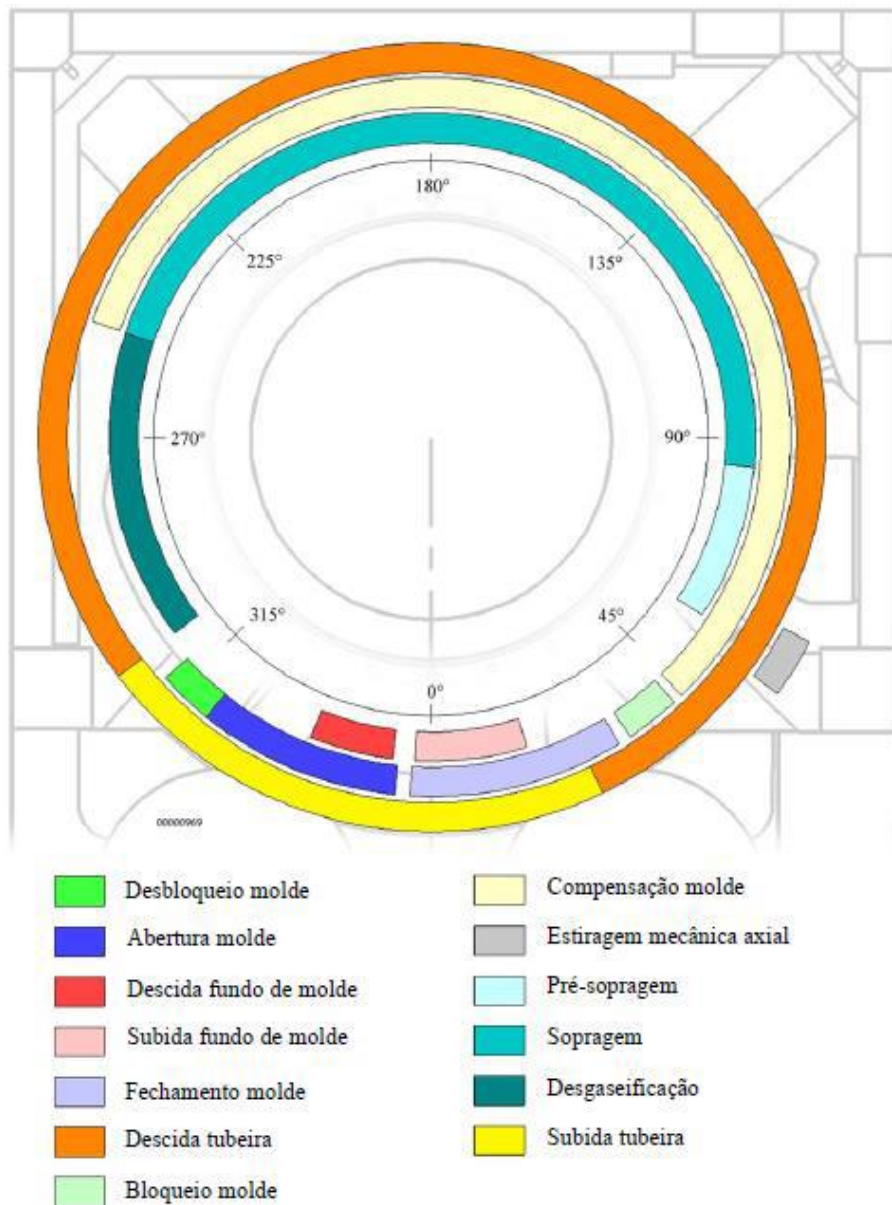


Figura 2.26- Diagrama circular do ciclo de SBM [12][Extraído]

É efetuado o estiramento da pré-forma através do pino de estiramento, o qual é movido através de um cilindro pneumático em que a sua descida é linearizada e suavizada pela came de estiramento. A partir do momento em que o pino entra em contacto com a pré-forma, entra o pré-sopro (PS), garantido assim que a pré-forma não contacta com as paredes frias do pino.

Estando o pré-sopro terminado entra o sopro que dá a forma final à garrafa. Após o sopro, a pressão no interior da garrafa é removida através da desgaseificação. No caso de haver recuperação de ar, este é feito antes de ocorrer a desgaseificação, conforme ilustra a Figura 2.27. De seguida, a tubeira sobe, o molde desbloqueia e abre, o fundo do molde desce e a garrafa é recolhida pela mesa de transferência e entregue à roda de saída.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Fundo Molde																	
Corpo Molde		A		F												A	
Tranca Molde																	
Tubeira																	
Estiragem																	
Bloco Sopros		E						PS	PS	S	S	R	E				

Figura 2.27- Esquema do ciclo de SBM

2.4. Variáveis do processo de Estiramento Sopros

O controlo de variáveis que irão dar origem ao produto final é crucial para garantir a qualidade do produto final. Como tal, é essencial monitorizar e intervir em grande parte dos parâmetros tais como:

- Aquecimento
- Estiramento
- Pré-sopro
- Sopro

Ao longo deste capítulo, serão pormenorizadas a forma de controlo e o seu impacto no produto final dos tópicos anteriormente referidos.

2.4.1. Estiramento

O processo de estiragem, inicia-se quando o pino de estiragem entra em contacto com a pré-forma (denominado de ponto 0) e a obriga a esticar. Após o pino de estiragem atingir o seu curso de descida máximo (vulgarmente chamado de ponto 10), entra o sopro que irá esticar o material até à forma desejada. É de realçar que o processo de estiragem é diretamente afetado pela temperatura a que o material se encontra assim como o índice de viscosidade intrínseca do material.

O rácio de estiramento, também conhecido como taxa de bi-orientação, devido à dupla orientação da estrutura molecular, axial e radialmente, é um conceito do processo SBM que visa obter um valor que traduza a relação dimensional entre a pré-forma e a garrafa.

Como tal, o rácio de estiramento tem como influência as dimensões radiais e longitudinais da pré-forma e da embalagem a produzir, e o seu valor global designa-se por rácio de estiramento total (*TSR-Total stretch ratio*).

O TSR ajuda a definir a configuração da pré-forma adequada ou a avaliar se a configuração da pré-forma escolhida é a mais adequada para a garrafa a produzir.

Basicamente, este cálculo é a multiplicação do valor axial (*ASR- Axial stretch ratio*) pelo radial (*RSR- radial stretch ratio*), ver equação (1), e para se obter estes valores é necessário ter os desenhos técnicos das duas partes envolvidas.

$$TSR = ASR \times RSR \quad (1)$$

O ASR e o RSR podem ser obtidos usando valores mínimos, médios ou máximos de comprimentos e diâmetros da pré-forma e garrafa.

O valor do rácio de estiramento axial, baseado em dimensões médias consiste na divisão entre metade do comprimento da garrafa e metade do comprimento da pré-forma.

$$ASR = \frac{1/2 L_{bottle}}{1/2 L_{preform}} \quad (2)$$

Estes meios comprimentos vão desde o diâmetro inferior ao anel de transporte (também conhecido como *Diameter Under Support ledge*, DUS), até ao meio da base (localizado no ponto de injeção da pré-forma), conforme ilustram as imagens na Figura 2.28.

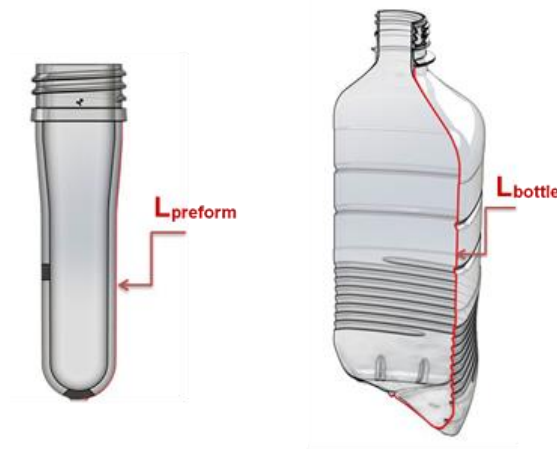


Figura 2.28-Identificação do comprimento da pré-formas e da garrafa para o cálculo do ASR

Para o caso do cálculo do rácio de estiramento radial, a relação é idêntica só que usando os diâmetros médios, conforme expressa a equação (3) e a Figura 2.29 ilustra.

$$RSR = \frac{1/2 D_{bottle}}{1/2 D_{preform}} \quad (3)$$



Figura 2.29- Identificação do diâmetro da pré-forma e da garrafa para o cálculo do RSR

A geometria da pré-formas deve ser adequada à aplicação, a Tabela 2.1 expressa valores aconselháveis de rácios de estiramento para alguns tipos de aplicações e/ou particularidades da embalagem.

SR	CSD ¹	Plain		Oval Shapes	
		Normal	Lightweight	Axis ratio >1,4	Heavy weight or Axis ratio >>1,4
ASR	2,8<ASR<3,5	2,5<ASR<3,0	2,8<ASR<3,5	2,2<ASR<2,5	1,4<ASR<2,0
RSR	3,3<RSR<4,2	3,3<RSR<4,2	3,8<RSR<4,3	4,0<RSR<5,0	4,0<RSR<5,0
TSR	10<TSR<14	10<TSR<12	11<TSR<14	8<TSR<12,5	6,0<TSR<10

Tabela 2.1- Rácios de estiramento em função da aplicação (Extraído) [13]

2.4.2. Aquecimento

O aquecimento das pré-formas é conseguido numa zona da máquina denominada de forno e tem como objectivo aquecer uniformemente a pré-forma (exceção do gargalo). O forno da máquina é composto por lâmpadas de infravermelhos dispostas ao longo de todo o percurso percorrido pela pré-forma. No entanto o aquecimento da pré-formas ocorre sob a forma de condução, convecção e radiação.

A condução ocorre quando duas peças estão em contacto e o calor flui da peça mais quente para a peça mais fria. No que toca ao aquecimento por condução das pré-formas, este fenómeno ocorre entre dos dedos do forno (peça a amarelo da Figura 2.30) e a pré-forma, a azul. Nesta situação, este tipo de transmissão de calor não é considerado para o aquecimento da pré-forma, uma vez que o PET, como a maioria dos plásticos, é um mau condutor de energia térmica.

¹ Carbonated soft drinks-bebidas carbonatadas

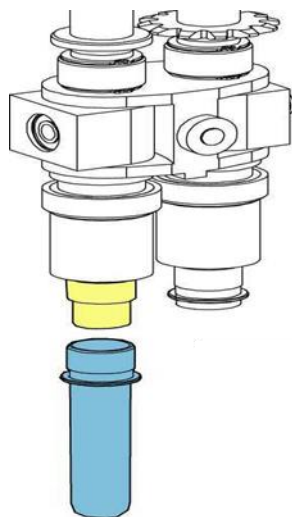


Figura 2.30- Dedo do forno e Pré-forma (Extraído) [14]

A troca de calor por convecção é resultante da interação do ar no interior do forno com a pré-forma. Dependendo da temperatura do ar, este pode arrefecer ou aquecer a parte externa da pré-formas. Para efeitos de aquecimento, este tipo de transmissão de calor é difícil de controlar, uma vez que é altamente afetado pelo meio ambiente circundante, assim como apenas conseguiria aquecer o exterior da pré-forma.

O efeito de radiação ocorre quando as lâmpadas do forno irradiam as pré-formas. Essa radiação, dependendo do comprimento de onda, consegue penetrar na parede da pré-forma e ser absorvida. A radiação emitida pode ser dividida em três partes:

- Reflecção - alguma reflecção ocorre quando a radiação sai da lâmpada (tubo de quartzo) e entra no ar, assim como quando a radiação é refletida pela superfície da pré-forma.
- Absorção - cada tipo de material tem a capacidade de absorver a radiação que lhe é emitida. Dependendo do comprimento de onda, o PET consegue absorver mais ou menos radiação.
- Transmissão - É radiação que não é refletida nem absorvida, entra na parede da pré-forma e liberta alguma da sua energia, enquanto viaja pela espessura da pré-forma.

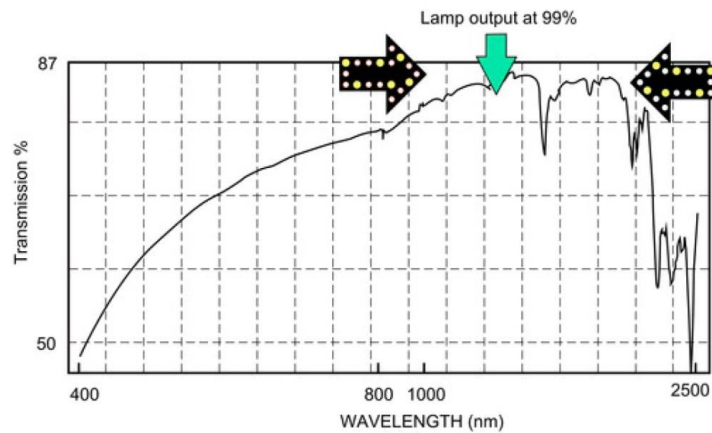


Figura 2.31 Transmissão em função do comprimento de Onda (Extraído) [10]

A Figura 2.31 mostra a capacidade do PET em absorver a radiação emitida pelas lâmpadas de infravermelhos, dependendo do comprimento de onda. Alta absorção da radiação irá causar um aquecimento excessivo na superfície exterior, enquanto que a interior estará mais fria, pelo que a maioria das lâmpadas emite radiação compreendida entre os 1000 e 2200 nm de comprimento de onda, correspondendo a uma diferença de potencial nas lâmpadas entre 100 e 220 Volts ou 50 a 100%.

Apesar do rendimento do processo de transmissão de calor ser bastante baixo, devido à baixa taxa de absorção, este fenómeno permite que a radiação melhor penetre na parede da pré-forma e assim obter um perfil de temperaturas mais homogêneo. A Figura 2.32 mostra, de uma forma simplista, a influência da percentagem das lâmpadas na penetração da espessura da pré-forma, em que uma lâmpada a 100% consegue atravessar toda a espessura e aquecer a superfície interna, enquanto que para contrastar, uma lâmpada a 25% apenas consegue aquecer a superfície exterior da pré-forma.

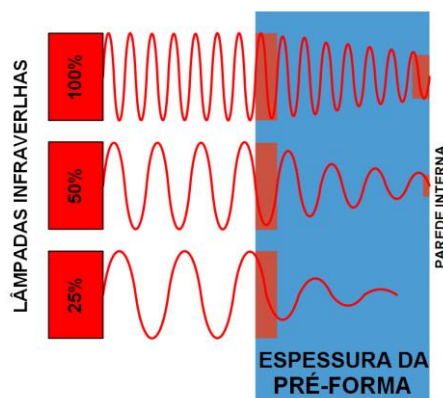


Figura 2.32 Penetração das lâmpadas em função da sua percentagem (Extraído) [5]

Para melhor entender a influência da percentagem das lâmpadas, na, Figura 2.34 e está ilustrada a variação da temperatura externa e interna da pré-forma em função do tempo.

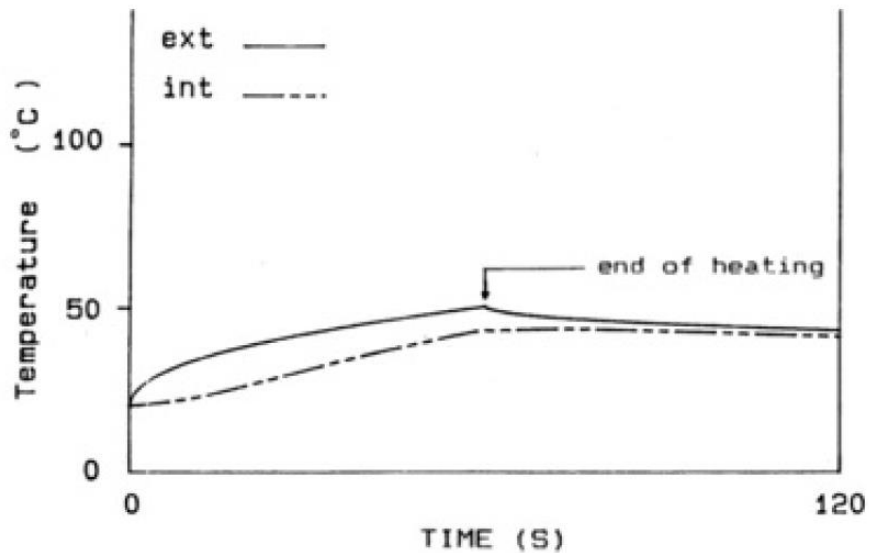


Figura 2.33- Lâmpada a 40% (Extraído) [10]

Na Figura 2.33, é possível visualizar a evolução do aumento da temperatura no interior e no exterior da pré-forma com as lâmpadas a 40%. É de notar que há um atraso de tempo até que a temperatura interna chegue à temperatura externa, devendo-se ao facto da baixa penetração da radiação a 40%.

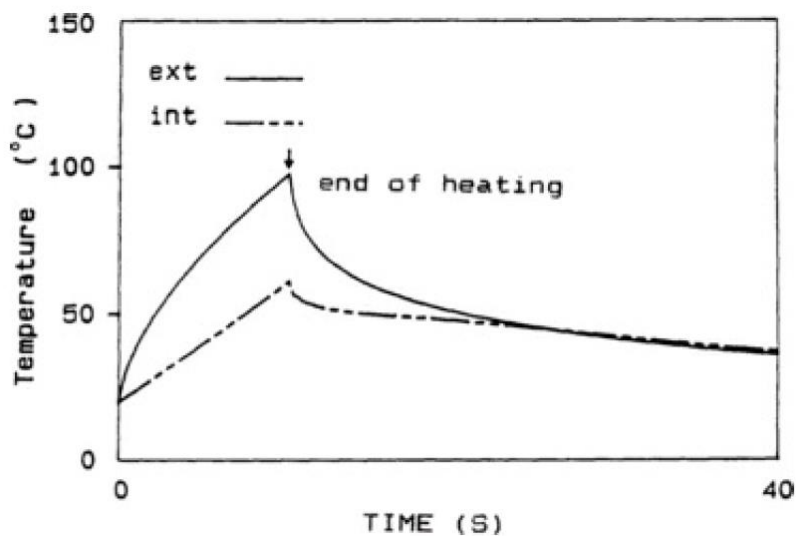


Figura 2.34- Lâmpadas a 70% (Extraído) [10]

Na Figura 2.34, com a lâmpada a 70%, o aumento da temperatura do pré-forma é bastante mais rápido que a 40%. É relevante salientar a diferença de temperatura entre a parede exterior e interior causada pela alta absorção da parede da pré-forma.

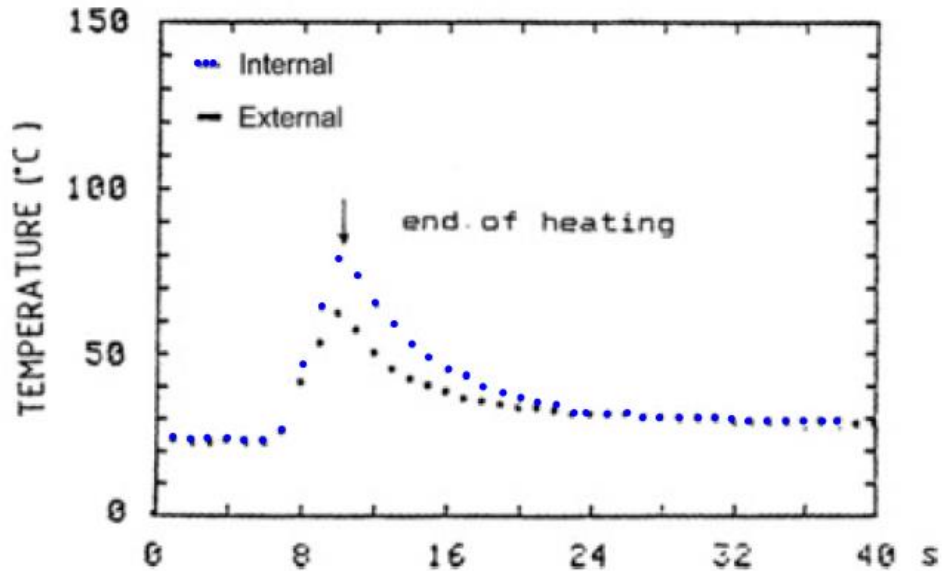


Figura 2.35- Lâmpada a 100% com recurso a ventilação (Adaptado) [10]

Por fim, a Figura 2.35 mostra a temperatura interior a aumentar mais rapidamente que a temperatura exterior e ainda ser superior a esta. Tal fenómeno é o resultado de uma maior taxa de penetração da radiação na pré-forma, mas também é facilitado pela ventilação do forno. A ventilação (troca de calor por convecção) visa remover o excedente do calor da superfície exterior, evitando que a superfície queime e obter um perfil de temperaturas homogêneo, conforme ilustra a Figura 2.36.

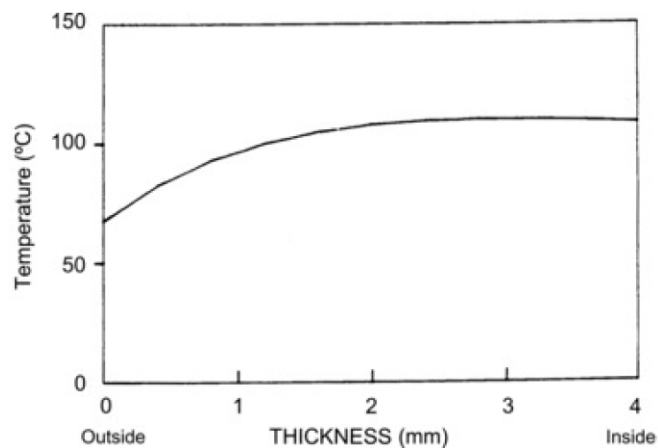


Figura 2.36- Perfil de Temperaturas ao longo da espessura da pré-forma (Extraído) [10]

Quanto aos valores de temperatura, o PET oferece uma janela de processo que pode variar entre 80 e 115 °C. Temperaturas acima dos 115 °C fazem com que o material cristalize, fazendo com que a embalagem tenha um aspeto esbranquiçado semelhante ao nevoeiro (*haze*). Temperaturas abaixo dos 80 °C podem causar microfissuras habitualmente em zonas de maiores rácios de estiramento (interior da embalagem), este fenómeno é denominado como *pearlescence*, devido ao aspeto cor de pérola, Figura 2.37.



Figura 2.37- Efeito *pearlence* (Extraído) [15]

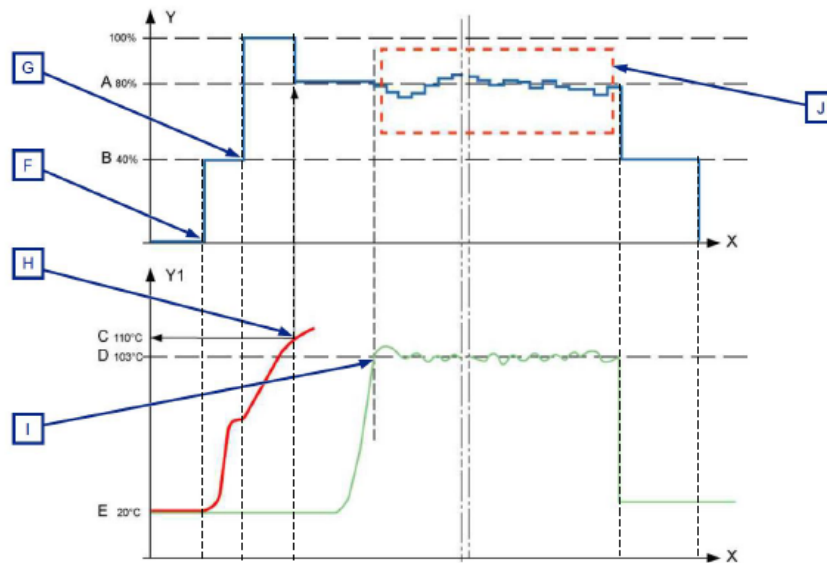
É bastante importante para a qualidade do produto final que nenhum destes fenómenos ocorra, no entanto de forma a obter melhor resistência mecânica da embalagem, esta deve ser soprada à temperatura mais baixa possível, garantindo assim um melhor estiramento e conseqüente resistência.

2.4.2.1. Aquecimento da máquina SBM

O processo de aquecimento numa máquina é realizado através de várias lâmpadas dispostas verticalmente. Este conjunto de lâmpadas é normalmente designado de forno e a máquina dispõe de mais de um forno. Normalmente o conjunto de fornos, que apenas têm a função de estarem ligados ou desligados, são chamados de fornos de penetração, devido ao facto de as lâmpadas estarem a 100%. Para equilibrar a temperatura das pré-formas é utilizado o forno de distribuição e aqui é possível, para ligar certas lâmpadas, regular a potência das mesmas. O forno de penetração está situado na zona da entrada das pré-formas e o de distribuição à saída das mesmas para a estação de sopragem.

O forno dispõe de sensores de temperatura no seu interior que em conjunto com o sistema de controlo trabalham para manter o processo o mais estável possível. Existe o sensor de temperatura do forno e, pelo menos, uma câmara de infravermelhos que lê a temperatura das pré-formas à saída do forno.

Uma característica muito utilizada neste tipo de máquinas é a produção em linhas ou produção constante, quer isto dizer que, à medida que as embalagens são formadas são cheias com o produto final que irão armazenar. Por vezes, há a necessidade que a máquina não produza durante curtos intervalos de tempo e seria pouco produtivo desligar a máquina e voltar a ligar. Por isso mesmo a máquina é mantida a trabalhar em vazio e, quando forem exigidas novas embalagens pelas enchedoras, esta inicia a produção novamente. Para aumentar a flexibilidade e tempo de resposta, o forno da máquina encontra-se à temperatura de *stand-by*. Quando é necessário produzir, a máquina automaticamente atinge uma temperatura denominada de temperatura de carregamento. Para atingir esta temperatura, a máquina liga todas as lâmpadas ativas a 100%, de forma a que o tempo seja o mais curto possível. Após a entrada das pré-formas no forno, é medida à saída a temperatura da primeira pré-forma e a máquina ajusta-se de forma a cumprir com a temperatura requerida denominada de norma. As medições à saída são constantemente feitas e o forno vai se ajustando por forma a cumprir com a temperatura estabelecida. No gráfico abaixo, está exemplificado o funcionamento do forno com função da percentagem de saída e temperatura das pré-formas.



X	Tempo	F	Início do funcionamento do forno
Y	% de saída das lâmpadas	G	Pedido de entrada de pré-formas
Y1	Temperatura	H	Início do carregamento de pré-formas
A	Percentual de arranque de produção	I	Temperatura da primeira pré-forma
B	Percentagem de saída do forno em <i>stand-by</i>	J	Correção da temperatura do forno com a passagem das pré-formas
C	Temperatura de carregamento de pré-formas		
D	Norma da temperatura das pré-formas à saída do forno		
E	Temperatura ambiente		

Figura 2.38- Evolução das temperaturas no forno manual da sidel (Adaptado) [14]

São sempre necessários alguns ajustes, no que toca à parametrização dos valores de temperatura e percentagens do forno. Uma vez que o forno se vai adaptando no decorrer da produção, o mais crítico é parametrizar o início da produção. Como ilustra a Figura 2.39, a temperatura do forno pode estar alta ou baixa em relação à temperatura D, quando é lido o valor de temperatura da primeira pré-forma. Se estiver acima (linha vermelha), deve-se baixar o parâmetro A, correspondente ao percentual de arranque de produção, se estiver abaixo deve-se aumentar. O ideal é que a temperatura da primeira pré-forma seja exatamente a mesma que a norma (temperatura de trabalho) estabelecida.

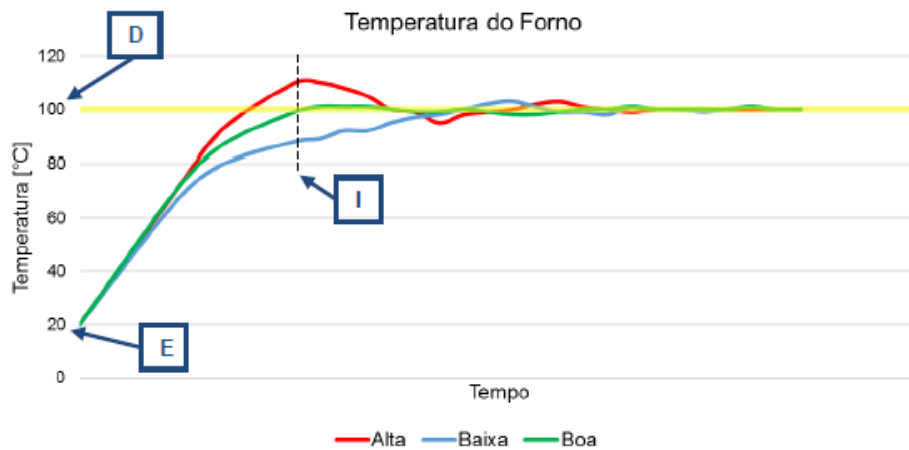


Figura 2.39- Avaliação do percentual de arranque de produção

2.4.3. Pré Sopro

O pré-sopro (PS), conjuntamente com o aquecimento, é um dos pontos mais importantes do processo de SBM. O objetivo do pré-sopro é pré-insuflar as pré-formas de uma forma gradual e uniforme com o estiramento para que o material esteja corretamente distribuído, mas ainda não tenha a forma da embalagem final (Figura 2.40).

Idealmente, o material deve formar um balão o maior possível sem tocar as paredes do molde. Para tal podem-se ajustar três parâmetros: na pressão, tempo e caudal.



Figura 2.40- Embalagens com três pressões de PS; à esquerda pouca pressão, ao meio muita pressão e à direita a pressão Standart

2.4.3.1. Pressão e Caudal

A pressão do pré sopro (entre 8 e 25 bar) é sempre inferior à pressão de sopro. Teoricamente, quanto maior for esta pressão e caudal, mais material ficará no topo da garrafa e vice-versa conforme ilustra a Figura 2.41.

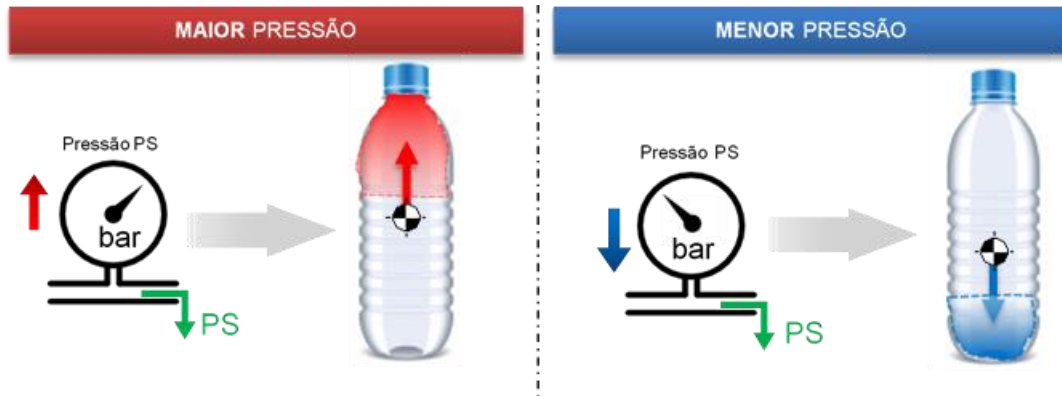


Figura 2.41- - Influência da pressão de PS na distribuição da garrafa final

2.4.3.2. Tempo de antecipação e atraso

Tal como na pressão e no caudal de ar, existe uma sensibilidade da distribuição de material face à antecipação ou atraso do pré sopro e ao ponto teórico da sua entrada (P_0). É possível afirmar que, quanto mais tardio for o início do pré-sopro, mais material terá a parte inferior do corpo ou fundo da garrafa, e vice-versa (Figura 2.42)

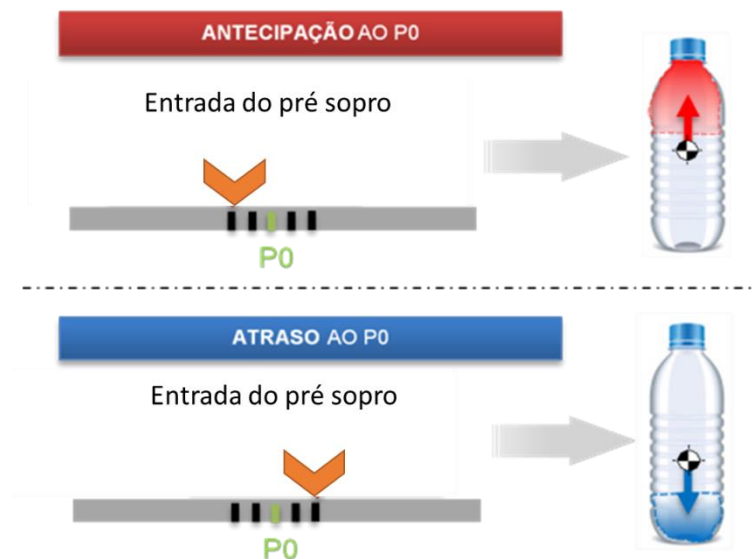


Figura 2.42- Influência do tempo de entrada do pré-sopro na distribuição do material na garrafa

2.4.4. Sopro

O sopro, embora seja a fase de SBM que utiliza maior pressão, o seu conceito é simples. Nesta fase, encosta-se definitivamente o material da pré-forma (já distribuído) às paredes frias do molde que lhe dão a forma final (com uma pressão entre 18 e 40 bar).

O tempo de sopro é importante para haver suficiente troca de calor entre o material e o molde para que a garrafa saia fria do molde e mantenha a sua forma ao longo do processo logístico, minimizando a contração, ou seja, que “não encolha”, evitando assim que reduza a sua capacidade à cota de nível.

3. Extrusão Sopro

O processo de extrusão sopro, também denominado pelas siglas EBM (*extrusion blow molding*) pode ser comparado de uma forma simplista com um balão, que quando insuflado e constringido por uma determinada geometria, um molde, adquire a forma dessa mesma geometria [16].

Tendo em mente este princípio, o processo de formação de um objeto por extrusão sopro inicia-se com a formação de uma manga, usualmente denominada de *parison*. A manga é inserida no molde, usualmente composto em duas metades, e soprada de forma a que a manga, agora estirada, contacte com as paredes frias do molde e adquira a forma pretendida. Assim que arrefecido, o objeto recém-formado é removido do molde, no entanto há que remover os excessos de material provenientes do processo de moldação até obter o produto final.

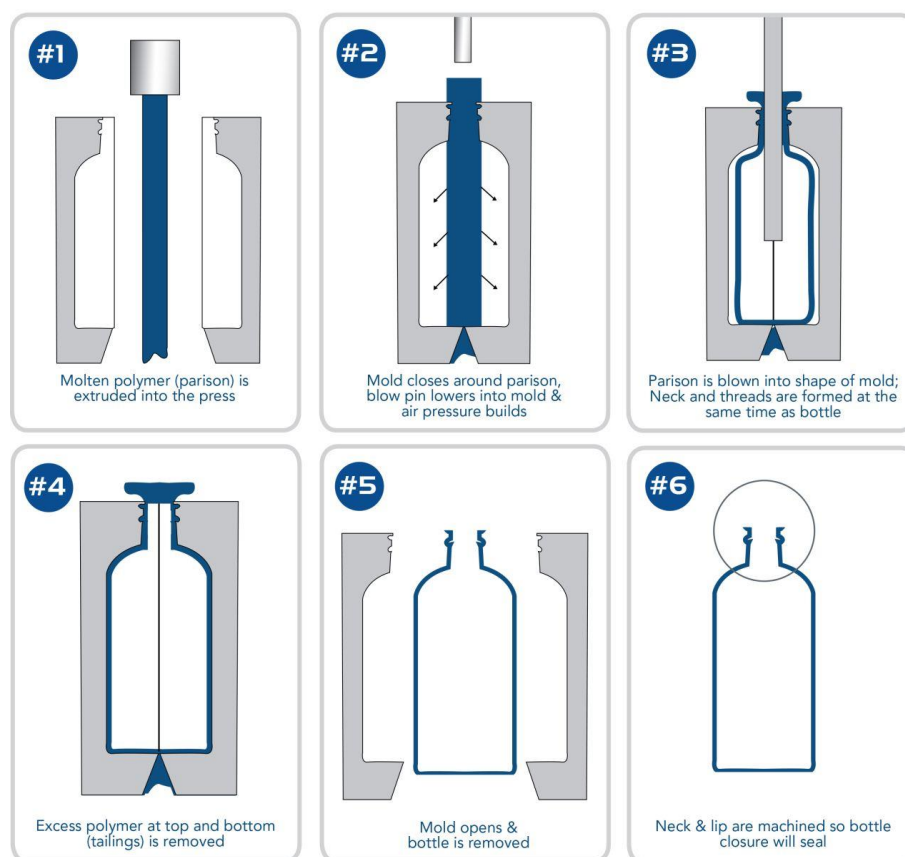


Figura 3.1 Sequência de Produção de uma embalagem através do processo de Extrusão Sopro (Extraído) [17]

3.1. Perfil da Unidade de Produção

A unidade de produção de Guadalajara situa-se a no município de Marchamalo da Província de Guadalajara situada a cerca de 68 quilómetros da cidade de Madrid.

A fábrica da *Logoplaste* Guadalajara está inserida nas instalações do cliente *Lactalis Nestlé Produtos Refrigerados España* e chefiada pelo diretor de operações de Espanha. A estrutura da fábrica divide-se em diferentes sectores como demonstra a figura 3.2

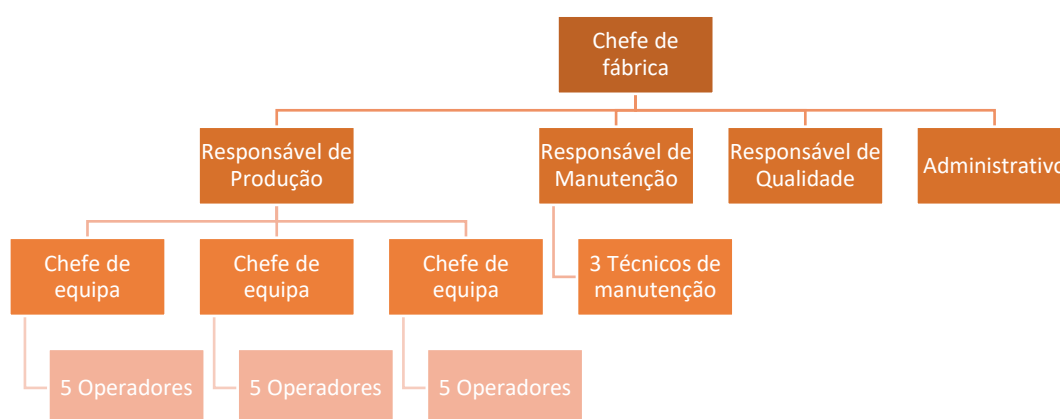


Figura 3.2 Organograma da unidade de produção de Guadalajara

Os produtos aqui manufaturados são garrafas e cápsulas em polietileno de alta densidade (HDPE), contando com a produção de 4 referências de garrafas distintas, utilizando a tecnologia de fabrico Extrusão Sopros (EBM) e 3 referências de cápsulas produzidas através do processo de injeção (INJ). O volume de unidades produzidas (garrafas mais cápsulas) no ano de 2011 ronda os 516 milhões o que equivaleu ao consumo de 3719 toneladas de HDPE [18].

3.2. Matéria-Prima em EBM

O processo de extrusão sopros é caracterizado por ser extremamente polivalente, relativamente ao tipo de matérias-primas (MP) das quais se destacam o Polietileno de alta densidade (HDPE-High density polyethylene), Polietileno de baixa densidade (LDPE-

low density polyethylene), Policloreto de Vinilo (PVC), Polipropileno (PP), Policarbonato (PC), entre outros. Da variedade de materiais disponíveis aquele que será abordado neste trabalho será o HDPE, por este ser o utilizado na UP em que o autor desta obra teve a oportunidade de estagiar.

A descoberta do HDPE foi feita em 1953 por Karl Ziegler e Erhard Holzkamp, e é utilizado em larga escala devido às suas propriedades mecânicas e facilidade de aquisição. De algumas vantagens do HDPE são destacadas as seguintes:

- Fácil processamento
- Resistência ao impacto
- Boa resistência em contactos com químicos
- Não higroscópico
- Seguro para o ser humano o contacto deste material com alimentos

Para o processamento deste material é necessário conhecer algumas propriedades consideradas como as principais, como por exemplo o índice de fluidez (IF) também conhecido como Índice de Fusão, ou então o termo em inglês *Melt Flow Index* (MFI), que se define como sendo a quantidade em gramas de polímero que flui durante um intervalo de tempo de 10 minutos através de um orifício calibrado ($\varnothing=2,095$ mm x L=8,0 mm), e em condições estabelecidas de força e temperatura (2,16 kg e 190 °C) – conforme normal ISO 1133:1999, ASTM D1238. A unidade usual desta grandeza é g/10 min.

Outra característica importante é a densidade, ligada à estrutura do polímero e como tal, condiciona as propriedades finais das peças moldadas. A densidade dá-nos indicação da taxa de cristalinidade, onde um polímero cristalino será sempre mais denso do que um polímero amorfo para igual material e massa molecular (sabendo que o grau de cristalinidade depende da taxa de arrefecimento durante a solidificação e da configuração da cadeia molecular). Esta característica influencia, por sua vez, a dureza, a fragilidade, a elasticidade, resistência à fissuração, entre outros. Com o aumento da densidade, aumenta a dureza e a rigidez, pelo contrário, a resistência ao impacto a frio e à fissuração diminuem. A densidade varia com a temperatura, para cada plástico, tal como ilustra a Figura 3.3 para o caso do HDPE e do LDPE.

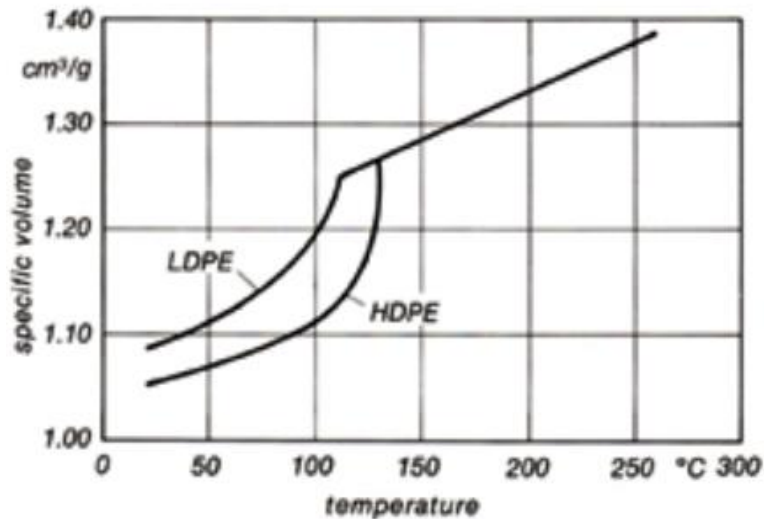


Figura 3.3- Variação do Volume específico com a temperatura (Extraído) [16]

3.3. Fundamentos de uma máquina de Extrusão Sopro

Dos vários tipos de máquinas de extrusão sopro, distingue-se principalmente a forma como extrudem a embalagem ou como recolhem a mesma. Tal diferenciação tem a ver com o tipo de produto a produzir, cadências desejadas, qualidade da embalagem, etc.

Dentro dos vários géneros existem, as máquinas de duas estações (*Shuttle*), as máquinas rotativas (horizontais e verticais) e as máquinas com cabeça acumuladora.

Estas dividem-se em dois tipos, extrusão contínua e extrusão descontínua. As de extrusão contínua são as *shuttle* e as rotativas, enquanto que as máquinas de extrusão descontínua são as que têm acumulação de material na cabeça/reservatório que será posteriormente injetado por forma a criar um *parison*. Contudo o princípio de funcionamento é comum a todas elas, sendo estas compostas por:

- Extrusora;
- Cabeça de extrusão;
- Porta-moldes (e carros em alguns casos);
- Calibradores/sopradores;
- Contramoldes;
- Estação de acabamento.

Os grupos enumerados a cima estão representados na Figura 3.4 para uma máquina típica do tipo *Shuttle*.

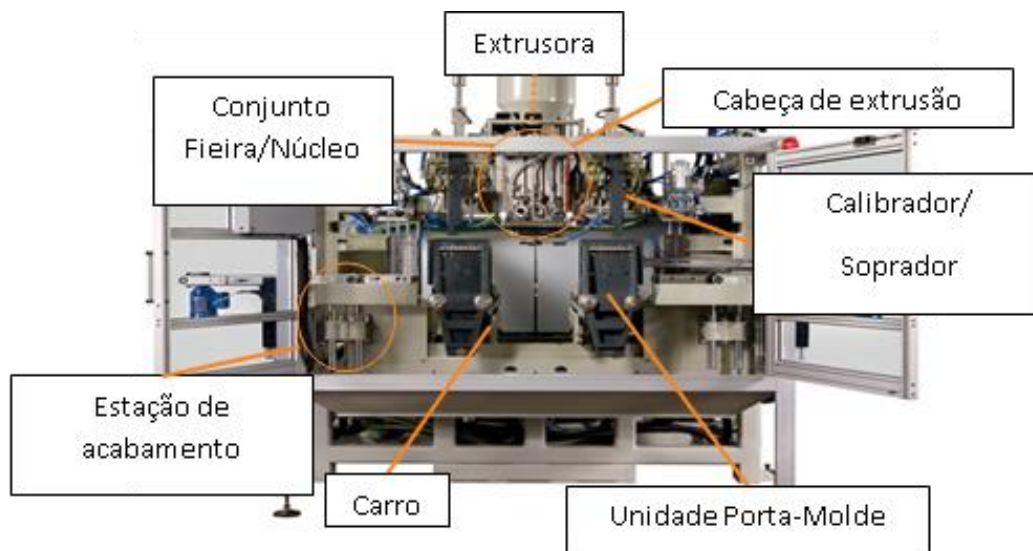


Figura 3.4- Exemplo de uma máquina EBM *Shuttle*

O processo de produção de uma embalagem por EBM inicia-se com a introdução de matéria-prima na máquina, na vulgarmente denominada de tremonha. A tremonha é abastecida através dos sistemas de transportes do granulado e dispõe de sensores de nível, de forma a garantir que sempre dispõe de material.

O material através do próprio peso, entra no parafuso da máquina de extrusão (conforme ilustra a Figura 3.5), componente este que tem a função de fundir e homogeneizar o material, enquanto o vai transportando para a cabeça de extrusão. Este processo de plasticização deve-se não só ao atrito criado pelo parafuso e pelo cilindro, mas também graças às resistências elétricas situadas ao longo de toda a extrusora e cabeça de extrusão.

Depois de plastificado, o material é conduzido para a cabeça de extrusão onde é formada a manga com o auxílio do conjunto mecânico fieira e um núcleo. A manga é recolhida pelo molde e cortada pelas facas de corte. Ainda no interior do molde, este desloca-se para a zona de sopro onde, componentes denominados de calibradores insuflam a manga para que este ganhe a geometria do molde. Agora a embalagem recém-formada, após estar suficientemente fria, abandona o molde e são efetuados os processos de acabamento da embalagem, nomeadamente remover o fundo e a cabeça perdida. Todo este processo é explicado detalhadamente ao longo deste capítulo.

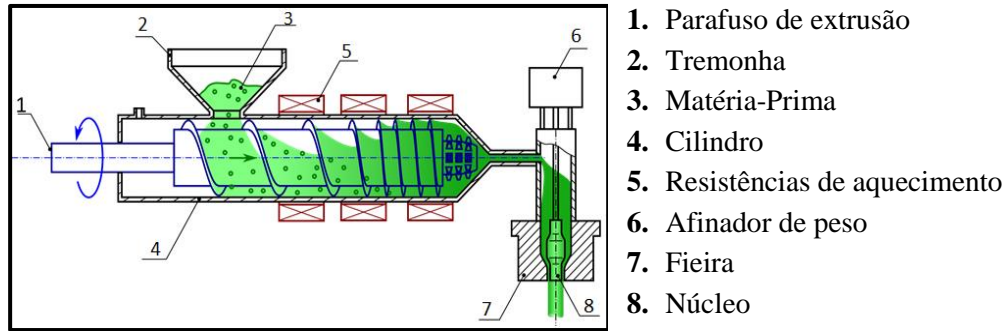


Figura 3.5– Esquema ilustrativo do ciclo da matéria-prima desde a sua entrada na máquina até à formação da manga

3.3.1. Fuso de extrusão

O fuso, parte integrante da extrusora tal como o cilindro e as resistências térmicas, podem conter várias geometrias, dependendo do fabricante, da matéria-prima a processar, do débito de material necessário, entre outras condições. Mas usualmente dispõe de uma geometria comum, tal como ilustra a Figura 3.6.

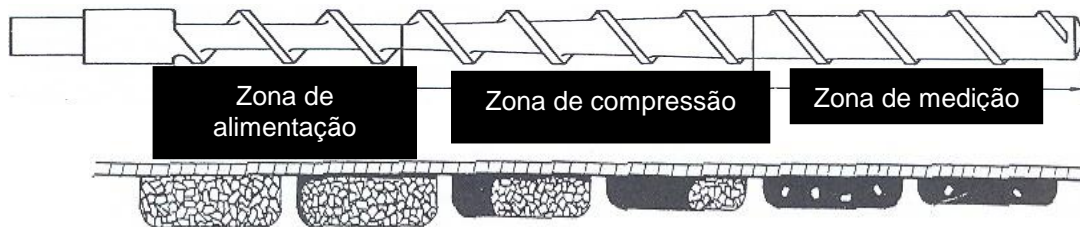


Figura 3.6 – Zonas usuais de um fuso comum e estado do material nas respetivas zonas

A zona de alimentação é a zona correspondente à entrada de material através da tremonha, que está situada acima do fuso, sendo a profundidade do canal constante. Há que salientar que esta deve ser a zona mais fria do fuso, arrefecida a água na entrada do material, uma vez que pode haver a possibilidade do escorregamento do próprio material entre os filetes do fuso e o cilindro e, desta forma, dificilmente o material avançaria deste local, devido à geometria do fuso e fluidez do material.

Na zona de compressão o diâmetro do fuso aumenta progressivamente. Desta forma, é criada uma maior pressão no material dando origem à sua plasticização devido ao atrito entre o material e o cilindro. Compreende-se por plasticização o processo que

irá gerar uma mistura, com uma fluidez desejada, de todos os constituintes da matéria-prima fundidos.

Por fim, na zona de medição ocorre a homogeneização; por um lado plastifica-se o material que ainda não está totalmente plastificado, por outro garante-se a mistura do corante com o plástico, se necessário.

O perfil de temperaturas, ao longo do fuso, pode variar de acordo com o material a processar. No entanto é possível afirmar que o HDPE tem uma janela de processo, quanto ao valor das temperaturas, bastante elevada.

Através da recolha das temperaturas de todas as máquinas a produzir, em conformidade com o mesmo produto foi elaborado Figura 3.7. Deste gráfico, é possível ver que na zona da extrusora há uma variação na temperatura a rondar os 20 °C. O perfil de temperaturas, ao longo da extrusora, pode variar de máquina para máquina e ainda consoante o material a extrudir.

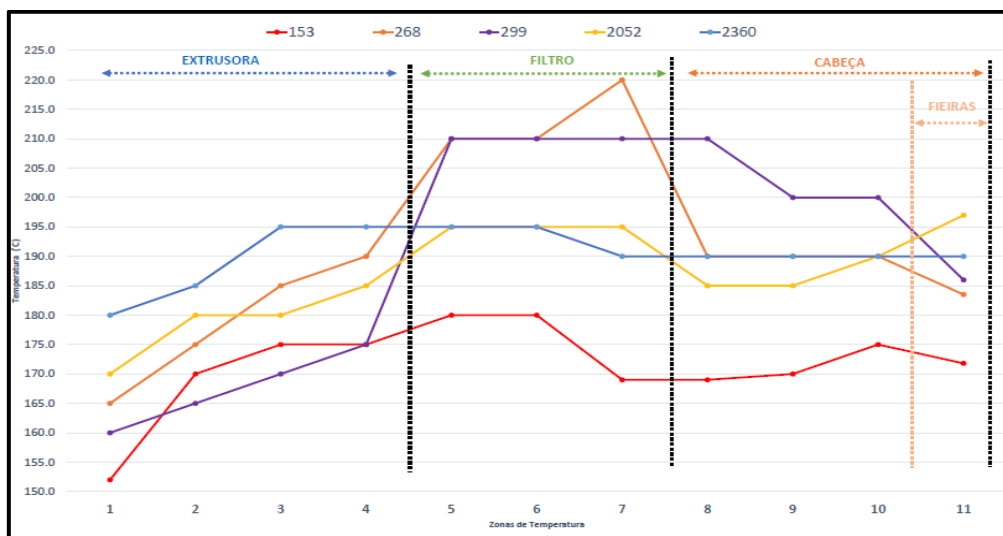


Figura 3.7 -Perfil de Temperatura de diferentes máquinas a produzir a mesma referência

No caso de HDPE, estudos empíricos mostram que os limites de temperatura, para uma boa operação do HDPE no processo EBM, estão compreendidos entre 150 °C e 220 °C, podendo assim ter uma variação de 70 °C.

Para este material, é uma boa prática começar com uma menor temperatura na zona da alimentação no fuso (valores entre 150 °C a 180 °C), depois na zona do câmbio de

filtros (componente entre a extrusora e a cabeça da máquina) com valores de temperatura mais elevados (180°C a 220 °C) e, por último, na cabeça até às fieiras ir estabilizando o perfil (160 °C a 190 °C).

Considera-se uma boa prática ter um perfil crescente até à zona de câmbio de filtros da extrusora, onde os ventiladores têm um papel fundamental no que toca à dissipação de calor gerado na extrusora, mantendo uma temperatura estável. Os ventiladores são componentes acoplados à camisa da extrusora e têm a função de dissipar a energia térmica da extrusora, caso esta passe dos limites desejados.

A temperatura mais elevada de todo o circuito de material verifica-se após o fim do fuso (zona final da extrusora). Este pico de temperatura deve-se ao facto de, nesta zona, o material necessitar de maior fluidez para passar num componente furado denominado de crivo capaz de suportar um filtro metálico de rede, tal como ilustra a Figura 3.8.

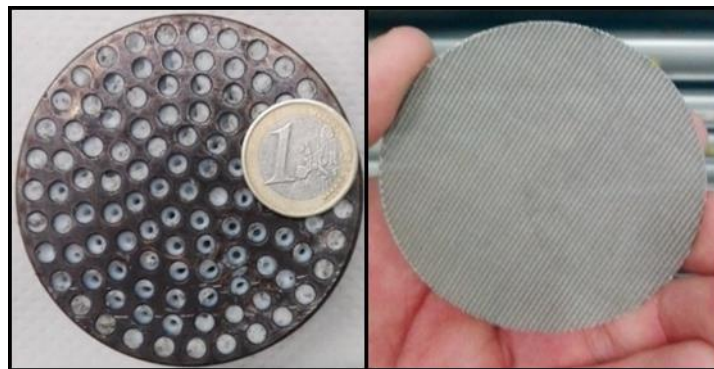


Figura 3.8-À direita, crivo do filtro. À esquerda, filtro de rede

Este aumento de temperatura favorece o escoamento do material até à entrada da cabeça de extrusão. Se o ganho de temperatura não ocorresse haveria um aumento de pressão significativo do material à entrada do filtro, resultando em grandes esforços para o fuso da extrusora, onde, no limite, poderiam ocorrer empenos e/ou desconexão da extrusora com a cabeça de extrusão. É usual encontrar um sensor de temperatura e de pressão antes da zona do filtro, pelas razões enumeradas, tal como ilustra a Figura 3.9. Algumas máquinas também dispõem de um sensor de pressão após a zona filtrante, de forma a perceber se já há colmatação do crivo.

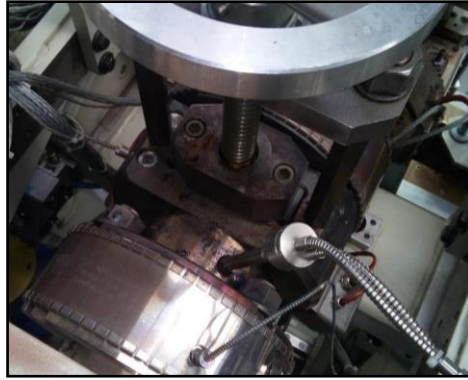


Figura 3.9- Sensor de pressão e temperatura, para material fundido

A rede metálica tem a função de reter partículas metálicas e impurezas provenientes de material degradado que fica aprisionado nas superfícies por onde passa e que se liberta aleatoriamente, assim como outras contaminações, que possam vir na matéria-prima. Esta rede, Figura 3.10, pode ter várias configurações/malhas que facilitem o escoamento e/ou a filtragem, contudo além de trazer benefícios também tem uma desvantagem, a redução da capacidade de débito de material a extrudir. Esta redução, por consequência, exigirá maior binário ao motor elétrico acoplado ao fuso e, deste modo, irá gerar uma maior quantidade de atrito, aumentando assim a temperatura na extrusora e teoricamente o consumo elétrico do motor.



Figura 3.10 -Filtro e material degradado removido após mudança de filtro

3.3.2. Cabeça de extrusão

À saída do filtro, o material é encaminhado para a cabeça de extrusão e aqui flui até ser repartido através de canais distribuidores com a finalidade de criar várias mangas de material ou até apenas uma manga se existir apenas um canal.

Na Figura 3.11, está demonstrada a entrada do material em três canais, em que os 2 canais das extremidades têm um diâmetro superior ao canal central, por forma a garantir o mesmo caudal de material para cada canal. Também é usual encontrar sistemas de ajuste de caudal em cada canal, por forma a garantir a uniformidade de material em todos os canais.

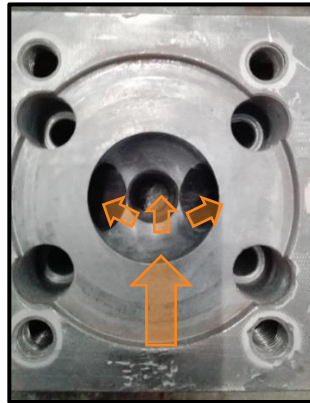


Figura 3.11 Exemplo de distribuidor de 3 canais

O material, ao ser dividido para cada canal da cabeça, necessita ainda de ser transformado numa manga oca de material. Na Figura 3.12, é possível visualizar a entrada de material, a verde, que devido à geometria dos componentes é obrigada a abraçar uma espécie de veio denominado de torpeda, o conjunto feira e núcleo.

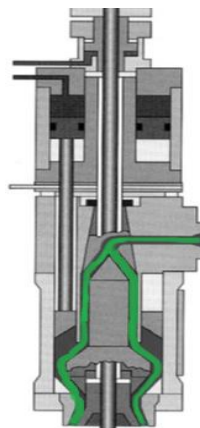


Figura 3.12 Formação da manga (Extraído) [16]

As cabeças de extrusão recorrem a um de dois tipos de sistemas para a formação de cada manga, através do torpeda (alimentação perpendicular à saída da manga), já

demonstrado anteriormente na Figura 3.12, ou de um dispositivo denominado de estrela em que o material entra colinearmente à formação da manga.

No caso do dispositivo estrela, o material entra pela parte superior da cabeça (existe igualmente um torpedo, mas a alimentação é feita paralela a este) e é repartido através da geometria deste componente, como indica a Figura 3.13. Neste tipo de sistema, é usual movimentar-se a feira e o núcleo estar fixo.

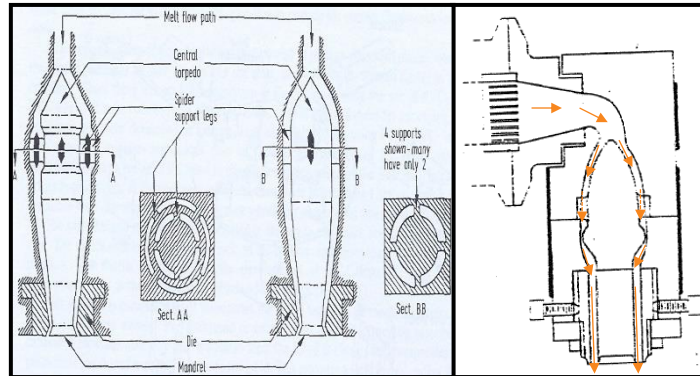


Figura 3.13- Formação da manga tipo Estrela (Extraído) [16]

Em contrapartida, no sistema de torpedo, o material entra perpendicularmente à cabeça e abraça a geometria, o que facilita a soldadura no lado oposto da entrada do material, garantindo assim uma manga uniforme.

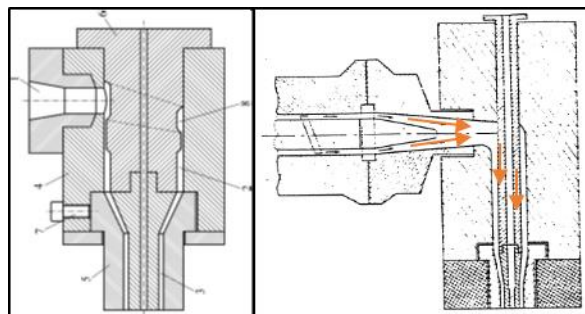


Figura 3.14- Formação da manga tipo torpedo (Extraído) [16]

Estando o material oco, este é conduzido para o conjunto núcleo/feira que, segundo as características do frasco, é dimensionado para criar uma manga com um determinado diâmetro e espessura variável (dentro de certos limites). É de realçar que é de extrema importância preservar este conjunto em excelentes condições de polimento

uma vez que pequenas imperfeições criam defeitos no produto final. Por norma, é o conjunto em que o operador intervém mais, sendo frequentemente necessário centrar a manga face aos diversos cenários (ex Figura 3.15).

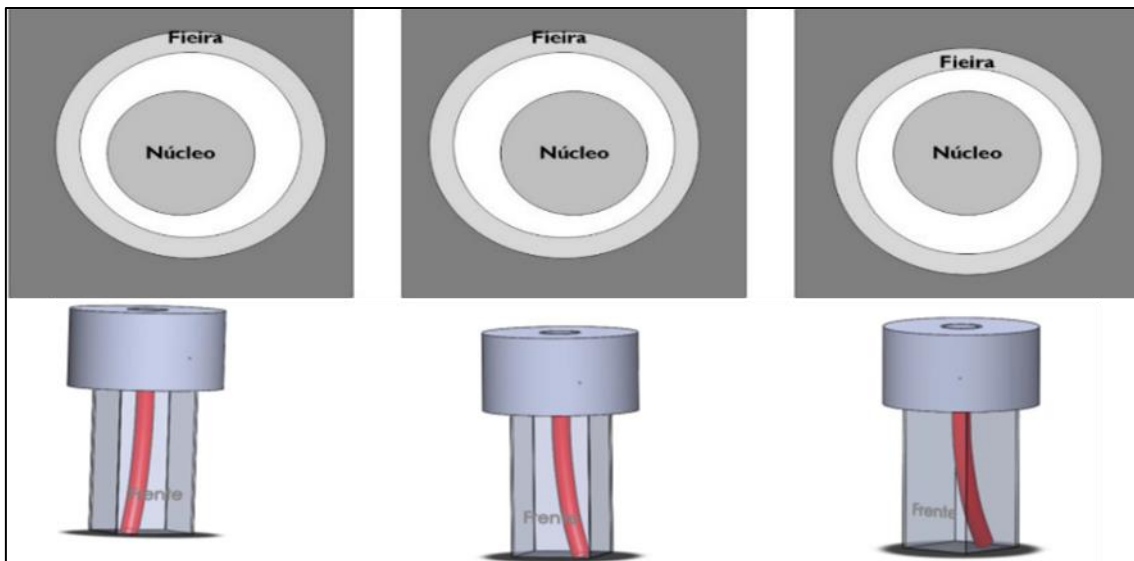


Figura 3.15-Descentramento de mangas e relação de posição fieira/núcleo

O material, ao sair do conjunto núcleo/fieira, sofre um fenómeno denominado de inchamento da manga, também conhecido como “*die swell*”, que corresponde à recuperação elástica da deformação sofrida pelo polímero no seu estado fundido, uma vez que possui o comportamento de um fluido não-newtoniano². Este efeito dá-se devido ao relaxamento de tensões do material à saída da fieira, quanto maior a compressão mais acentuada será o efeito.

O efeito pode ser reduzido com o aumento da temperatura do material, criando assim uma maior facilidade de fluência ao ser extrudido, contendo desta forma menos tensões internas. Existem dois parâmetros que caracterizam o inchamento, que são explicados através da equação (4) que apresenta o cálculo destes.

² É um fluido cuja tensão de corte não é diretamente proporcional à taxa de deformação.

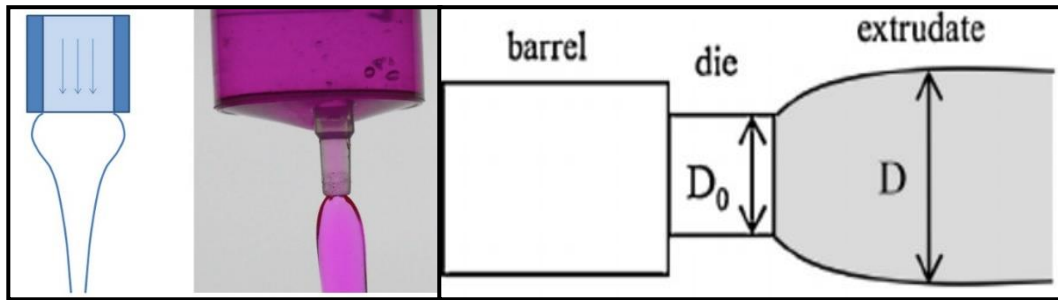


Figura 3.16 – Efeito de "Die Swell"

Outro fenómeno é o estiramento da manga, também conhecido como “*draw down*”, que pode ser definido como a aptidão de um material para sofrer estiramento. Esta aptidão para o estiramento é afetada pela velocidade a que o polímero é extrudado [19]. Se o material for lentamente extrudado, as moléculas deslizam umas sobre as outras, causando assim um estiramento considerável. Por outro lado, se for muito rápido, as moléculas não têm tempo para deslizar umas sobre as outras e, desta forma, pode ocorrer a rutura do material.

É importante que os materiais a serem extrudados tenham alguma elasticidade que lhes permita manter uma certa estabilidade de forma a suportarem o “*draw down*”, ou seja, possuírem um comportamento viscoso.

Do ponto de vista prático, também é possível afirmar que, quanto maior o comprimento da manga, maior será o “*draw down*” que irá fazer com que haja um menor “*die swell*”.



Figura 3.17 Relação entre comprimento da manga, draw down e die Swell

3.3.2.1. Regulação da espessura do *Parison*

O uso de regulação de espessura tem em vista uniformizar a espessura da embalagem, ao longo de todo o seu comprimento. Na Figura 3.18 é possível verificar a diferença entre uma embalagem em que foi controlado o perfil de espessuras da manga e outra que possui diferenças de espessura, ao longo do seu perfil.

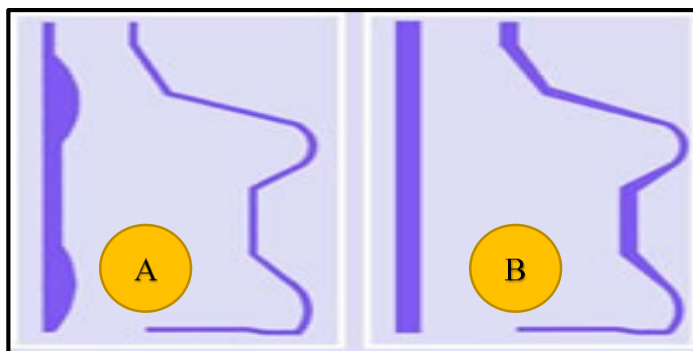


Figura 3.18- Perfil de espessuras da embalagem- (A) com regulação de espessuras (B) Sem regulação de espessuras

O sistema de regulação e controlo de espessuras advém da necessidade, contudo atualmente pode ser visto como o oposto, de facilitar a colocação de material em zonas de necessidade para aumentar o desempenho mecânico da embalagem. Este tipo de abordagem tem sido cada vez mais utilizado, tanto para os aspetos anteriormente referidos, como no âmbito do *light weighting*³.

Em resumo, as vantagens deste tipo de sistema, que é opcional nas máquinas, são as seguintes:

- Reduzir o estiramento da manga (mais fina no topo, mais material no fundo);
- Uniformização da espessura do produto acabado;
- Distribuição do material em zonas críticas – *light weighting*;
- Redução de peso com melhor controlo;
- Redução do tempo de ciclo;
- Melhoria da produtividade.

A distribuição da espessura na parede da embalagem pode ser controlada através de sistemas de regulação de espessuras, originando *parison* não uniforme axial e/ou radialmente.

A regulação mais usual é a axial e, na teoria, pode-se obter o valor da espessura da manga no molde, num dado instante, através do cálculo teórico (admitindo volumes de

³ Movimento do sector da produção de embalagens que visa a diminuição do peso da embalagem sem alterar a sua capacidade volumétrica

material constantes e o não estiramento da manga) da equação (5) e da formulação na Figura 3.19.

$$S_t = \frac{h_p}{h_d} ; S_{diameter} = \frac{d_p}{d_d} \quad (4)$$

$$h_m = \frac{D_p \times h_p}{D_m} = \frac{S_d^3 \times D_d \times h_d}{D_m} \quad (5)$$

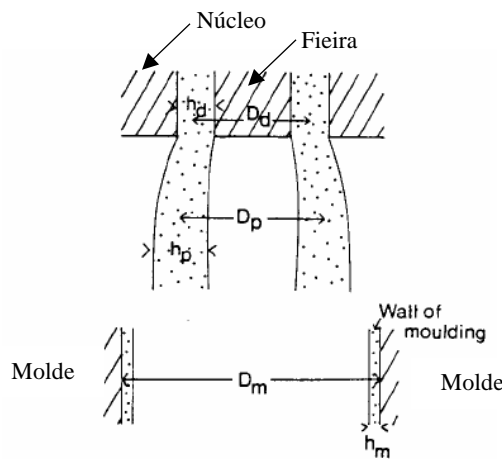


Figura 3.19 – Esquema para cálculo da espessura de material no molde

Sabendo que o D_d e h_d provêm das dimensões do conjunto fieira/núcleo, basta obter o diâmetro do molde e o rácio de inchamento do diâmetro S_d (medido ou calculado através do rácio de inchamento da espessura S_t). As expressões apresentadas na equação (4), e a relação apresentada por Cogswell [Plastics and Polymers, 38, 391, 1970], que diz que o rácio de inchamento da espessura do *parison* é igual ao quadrado do rácio de estiramento do diâmetro, permitem-nos obter estes valores para o cálculo da espessura de material no molde e chegar à fórmula apresentada na equação (5).

Contudo, em chão de fábrica, o conhecimento da espessura final da embalagem é maioritariamente empírico, à base de testes e ensaios durante a produção.

Para permitir tal variação de espessura é necessário um sistema físico, e é aqui que entram os reguladores de espessuras, possibilitando este controlo das espessuras do *parison*.

Também conhecida como *Axial Wall Thickness (AWT)*, este é o tipo de controlo mais usual. O princípio base deste sistema é alterar a espessura da manga através do movimento axial do núcleo ou feira (dependendo do fabricante ou equipamento). Na Figura 3.20, está demonstrado o efeito deste sistema na espessura, ao longo do comprimento da manga.

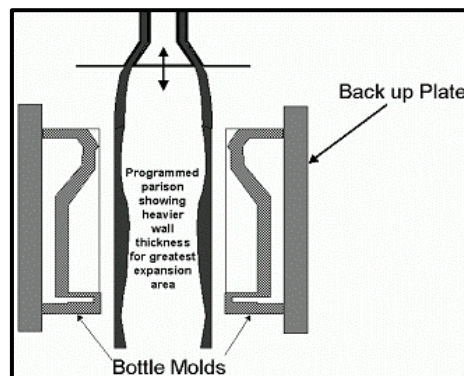


Figura 3.20– Esquema de AWT (Extraído) [16]

Neste sistema de ajuste, é definido um número de pontos principais (*Pontos Master*), que correspondem a pontos ao longo do comprimento da manga nos quais o perfil da espessura será interpolado, de modo linear ou não-linear (ver exemplo Figura 3.22).

Além do perfil criado através dos pontos mestres, existem três outros conceitos essenciais deste mesmo sistema: a Amplitude, Peso e Curso.

- Curso (mm) – valor máximo de movimento do sistema ou distância máxima capaz de ser percorrida axialmente pelo núcleo ou feira;
- Peso (%) – é uma percentagem do curso do sistema de regulação de espessura, que define a relação de abertura mínima entre feira/núcleo;
- Amplitude (%) – também conhecido como Perfil, é uma percentagem do curso do sistema de regulação de espessura, que define a amplitude do perfil entre o mínimo (Peso) e o máximo de abertura entre feira/núcleo, basicamente é um *offset* do deslocamento face ao valor do peso;

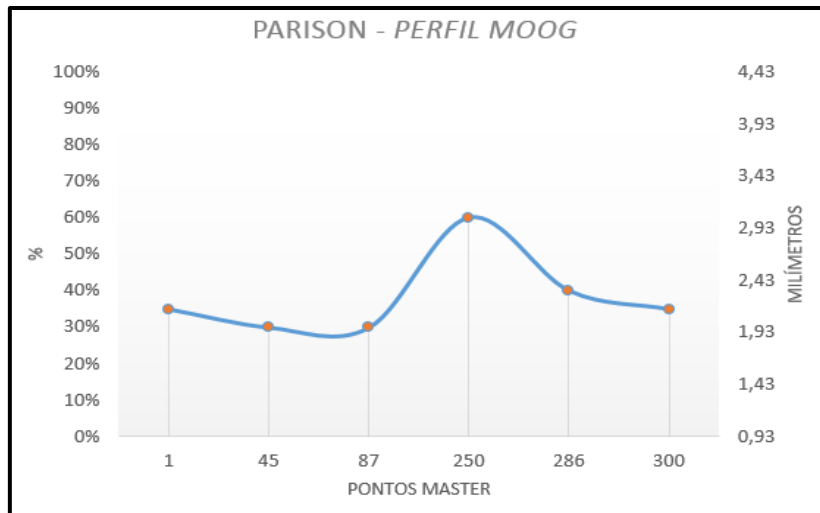


Figura 3.21 – Simulação de perfil do parison

Seguindo o exemplo na Figura 3.21, definiu-se um peso de 9,3% e uma amplitude de 35% para um sistema com um curso de 10 mm, deste modo obtém-se um gráfico com o perfil do curso entre 0,93 mm (peso) e 4,43 (peso mais amplitude), tendo os pontos mestres a oscilar de 0 a 100% desta amplitude, ou seja, um ponto mestre com 10% terá um curso de 1,28 milímetros (peso mais 10% da amplitude).

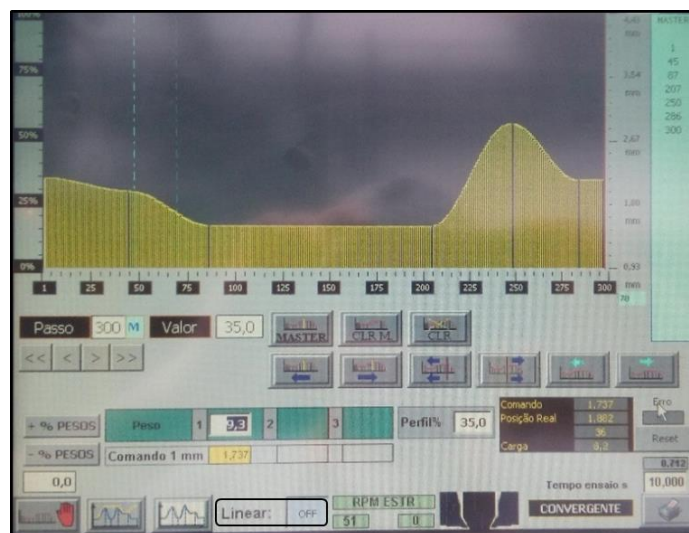


Figura 3.22- Perfil real de uma embalagem

3.3.2.2. Ar de Apoio e programado

A cabeça de extrusão está desenhada para que, dentro da manga, circule sempre ar. Se a manga for aberta, chama-se ar de apoio, como o caso da Figura 3.23 (esquerda), e,

se a manga for fechada, chama-se ar programado ou de balão, como ilustrado na Figura 3.23(direita).

O ar de apoio é um ar constante que tem o objetivo de manter a manga aberta ao longo da sua extrusão e ajudar no corte, uma vez que confere alguma tensão à manga, usualmente entre 1 a 2 bar.

O ar programado é utilizado em mangas fechadas e serve essencialmente para insuflar a manga de forma a posicionar o material em zonas que requerem algum reforço. Este método, por exemplo, é utilizado em embalagens com pegas.



Figura 3.23- Manga aberta com ar de apoio e manga fechada com ar programado, respetivamente

3.3.3. Molde

Considerando que a manga está centrada e alinhada como a cavidade do molde em condições, está-se em condições para formar a embalagem com a geometria pretendida. Essa geometria é dada através dos moldes, um componente crucial na formação da embalagem e com alguma complexidade. Os moldes convencionais, são compostos por 2 metades e caracterizadas pelas seguintes zonas ilustradas na Figura 3.24.

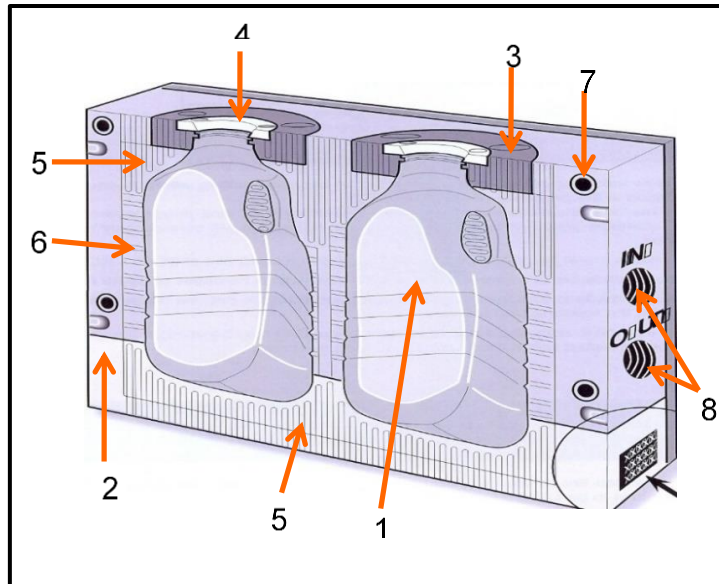


Figura 3.24- Molde EBM

1. Corpo;
2. Fundo;
3. Marisa;
4. Meias anilhas de corte;
5. Zona da absorção das aparas;
6. Escape de gases;
7. Guias e casquilhos;
8. Entradas/saídas de água.

Para eficazmente formar a embalagem, o molde terá de arrefecer a manga extrudida e estirada através da zona do gargalo, denominada de marisa, a zona do corpo e fundo (Figura 3.25). A zona da marisa e do fundo são as zonas mais difíceis de arrefecer, pois são as zonas onde há maior quantidade de material (maior espessura).

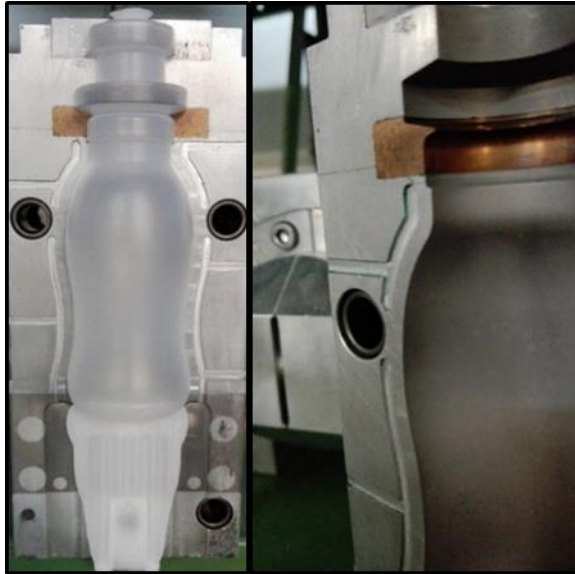


Figura 3.25-Meio molde (marisa, corpo e fundo)

A zona da navalha do molde é uma zona bastante importante, uma vez que é nesta zona que vai haver a separação entre a apara (excedente do fundo) e o fundo da garrafa (Figura 3.26).



Figura 3.26-Fundo do molde e navalha cortante

Outro aspeto relevante nos moldes são os sistemas de escape de gases, que têm a função de eliminar o ar entre o material a formar e o molde. O escape de ar deve acontecer de forma a retirar o ar retido o mais depressa e completamente possível. Um mau escape de gases resulta num produto final defeituoso, por esse mesmo motivo há que manter os sistemas de escape de gases em boas condições de funcionamento (limpos e com as dimensões requeridas).

O sistema de escape de gases pode ser compreendido entre três formas:

- Linha de junta - rasgo ao longo da linha de junta do molde com uma profundidade entre 0,05 e 0,10 mm;
- Fosagem - micro cavidades ao longo do corpo do molde (aspeto arenado);
- Insertos perfurados no molde - utilizado em embalagens com formas que dificultam a saída dos gases ou em embalagens de grandes dimensões.

A zona de absorção de aparas é uma zona crítica em que a manga é esmagada e é realizada a soldadura do fundo da embalagem. Esta zona é ondulada de forma a aumentar a área de contacto e transferência de calor entre o molde e o excedente. A altura, largura e profundidade desta zona variam com o diâmetro e comprimento necessário da manga a processar. O tipo de material a utilizar nesta zona do molde depende do tipo de polímero que se está a trabalhar, mas o material usualmente utilizado para o processamento do HDPE é cobre-berílio. No entanto, também é possível utilizar aço-inox devido a uma menor taxa de desgaste e reduzido custo sem uma grande perda da capacidade de refrigeração. A Figura 3.27 apresenta os valores de condutividade térmica para alguns metais.

Substance	<i>k</i> (W/m · K)
<i>Metals</i>	
Aluminum	205.0
Brass	109.0
Copper	385.0
Lead	34.7
Mercury	8.3
Silver	406.0
Steel	50.2

Figura 3.27- Condutividade térmica de alguns metais (Adaptado) [20]

O projeto de moldes de extrusão-sopro tem uma complexidade proporcional à complexidade do produto a produzir. Contudo, em ambiente de fábrica apenas é necessário que as equipas entendam conceitos básicos e boas práticas de manuseamento, manutenção, troca e instalação na máquina, e claro, perceber quando está operacional ou não.

3.3.4. Facas de Corte

Embora o princípio seja simples, o corte é um dos pontos-chave do processo de extrusão sopro. Um bom corte pressupõe um *parison* bem afinado assim com os pressupostos necessários para que isso aconteça e, deste modo, facilita o resto do processo (sopro e calibração, teste de fugas, corte da cabeça-perdida, etc.).

Neste processo tecnológico, existem inúmeros tipos de corte (corte frontal, rotativo, lâminas frontais, corte a quente, entre outros), mas os mais usuais para o corte de uma manga aberta é o corte, rotativa e frontal.

O corte rotativo consiste numa única lâmina de corte que ao rodar (acionada por um cilindro pneumático de duplo efeito) corta individualmente e gradualmente cada manga, como ilustra a Figura 3.28. Uma das características deste tipo de corte é que as mangas têm comprimentos diferentes, uma vez que são cortadas em intervalos de tempo diferentes assim como a orientação/ aparência de corte.

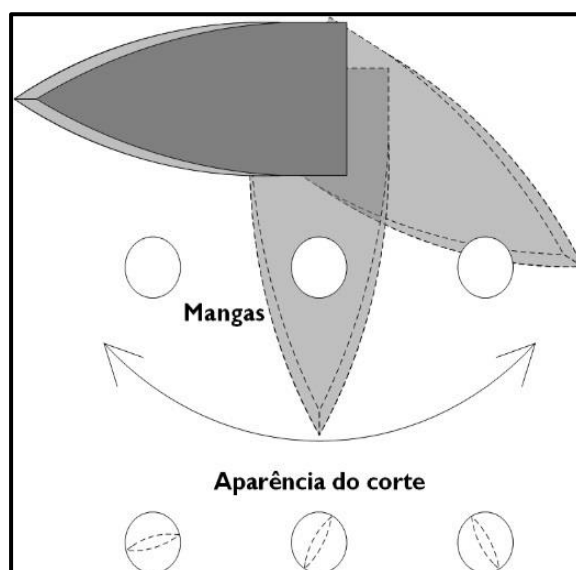


Figura 3.28-Corte rotativo

Por sua vez, no método de corte frontal, é necessária uma lâmina para cortar cada *parison*, como ilustra a Figura 3.29 Com este corte, consegue-se um corte igual em todas as mangas. Este sistema consiste num movimento linear que faz com que as lâminas vão à frente no momento do corte e voltem até à posição inicial. Ao contrário da lâmina do corte rotativo que passa uma vez pela manga, neste sistema a lâmina fica debaixo da manga durante um curto intervalo de tempo, antes regressar à posição inicial. Uma característica de algumas máquinas é um sistema de *bobbing*. O *bobbing* consiste na elevação da cabeça de extrusão de forma a “esticar” a manga quando o molde fecha, conferindo-lhe maior tensão, facilitando assim o corte e fazer com que a manga, depois de cortada, não continue em contacto com a lâmina de corte quando esta está avançada.

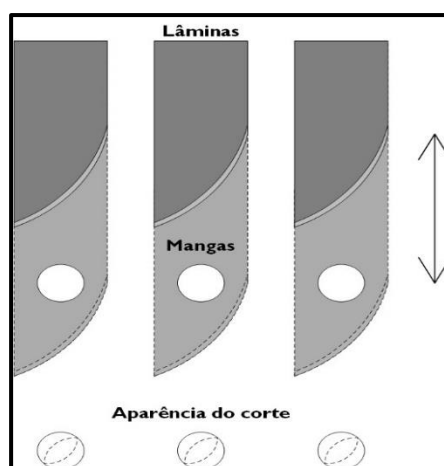


Figura 3.29-Corte frontal

3.3.5. Calibradores & Gargalos Calibrados

Os calibradores, para além de serem responsáveis pela insuflação da manga (ar de sopro) e conseqüente formação e arrefecimento da embalagem, também asseguram que esta seja recolhida pelos contra-moldes.

Normalmente o sopro é adiantado, ainda antes de os calibradores estarem em contacto com a manga. A razão pela qual este adiantamento existe é para favorecer a abertura da manga e facilitar a entrada da ponteira do calibrador.

Os calibradores poderão ter um orifício de renovação de ar, que tem a função de extrair constantemente o ar quente do interior da embalagem, acelerando o seu arrefecimento.

O termo calibrador, provém da insuflação de embalagens com gargalo calibrado. Estas embalagens têm uma maior complexidade na formação do gargalo, como tal, exigem meias anilhas no molde (Figura 3.30 – A) que, em conjunto com o anel de corte dos calibradores (Figura 3.30 – B), possibilitam que a garrafa saia da máquina com o gargalo já formado (sem excedente superior), conforme ilustrado na Figura 3.30.

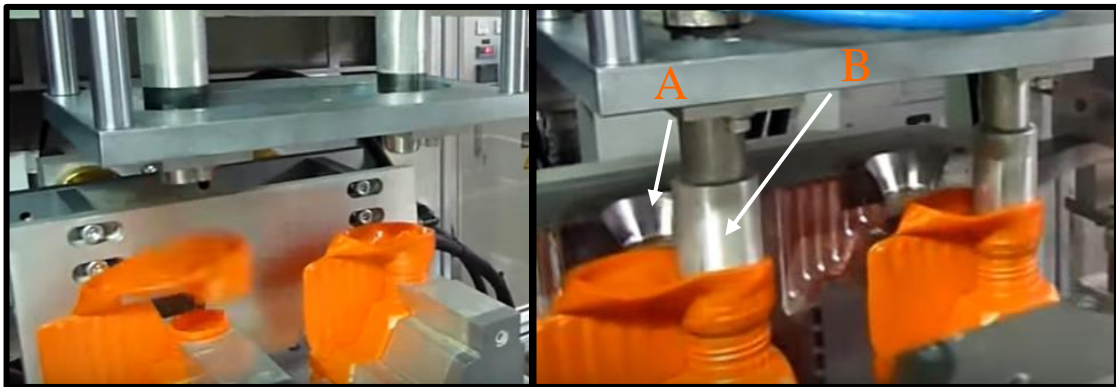


Figura 3.30 – Embalagens suspensas pelos calibradores (direita) | Rebarbagem dos excedentes (esquerda)

O anel de corte é normalmente um material mais macio que as anilhas, por forma a facilitar as tarefas de manutenção, uma vez que é mais fácil mudar o anel do calibrador do que as meias anilhas do molde. Com os sucessivos impactos, os anéis de corte começam a desgastar-se e, conseqüentemente, a altura do gargalo começa a diminuir.

Uma forma rápida e eficaz de corrigir este problema é rodar 180 graus o anel de corte do calibrador, uma vez que as duas faces planas estão calibradas, Figura 3.31.

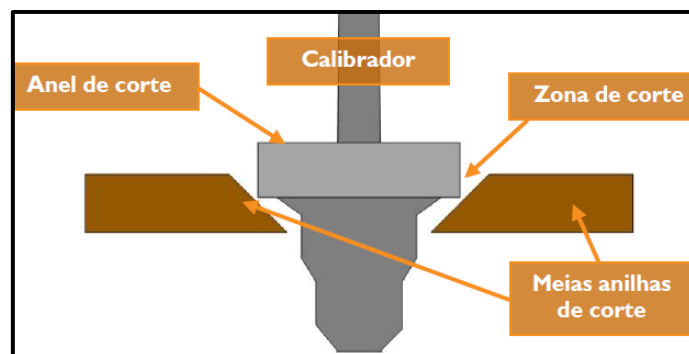


Figura 3.31 – Ilustração de calibrador para gargalos calibrados

Estes componentes são arrefecidos por água fria, através de canais internos (fornecida pelos tubos a verde da Figura 3.32) e, desta forma, asseguram um sopro de ar frio. Além disso, o arrefecimento do calibrador, em conjunto com a sua geometria, assegura que a cabeça-perdida contraia em redor do calibrador e que a garrafa fique suspensa até ser recolhida.

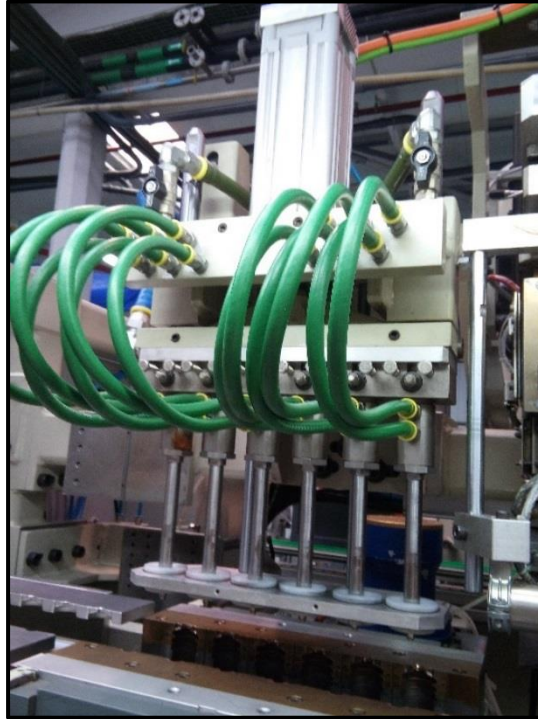


Figura 3.32- Calibradores

Esta figura mostra uma das maneiras possíveis de movimentar os calibradores conjuntamente, através de um único cilindro pneumático. Outras formas de movimentar os calibradores recorrem a servomotores, ou através de um cilindro óleo-hidráulico.

3.3.6. Movimentação Translacional e de Abertura e fecho dos Moldes

Outro aspeto a ter em conta é a movimentação dos moldes. Existem casos em que o molde está estático, mas a maioria das máquinas possui moldes que se movimentam entre duas posições (considerando uma máquina *shuttle*). O molde ao conter as mangas no seu interior desloca-se para zona do sopro, onde os calibradores insuflarão ar e a manga será estirada formando a geometria pretendida. Há que ter em conta que o molde deve estar

perfeitamente alinhado com o conjunto feira/núcleo e com os calibradores, por forma a evitar defeitos no produto acabado, a não formação do produto desejado e até o risco de colisão entre o molde e os calibradores.

Este conjunto de movimentos é caracterizado como o movimento transacional do molde, que se pretende que seja o mais rápido possível, para otimizar o tempo de ciclo. Outro movimento é o fecho e abertura do molde que serão abaixo, alvo de uma análise mais profunda.

Nas máquinas abordadas durante a etapa de estágio, quer a velocidade de translação, como fecho e abertura eram dadas sob a forma percentual. Os valores percentuais da velocidade têm como referência o valor máximo de velocidade capaz de ser atingido pela máquina. Posto isto, na Figura 3.33, está representado um perfil de velocidades comum para o fecho do molde, em que a velocidade inicial de fecho (V1) serve essencialmente para fechar o molde até ao instante em que este toca na manga. A velocidade de amortecimento (V2) deve ser baixa para que o molde toque mais suavemente na manga e empurre as duas metades um contra a outra sem a descentrar, garantindo uma boa soldadura do *parison* (V2). Tende a ser mais crítica quanto mais complexa for a embalagem, é, portanto, o parâmetro mais importante no fecho do molde, principalmente para embalagens com asa e/ou com gargalo calibrado. A velocidade de fecho final (V3) é aplicada quando o molde está quase fechado e com a soldadura quase completa. É esta velocidade a principal responsável pelo bom corte das aparas e dos excedentes. Se os excedentes estão a ser mal rebarbados, deve-se subir (V3), por outro lado, se a embalagem está a ficar mal soldada e/ou quase furada na zona do corte do excedente, deve-se baixar (V3). Pode ser superior ou inferior à velocidade (V2).

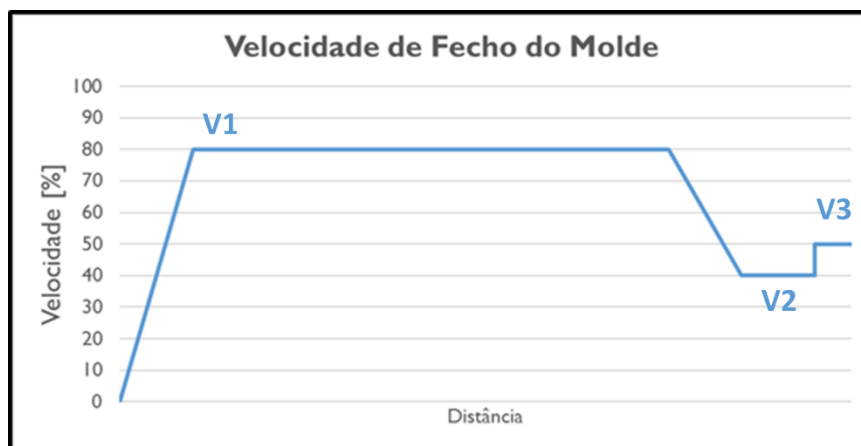


Figura 3.33- Perfil de velocidade de fecho do molde

Durante a abertura do molde há que ter em conta que o fundo da embalagem apresenta sempre uma saída negativa⁴ o que faz com que, ao abrir, o molde empurre ligeiramente a embalagem para cima. Assim, a velocidade de desmoldagem (V1) deve ser baixa para garantir que a embalagem não cai do calibrador.

A velocidade de abertura (V2) deve ser o mais rápida possível, para economizar tempo e a velocidade de amortecimento (V3) serve apenas para que o molde não bata bruscamente nos batentes de final de curso. É de realçar que usualmente nas máquinas elétricas não existem as velocidades V3, nem no fecho, nem na abertura.

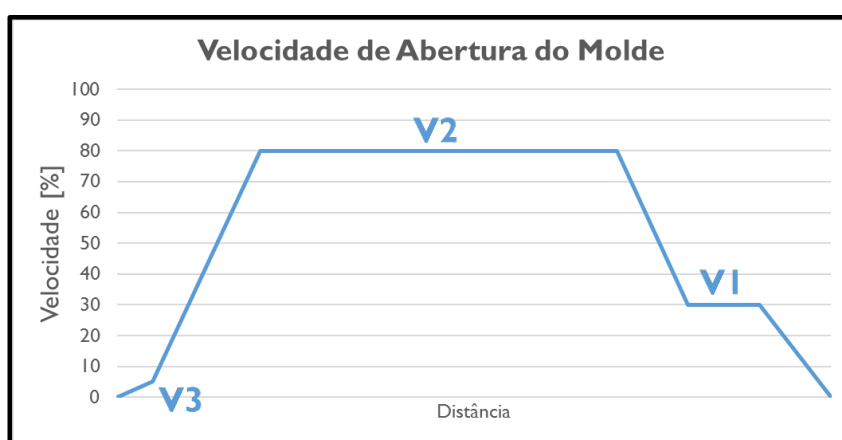


Figura 3.34- Perfil de velocidade de abertura do molde

3.3.7. Contramolde e Rebarbagem

Como já foi mencionado, depois da desmoldagem, as embalagens ficam presas nos calibradores enquanto esperam para ser recolhidas pelo contramolde.

O contramolde segura os frascos pela cabeça-perdida ou pelo corpo da embalagem ou base e transporta-os para a zona de acabamento. Aqui, o rebarbador (parte do conjunto ilustrada na Figura 3.36) encosta aos excedentes, arrefecendo-os para facilitar a sua extração (quando necessário) e com um impacto separa o excedente do fundo do frasco e da asa (quando aplicável).

⁴ Devido à geometria da embalagem, o molde ao abrir faz com que a embalagem se mova



Figura 3.35- Parte do conjunto do rebarbador

Em frascos com gargalo calibrado, na estação de acabamento, além do excedente do fundo, o rebarbador remove também os excedentes do gargalo.

Por fim, há umas pinças de extração que colocam os frascos da moldagem nos tapetes transportadores, conforme ilustra a Figura 3.36.



Figura 3.36- Extração dos frascos

3.3.8. Cortadora

O frasco, ao sair da máquina, ainda possui a cabeça-perdida (se não tiver gargalo calibrado) e é então encaminhado para uma máquina cortadora.



Figura 3.37 – Cabeça-perdida (laranja) de um frasco

A máquina de corte de cabeças-perdidas é uma máquina usualmente rotativa que elimina as cabeças-perdidas dos frascos, mediante uma lâmina de corte fixa, mas regulável (como ilustra a Figura 3.38).

As cabeças-perdidas cortadas são extraídas para um funil devido à ação de um soprador. O frasco desloca-se na máquina descrevendo um raio e girando ao mesmo tempo sobre o seu próprio eixo radial. Esta série de movimentos dá-se quando o frasco entra na zona central, denominada “parte rotativa”.

Os frascos não cortados, à saída da cortadora, são rejeitados da linha por um pequeno jacto de ar.

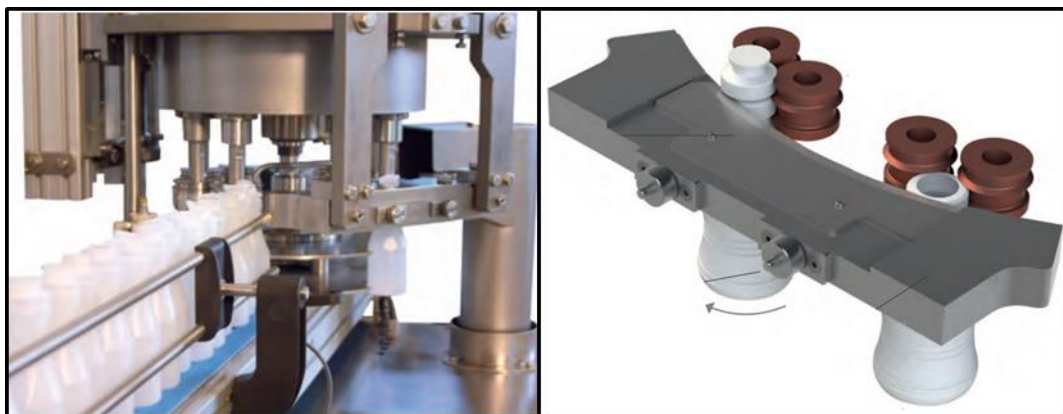


Figura 3.38 – Funcionamento da cortadora

3.3.9. Testadoras de furos

As testadoras de furos são máquinas que geralmente estão a jusante das cortadoras, podendo estar integradas na máquina EBM ou numa máquina própria para o efeito. Estas máquinas têm a função de detetar a existência de furos nos frascos e, caso existam, rejeitar os frascos furados. Se estas deficiências não forem detetadas existirá a perda do conteúdo do frasco.

Existem várias formas de testar a existência de furos, mas a mais usual é a queda de pressão dentro do frasco. Tal como existem várias formas de testar os frascos, existem também dois tipos de testadoras: rotativas e lineares.

Independentemente do princípio mecânico, em máquinas que realizam o teste por queda de pressão, o conceito do teste de fugas é semelhante. Como mostra a Figura 3.39, a testadora enche o frasco com uma determinada pressão e, depois desse enchimento, mede a pressão dentro do frasco. Passados alguns décimos de segundo, volta a medir a pressão e a calcula a queda. Se a queda de pressão for acima de um determinado parâmetro, considera-se que o frasco tem um furo e rejeita-se.

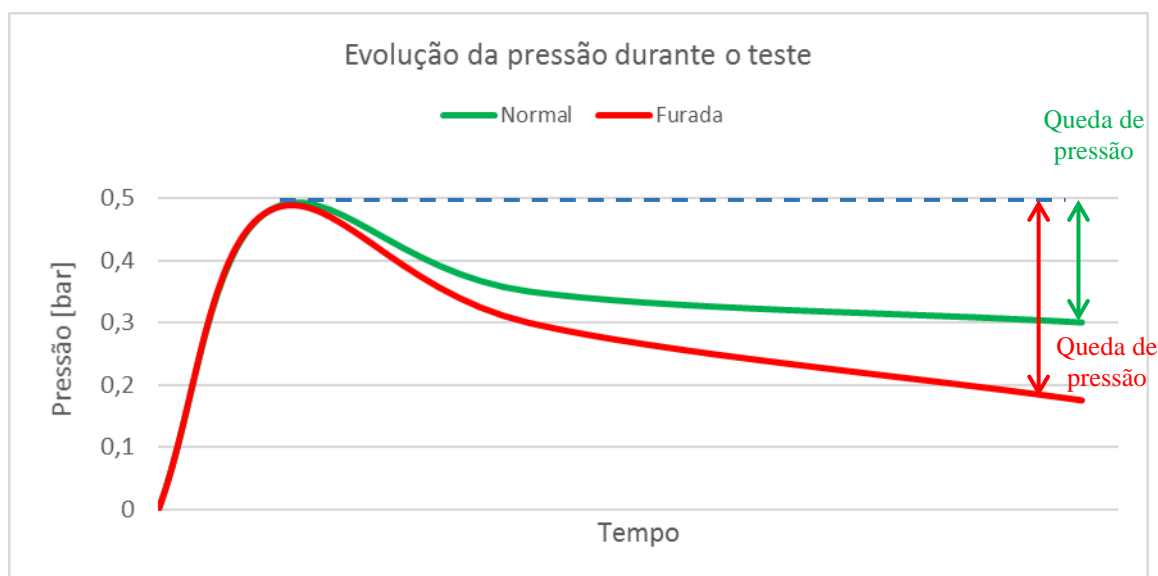


Figura 3.39 – Evolução da pressão dentro de um frasco durante o teste de fugas

As testadoras podem ser rotativas ou lineares. Nas rotativas, os frascos entram numa estrela que os obriga a descrever um movimento circular. Enquanto descrevem o movimento, ponteiras independentes descem para vedar cada um dos frascos e fazer o

teste de queda de pressão. Geralmente, como a testadora se encontra depois da cortadora, a vedação é feita no gargalo do frasco.



Figura 3.40- Testadora rotativa

As testadoras lineares podem estar localizadas exatamente à saída das estações de acabamento das máquinas e também depois das cortadoras, como as rotativas.

À saída das estações de acabamento, quando a moldação seguinte está a ser rebarbada, a moldação atual está a ser testada. Uma vez que estão logo à saída da máquina, os frascos ainda têm cabeça-perdida, portanto as testadoras consistem num conjunto de ponteiras semelhantes aos calibradores que realizam o teste de fugas, vedando pelo interior do excedente (Figura 3.41).



Figura 3.41- Testadora linear

Contudo, existem outras opções. Existem ponteiras que vedam os frascos exteriormente pelo anel de transporte, mesmo com a cabeça-perdida (ver Figura 3.42)

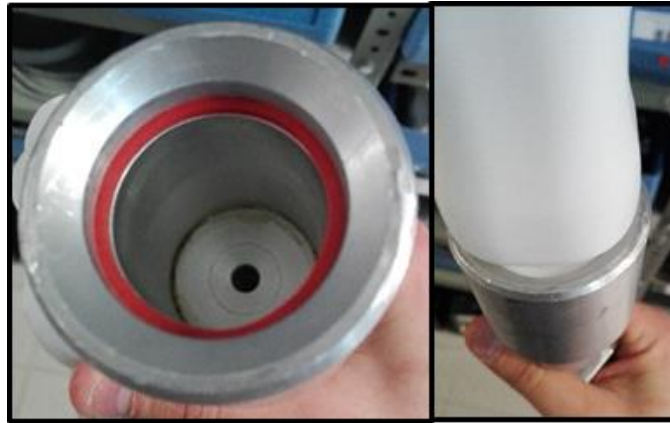


Figura 3.42- Ponteira para vedar frascos com cabeça-perdida

3.3.10. Ciclo da máquina

Após apresentação de todos os sistemas das máquinas de extrusão sopro, no caso de uma *shuttle*, apresenta-se agora um exemplo de um ciclo de operação em dois formatos.

Para representar graficamente o ciclo, foi necessário dividir em 3 grupos, que têm as suas etapas na Figura 3.43 :

- **Ar / Insuflação;**
- **Manga/Parison/Embalagem;**
- **Molde;**

Ar/ Insuflação		Manga - Embalagem	
Ar Apoio	0,5	Manga- Extrusão para Moldar	0,5
Espera	0,3	Transporte da Manga Cortada	0,7
Pré-Sopro	0,4	Manga em processo formação da embalagem (Arrefecimento)	11
Sopro - Interior do Molde (Arrefecimento)	11	Eliminação das rebarbas	0,8
Escape	0,5	Ejeção da Embalagem	1
Espera	1,3	Molde	
		Molde Aberto	1,2
		Molde Fechado	11,5
		Molde Aberto	1,3

Figura 3.43- Tabela com tempos, em segundos, das etapas de cada grupo do ciclo de EBM

- **Circular** (ver exemplo de ciclo na Figura 3.44);

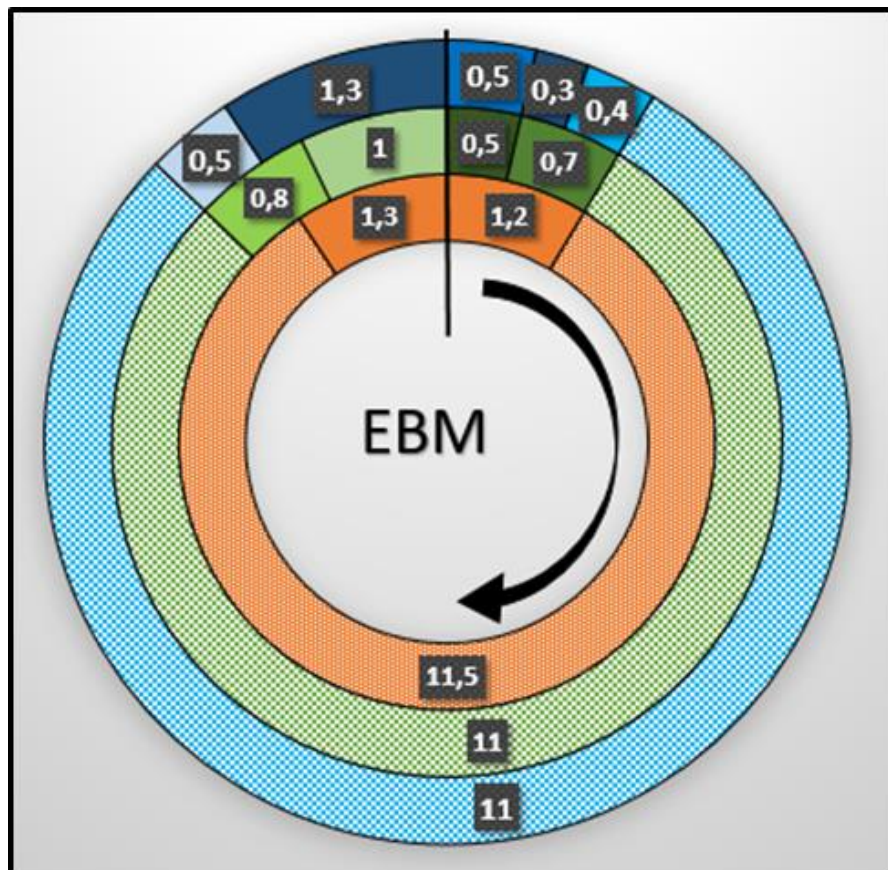


Figura 3.44- Exemplo de ciclo da máquina EBM – formato circular

- **Linear** (ver Figura 3.45).

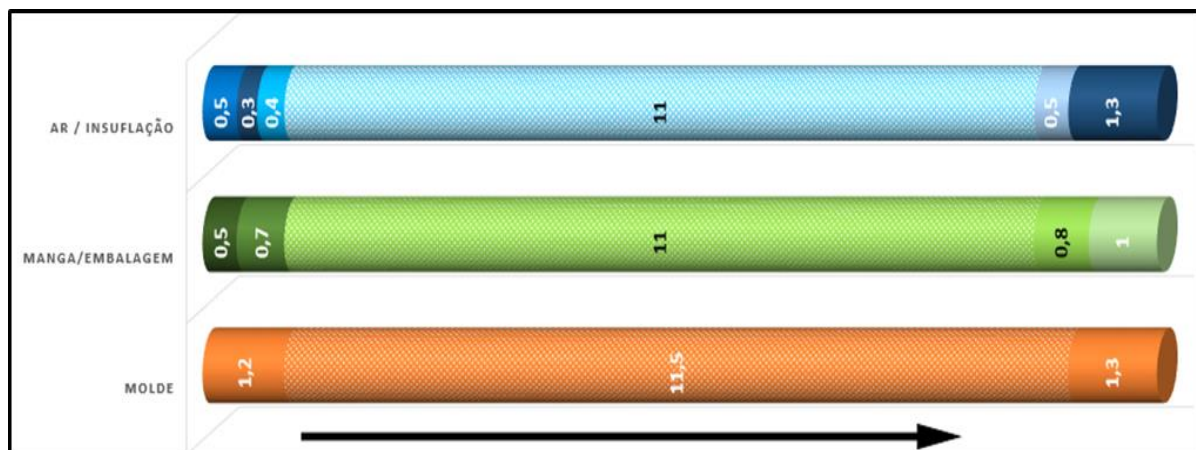


Figura 3.45- Exemplo de ciclo da máquina EBM – formato Linear

3.4. Equipamentos Periféricos e auxiliares da UP

3.4.1.1. Silos de matéria-prima

Os silos de MP (ver exemplo na Figura 3.47) armazenam o *pellet*, mantendo-o separado da atmosfera envolvente. A capacidade dos silos varia consoante o tipo de fábrica e a existência de materiais diferentes. Usualmente estão equipados com células/sensores de carga que indicam a quantidade matéria-prima ainda disponível (ver a Figura 3.46).



Figura 3.47 – Silos de matéria-prima

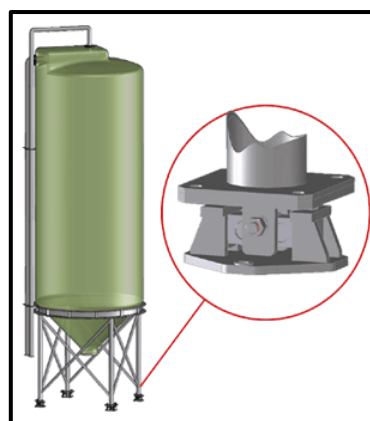


Figura 3.46 – Sensor de peso

3.4.1.2. Compressores

Os compressores desempenham um papel crítico na UP, uma vez que são literalmente o “pulmão” da fábrica.

A manutenção destes equipamentos não deve ser encarada de ânimo leve, uma vez que são equipamentos bastante sensíveis. Por esse mesmo facto, é extremamente importante cumprir com as manutenções preventivas estabelecidas pelo fabricante, assim como criar rotinas de vigilância ao equipamento.

Dispor de um equipamento de *backup* também é essencial, caso haja algum problema com o equipamento principal ou até mesmo trabalhar em paralelo com o mesmo, repartindo assim a carga de trabalho (somente quando necessário, pois não é uma boa prática de eficiência).

As UP com o processo EBM da *Logoplaste Ibéria* dispõem de compressores do tipo de parafuso, capazes de produzir ar isento de óleo. Geralmente, a gama de trabalho de pressão da rede varia entre 6 a 9 bar.

3.4.1.3. Secador

Tem a função de desumidificar o ar comprimido, evitando que haja acumulação de condensados nas tubagens e equipamentos, uma vez que água é bastante prejudicial em componentes pneumáticos. É boa prática ter uma temperatura de ponto de orvalho neste equipamento, compreendida entre os 2-3°C.



Figura 3.48- Secador de ar comprimido

3.4.1.4. Águas frias

À semelhança dos compressores, o circuito de águas é um fator preponderante para o funcionamento da fábrica, sem água fria não é possível produzir. A demanda de água advém do circuito de refrigeração dos moldes, da refrigeração do circuito hidráulico das máquinas e, em alguns casos, do circuito de climatização da sala de produção.

A água fria pode ser obtida através de torres de arrefecimento e *chillers* ou pode até ser fornecida pelo cliente.

Por exemplo, na UP de Guadalajara, a água fria é gerada pelo Parceiro (*Lactalis Néstle*) e chega às instalações da *Logoplaste* a aproximadamente 2°C, passa por um permutador de calor e volta à central de frio do cliente. No caso da UP de Castelo Branco existem *chillers* que arrefecem água, para refrigerar os moldes e ainda para arrefecer a água de refrigeração do circuito hidráulico de algumas máquinas EBM (através de um permutador) – um único circuito fechado.

No caso da UP de Oliveira de Azeméis, os circuitos de refrigeração são independentes, existem *chillers* para refrigerar os moldes e uma torre de refrigeração para arrefecer o circuito hidráulico.

Conforme a exigência do circuito (remoção de calor), os permutadores/*chillers*/torre são dimensionados o mais eficientemente possível de forma a remover a quantidade de calor exigida para o circuito dos moldes e para o circuito hidráulico.

3.4.1.5. Silos de frascos

Um dos pontos críticos de todo o processo/logística de uma embalagem de plástico é a forma como esta é armazenada, daí que os silos de produto acabado sejam extremamente importantes para garantir a entrega de um produto conforme exigido. É frequente encontrar frascos defeituosos no interior do silo devido ao peso dos restantes, ou seja, as garrafas que ficam na base do silo são mais suscetíveis a defeitos (principalmente ovalizações). O tempo de permanência no silo é também um factor importante a ter em conta, uma vez que quanto mais tempo permanecem no silo maior será a quantidade de frascos defeituosos.

Uma forma de evitar os esforços nas garrafas é criar geometrias no interior do silo de forma a absorver parte do peso. Nem todos os silos têm estas geometrias, mas a fábrica de Guadalajara é um modelo a seguir neste aspecto. O interior do silo é do tipo “acordeão”, ou seja, ao longo da altura do silo as garrafas são apoiadas nas chapas como demonstrado na Figura 3.49. Os silos estão divididos em 3 compartimentos e o carregamento de garrafas começa pela parte de trás do silo (compartimento 1 da Figura 3.49) de seguida o compartimento 2 e por fim o 3. A gestão do enchimento dos compartimentos é feito de forma automática com recurso a dois ventiladores situados opostamente, que distribuem as garrafas igualmente pelo silo. Outro aspeto interessante é o controlo de nível do silo gerido pela combinação de 5 fotocélulas que informam a equipa de produção sobre a quantidade percentual disponível no silo.

Na Figura 3.49, as células colocadas ao longo do silo estão indicadas alfabeticamente e, se todas detetarem a presença de garrafas significa que o silo está cheio.

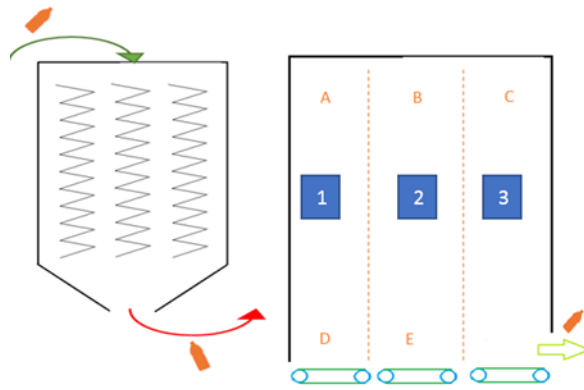


Figura 3.49 – Geometria e funcionamento dos silos de frascos

Abaixo também estão presentes as combinações de fotocélulas que permitem saber a quantidade de frascos sob a forma percentual.

$$\begin{array}{l}
 A + B + D + E = 90 \% \\
 A + D + E = 80\% \\
 A + D = 20\% \\
 D = 10\%
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} A + B + D + E = 90 \% \\ A + D + E = 80\% \\ A + D = 20\% \\ D = 10\% \end{array}} \right\} \text{Ocupação do SILO}$$

Para evitar contaminações físicas e biológicas dos frascos, os silos também podem ter um sistema de pressurização, desta forma é reduzida a probabilidade de contaminação do ambiente exterior aos silos (como é o caso na UP de Guadalajara).

3.5. Equipamentos subjacentes ao processo

3.5.1. Moinho

O excedente de material criado no processo de extrusão volta a ser incorporado nos sistemas de abastecimento, mas antes necessita de ser processado. Este processamento tem como objectivo triturar o plástico até atingir determinadas dimensões através de um equipamento usualmente chamado de moinho.

O moinho é um equipamento composto por um conjunto de lâminas rotativas e outras fixas. O material ao entrar no moinho é canalizado de forma a ir de encontro às lâminas e, desta forma, atinge as dimensões requeridas. As dimensões são conseguidas através de uma chapa perfurada com furos de 8 mm, ou seja, quando o material está suficientemente triturado, passa pelos furos e é transportado para uma tremonha de material triturado.

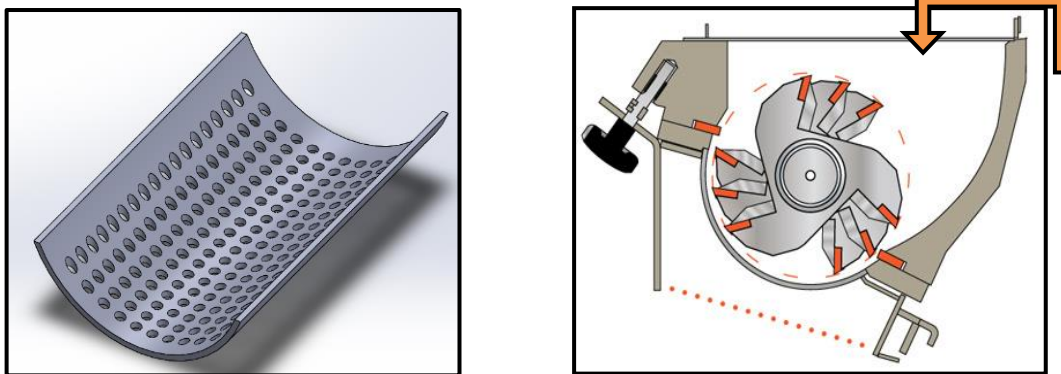


Figura 3.50 –Grelha do moinho para calibrar a dimensão do material triturado (Esq.) | Funcionamento do moinho (Dir.)

É importante realçar que a boa afinação do espaçamento entre lâminas é bastante importante para a qualidade do triturado, isto porque triturado acima das dimensões usualmente utilizadas tem tendência a criar bolsas de ar no interior da tremonha das máquinas, devido a uma menor densidade do material relativamente ao *pellet*, afetando assim todo o processo de produção. Por isso, há que estar atento às dimensões do triturado assim como à condição das lâminas.

3.5.2. Misturador

O misturador (Figura 3.51) tem o objetivo de homogeneizar determinadas quantidades de MP, neste caso HDPE, com material recuperado, com o corante e, se necessário, com aditivos (tais como carbonato de cálcio, deslizante, etc.).

Através de sistemas de transporte (transporte por vácuo) o misturador é abastecido com cada tipo de material que, inicialmente, ficam armazenados em compartimentos internos individuais. Cada compartimento dispõe de um sensor de nível de forma a garantir a constante existência de material no seu interior.



Figura 3.51- Misturador de MP

No fundo de cada compartimento, existe uma comporta que é acionada por um cilindro pneumático. A comporta, ao ser aberta, descarrega material para uma bacia, bacia esta que está apoiada numa calhas conectadas à balança do equipamento (Figura 3.52).

Cada comporta é aberta individualmente (nunca há duas comportas abertas em simultâneo), durante um intervalo de tempo que o próprio equipamento gere, de forma a garantir que, quando a bacia está cheia e é aberta, a percentagem de cada material é a correta. Esta percentagem é pré-programada pelo utilizador, mas em certas condições o equipamento pode alterar estes valores. Por exemplo, quando o nível do reservatório (tremonha) de material recuperado atinge um valor máximo ou mínimo, o misturador introduz uma maior ou menor percentagem de material recuperado relativamente aquilo que é o valor base pré-programado.

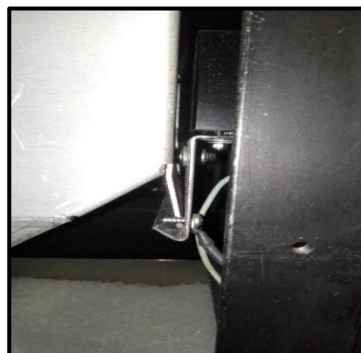


Figura 3.52 – Comporta do doseador e balança

Por exemplo:

De forma a cumprir os requisitos da produção, uma dada embalagem de 160 mililitros tem de conter uma mistura com a seguinte especificação (ver Tabela 3.1).

HDPE (Virgem)	Recuperado	Masterbach (corante branco com anti-deslizante)	Σ
99,2%	55%	0.8 %	100%
6696 gr	8250 gr	54 gr	15000 gr

Tabela 3.1 Especificação da Embalagem quanto à MP, corante e material recuperado

Considerando que a bacia do misturador tem uma capacidade de 15000 gramas e que a percentagem de recuperado que se pretende de introduzir é de 55%, chega-se aos valores acima apresentados. É de notar que o material recuperado tem a quantidade de corante igual àquele que se pretende, neste caso de 0,8%.

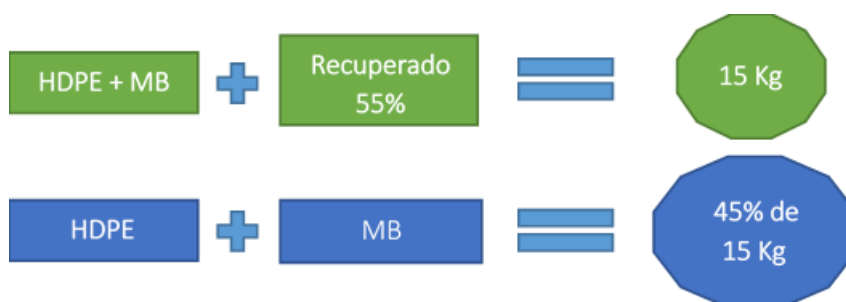


Figura 3.53 – Exemplo do controlo de quantidades do misturador

A bacia, ao conter as corretas quantidades dos diferentes componentes (15 quilogramas de material a misturar), deixa cair o material através de uma comporta para uma câmara onde se dá a mistura dos componentes. Essa mistura é favorecida pelo movimento rotativo de 2 cilindros com várias lâminas. Há medida que o material já misturado vai sendo solicitado para as máquinas, o nível no interior do equipamento vai diminuindo até uma quantidade mínima que faz com uma nova bacia seja preparada.

3.5.3. Transporte de matéria-prima

Uma forma eficaz de transporte de matéria prima são as bombas de vácuo. Este tipo de transporte baseia-se na depressão gerada pelas bombas que literalmente aspiram a matéria-prima de um ponto para o outro. São utilizadas para transportar:

- Do silo para a o reservatório de matéria-prima;
- Do reservatório de matéria-prima para os misturadores/doseadores;
- Dos misturadores para as máquinas.

Associado à bomba de vácuo está o sistema que visa proteger a mesma de partículas de plástico que possam estar em suspensão. Esse sistema está exemplificado na Figura 3.54.

O ar de vácuo proveniente da linha de abastecimento entra (retângulo vermelho) num acessório denominado de ciclone. Através do efeito turbilhão criado pela própria geometria interna do ciclone, as partículas mais densas são separadas e caem para um reservatório (detritos simbolizados a laranjas na Figura 3.54). O ar isento das maiores partículas em suspensão sai do ciclone (setas amarelas) e passa num tambor filtrante, este sistema é o último mecanismo de proteção antes da bomba de vácuo.



Figura 3.54- Sistema de remoção de partículas em suspensão do sistema de vácuo

Aqui situa-se um filtro de papel que impede/remove do ar as pequenas partículas que ainda possam existir, é de notar que quando a bomba não está em carga, o filtro é soprado em intervalos de tempo definidos, de forma a manter o mesmo desobstruído. O plástico

soprado do filtro, através de um sistema mecânico de borboletas, cai numa bolsa de pano que também é limpa periodicamente.

3.5.4. Abastecimento da máquina

O abastecimento da tremonha das máquinas é realizado por sensor de nível indutivo que capta quando há uma quantidade mínima de plástico. O sistema mecânico consiste numa borboleta com uma mola torção, ou seja, quando a tremonha está cheia de material a borboleta está totalmente aberta e não consegue fechar porque a força gravítica do material é superior à força da mola. Mas quando a tremonha vai ficando sem material, a borboleta (zona a verde da Figura 3.55) recolhe até à entrada de matéria e ativa o sensor indutivo para que seja abastecida novamente. A entrada de MP é feita na zona amarela e a depressão causada pelo vácuo é na zona a vermelho. Na zona azul, está um filtro de rede de forma a evitar que vá material para o circuito de aspiração.

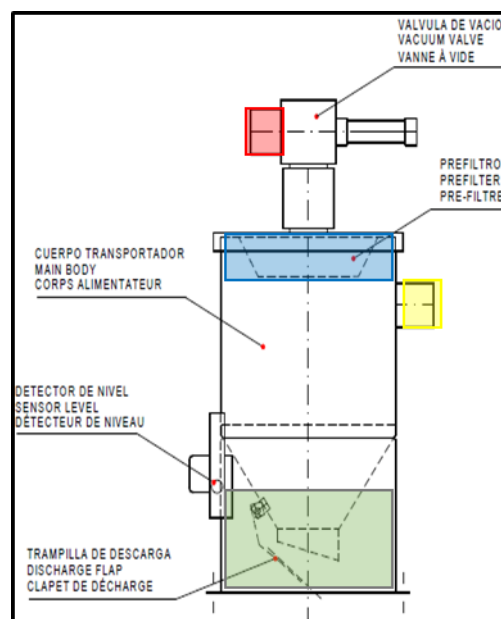


Figura 3.55- Sistema de alimentação da máquina

Para despoletar o carregamento de uma máquina, chega um sinal elétrico ao sistema de aspiração, informando que esta necessita de ser abastecida. Este sinal irá fazer com que a bomba deixe de estar em vazio (ou seja, a aspirar ar da sala) e comece a aspirar o ar do circuito de transporte assim como fazer com que esta aspiração chegue à máquina

que se pretende alimentar. O funcionamento do mecanismo da máquina para a entrada do ar de aspiração está demonstrado na Figura 3.56.

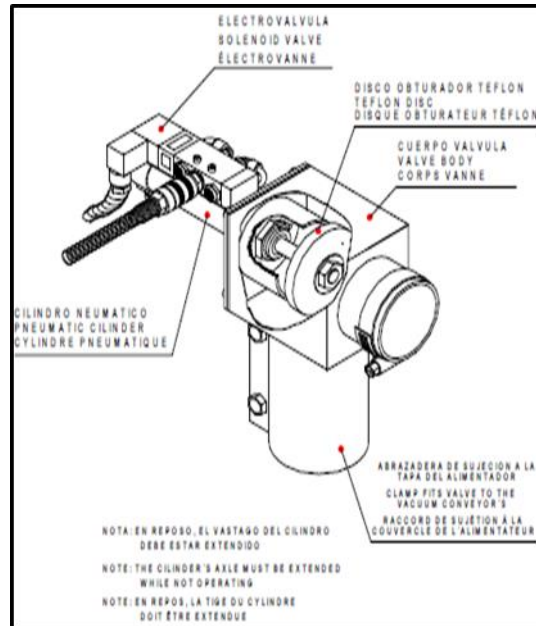


Figura 3.56- Mecanismo de carga de material

4. Injeção

O processo de injeção é o processo de manufatura mais conhecido no fabrico de componentes plásticos. Uma grande variedade de produtos é produzida através deste método em que as dimensões, complexidade e aplicação são das mais variadíssimas formas. Este processo requer a utilização de uma máquina de injeção, molde e matéria-prima que é fundida e injetada para o interior do molde e vai adquirir a forma final do produto desejado.

O processo inicia-se com entrada de material na extrusora da máquina que vai doseando o material para a frente do fuso que, através da entrada do material, faz com o fuso recue (1 da Figura 4.1). Após ser cumprida a dosagem necessária o material é injetado para o interior do molde, que o irá arrefecer sob a forma final desejada. Após suficientemente arrefecida, a peça final é extraída do interior do molde.

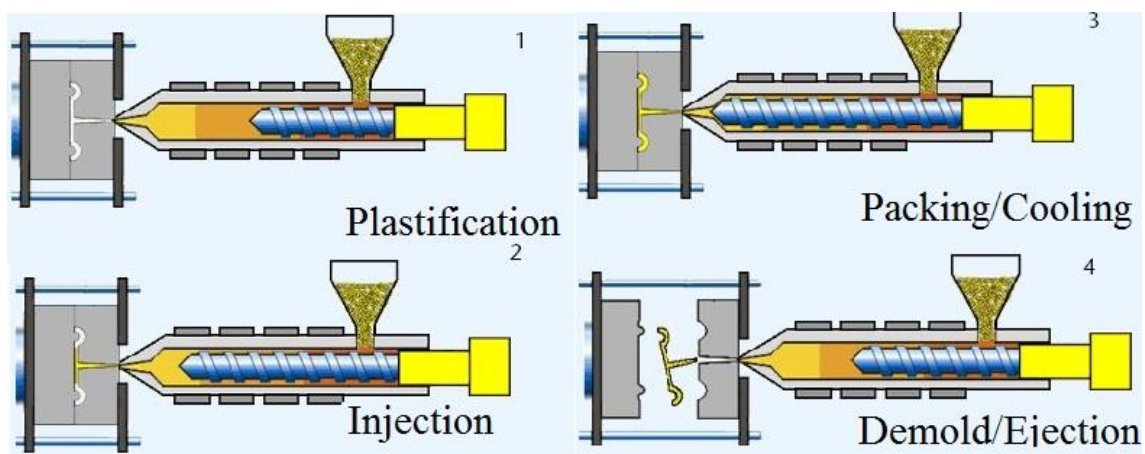


Figura 4.1- Principais etapas de injeção (Extraído) [21]

4.1. Perfil da Unidade de Produção

A unidade de produção da *Logoplaste Mealhada* situa-se no distrito de Aveiro e dedica-se exclusivamente à produção de pré-formas para o grupo *Logoplaste*, assim como para outros clientes externos à companhia. A estrutura de funcionamento da fábrica está representada na figura abaixo.

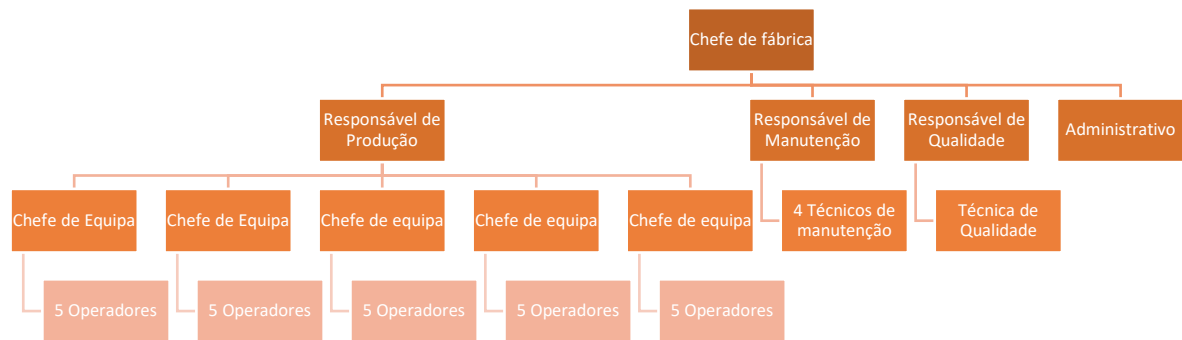


Figura 4.1- Organograma da unidade de produção da Mealhada

A fábrica fundada em 1997, produz 62 formatos de pré-formas que, devido à variação de cor entre as mesmas, atinge 128 referências de pré-formas e uma quantidade anual média de mil milhões de pré-formas, o que perfaz uma quantidade de 25 mil toneladas de PET. Esta fábrica dedica-se apenas ao processo de injeção para a produção de pré-formas.

4.1.1. Secagem da Matéria-Prima

Como o próprio nome indica, os secadores de matéria têm a capacidade de remover a humidade presente no granulado da matéria por este ser higroscópico (capacidade que certos materiais têm de absorver água). Como exemplo prático, a humidade presente no PET faz com que, ao ser transformado, o material cristalize, apresentando uma aparência baça/esbranquiçada e até mesmo à criação de bolsas de ar no ceio do material.

Na Figura 4.2, é possível ver um exemplo da composição de um equipamento deste género, em que a parte esquerda corresponde à secagem propriamente dita do material e a parte direita da regeneração do elemento absorvedor de água (sílica).

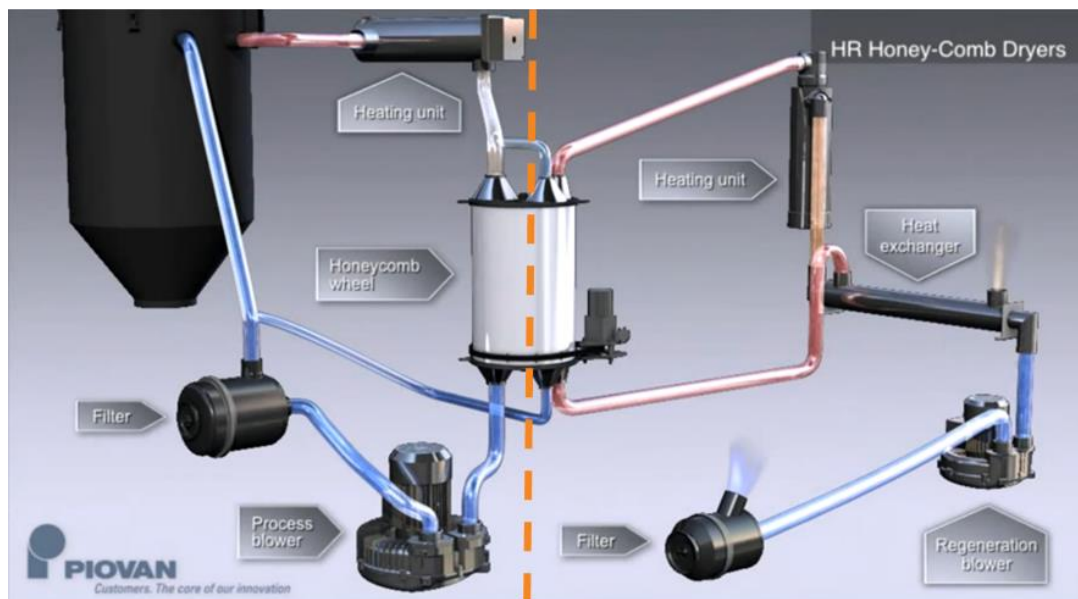


Figura 4.2- Exemplo de funcionamento secador de PET

Relativamente à secagem do material (parte esquerda da Figura 4.2), uma bomba de vácuo aspira ar húmido a uma temperatura, a variar consoante o material a secar e parâmetros introduzidos, da cuba de material. O ar húmido é conduzido até à unidade de sílica que irá reter parte da água presente no ar (Figura 4.3).

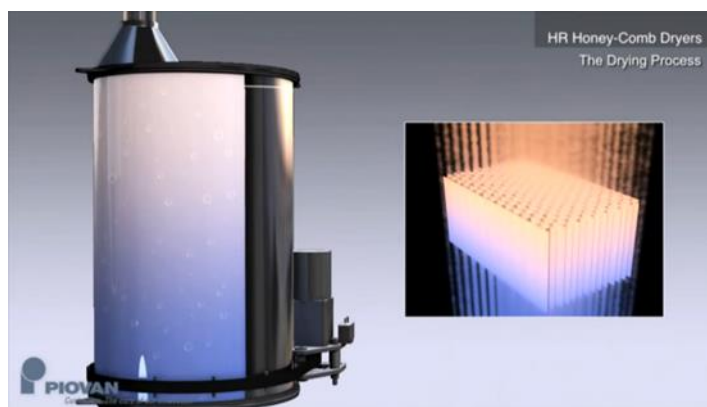


Figura 4.3- Esquema da absorção através da sílica

Após sair da unidade de sílica, o ar é aquecido a temperaturas, para o PET, de 180°C e enviado para a cuba de matéria-prima. De realçar que o ar mais quente e desidratado é canalizado para o fundo da cuba através de uma espécie de funil, ar esse que passará por todo o material da cuba e retornará a ser aspirado na zona superior da cuba, como ilustra a Figura 4.4.

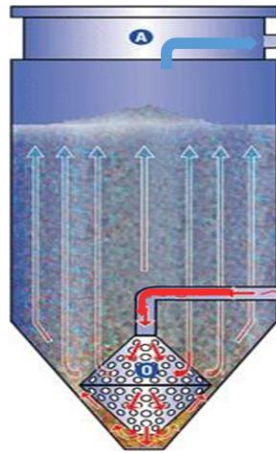


Figura 4.4- Circulação de ar no Interior da Cuba de matéria Prima

A constante passagem de ar húmido pela sílica fará que esta, com o tempo, fique saturada e deixe de ter a sua capacidade de reter a água do material, o que leva à necessidade da sua regeneração. A saturação de água da sílica é medida através de um sensor de ponto orvalho (*dew point sensor*), quanto menor a temperatura do ponto de orvalho menos saturada está a sílica.

Na UP da Mealhada, a sílica é regenerada a partir dos 30 graus Celcius negativos e, quando regenerada, tem um valor de ponto de orvalho de cerca de 60 graus Celcius negativos. O processo de regeneração da sílica inicia-se com a comutação de uma sílica saturada por outra regenerada, feita automaticamente pelo equipamento. Este processo é feito à semelhança do processo de secagem de MP, mas desta vez as temperaturas são bastante mais elevadas e o ar saturado em água é expulso para a atmosfera (conforme ilustra a Figura 4.5).

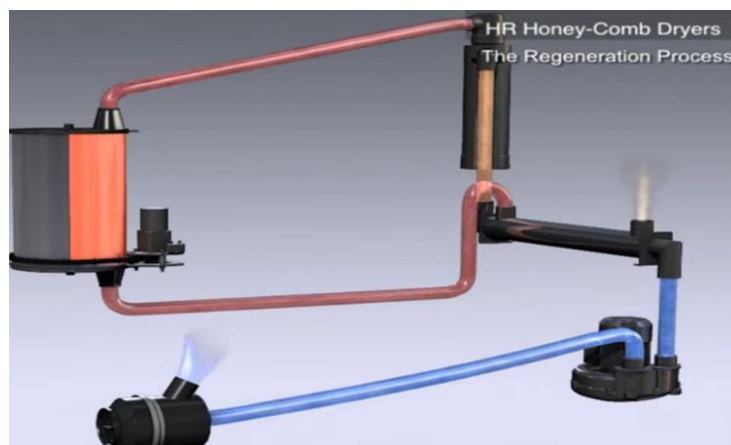


Figura 4.5- Circuito de regeneração da sílica

4.2. Máquina de injeção

Uma máquina de injeção pode ser descrita em duas partes essenciais: a Unidade de Injeção (UI) e a Unidade de Fecho (UF). Dentro destas partes, existem subconjuntos essenciais ao processamento da matéria-prima até ao produto final moldado:

- Alimentação/Tremonha(UI);
- Fuso (UI);
- Bico de injeção (UI);
- Molde; (UF)
- Ejeção/Extração (UF);
- Sistema de fecho (UF);

Os grupos enumerados em cima estão representados na Figura 4.6 em forma de ilustração para uma máquina típica de injeção e serão descritos nos subcapítulos seguintes.

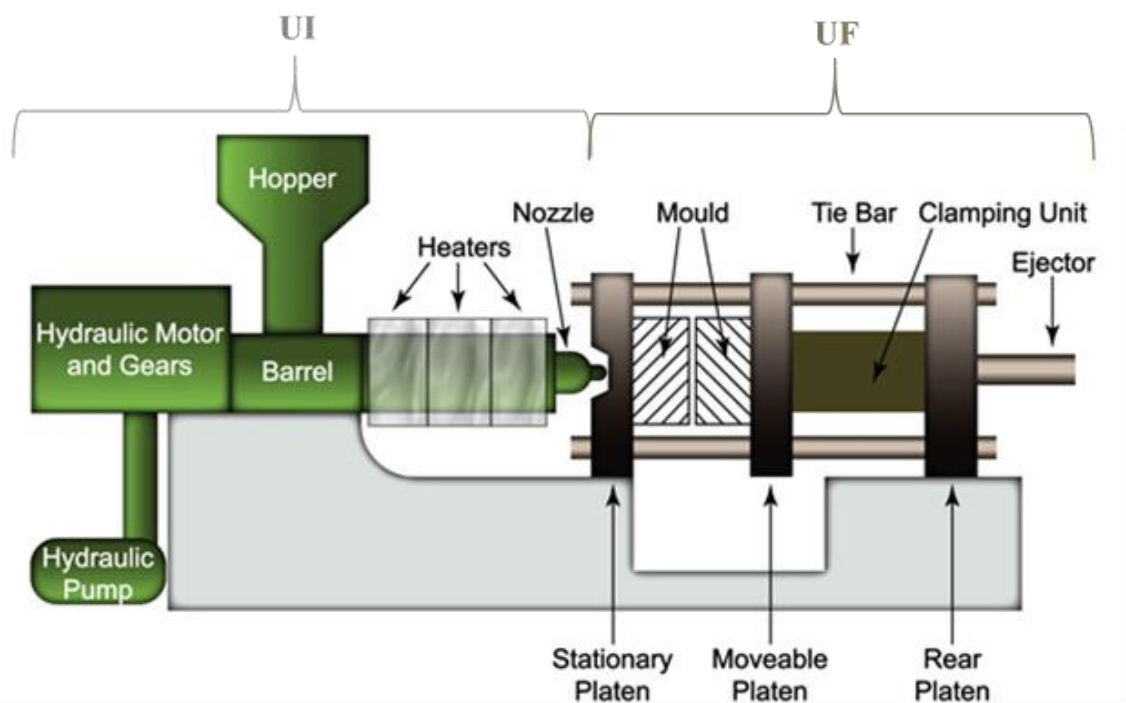


Figura 4.6- Esquema da constituição de uma máquina típica hidráulica de injeção

4.2.1. Alimentação

O processo de produção de uma peça por injeção inicia-se, à semelhança do processo de extrusão, com a introdução de matéria prima na máquina através da tremonha (*hopper*).

O material através do próprio peso, entra no fuso (conforme ilustra a Figura 4.7), componente este que tem a função de fundir, homogeneizar e comprimir o material, enquanto o vai transportando para a extremidade do cilindro de plasticização (onde se encontra o bico de injeção).



Figura 4.7- Entrada de material para o fuso

4.2.2. Fuso de injeção

O material, ao entrar no fuso será fundido, misturado, homogeneizado, durante a etapa de dosagem, e posteriormente injetado para interior do molde.

Este processo de plasticização necessita de calor para fundir o material granulado sólido, este calor é fornecido pelas resistências distribuídas pelas zonas do fuso. Contudo, a maioria do calor é gerado no atrito entre o granulado e as paredes do cilindro (com a rotação do fuso na dosagem), conforme ilustra a Figura 4.8.

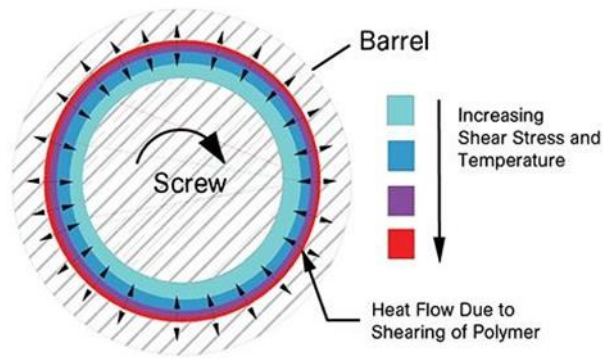


Figura 4.8- Perfil radial de aquecimento do material por atrito dentro do cilindro da extrusora

Os fusos de injeção, à semelhança dos fusos de extrusão, são adequados ao material que vão injetar, assim como as cadências desejadas e podem conter diferentes geometrias, dependendo dos fatores atrás enumerados, assim como variam com o tipo de fabricante.

4.2.3. Bico de injeção

O bico de injeção, muito conhecido pelo termo em inglês *nozzle*, que ainda é parte integrante da extrusora, é o responsável por fazer a transferência do material fundido para dentro do molde, conforme ilustra Figura 4.9.



Figura 4.9- Par bico de injeção e bucha do carburador do molde

4.2.4. Sistema de fecho do molde

O sistema de fecho do molde, hidráulico ou elétrico, garante que as duas partes do molde se fecham eficazmente durante a injeção. Se o mesmo não acontecer eficazmente serão originadas peças defeituosas. Na Figura 4.10, está representado o sistema de fecho por joelheira (esquerda) e um sistema de fecho central.

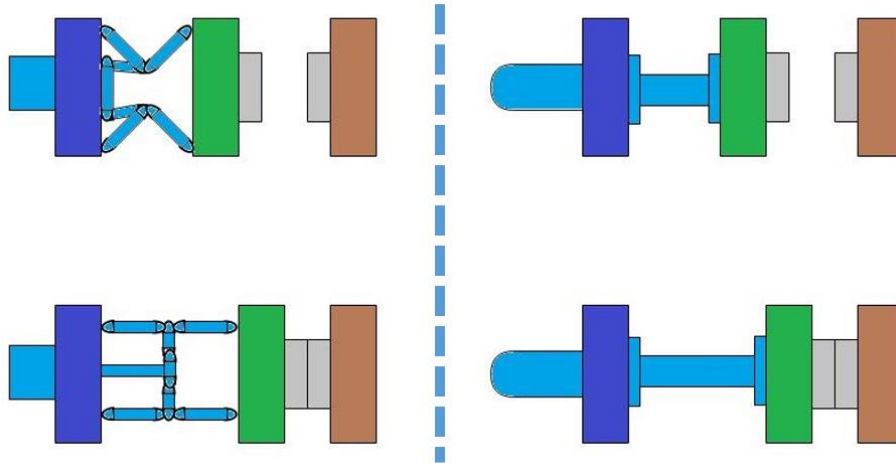


Figura 4.10- Sistemas de Fecho

O fecho do molde é uma etapa que influencia diretamente o tempo de ciclo da produção em causa, onde a velocidade do movimento é um fator preponderante. Outro aspeto importante é a força de fecho, que deve ser a suficiente para que as duas metades do molde não se afastem durante a etapa de injeção, como já atrás referido. Para conhecer a força de fecho necessária está representada a equação (6).

$$F_{fecho} = A_{projetada}^{peça} \times N_{cav} \times P_{máxima}^{Injeção} \times n \quad (6)$$

- N_{cav} - Número de cavidades do molde/peças a injectar
- $A_{projetada}^{peça}$ - É a área projetada da peça a injetar[m²]
- $P_{máxima}^{Injeção}$ - É a pressão máxima do material injetada [N/m²]
- n - Coeficiente de segurança

4.2.5. Extração

No processo de injeção, as peças moldadas dentro da cavidade terão de ser removidas dentro destas, de modo a que, no ciclo seguinte, já não permaneçam peças dentro do molde. Para que tal aconteça, os moldes são concebidos com sistemas de extração que visam remover os componentes já formados do seu interior. Os sistemas de extração são sistemas, por vezes, bastante complexos, dependendo da complexidade de injetar, um exemplo de um tipo de extração pode ser visto no subcapítulo 4.3.

4.3. Molde de injeção de Pré-formas

O molde é uma componente chave na produção para o processo de injeção e, como tal, é necessário perceber o seu funcionamento de modo a associar a eventualidade de problemas de produção, neste caso de pré-formas.

De uma forma generalista, é possível afirmar que o molde de injeção de pré-formas se divide em 2 metades:

- Parte fixa - composta por 2 placas, a placa das cavidades e o carburador também conhecido como *hot runner*;
- Parte móvel - composta por 2 placas, a placa das buchas e a placa extratora.

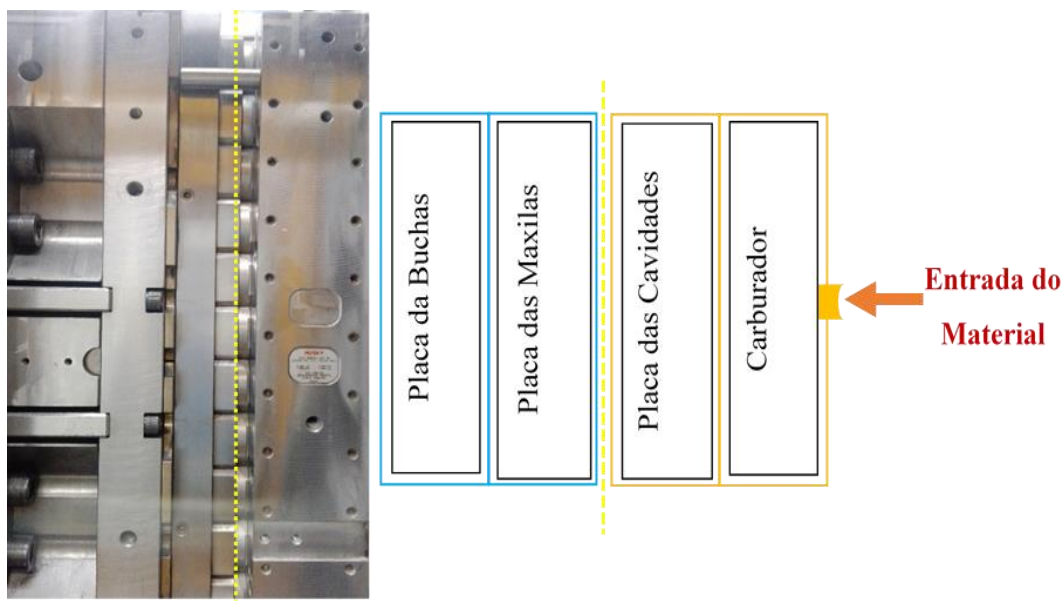


Figura 4.11-Constituição base de um molde de injeção de pré-formas

O plástico fundido, ao ser injetado para o interior do molde, entra em contacto em primeiro instante com o carburador. Esta zona quente do molde fará com que o material seja repartido para cada bico de injeção, formando cada um, uma única pré-forma. Na figura abaixo, é possível visualizar a entrada de material através do bico da extrusora que irá dividir o material por 6 zonas que, por sua vez, cada zona irá alimentar 12 cavidades, formando um total de 72 pré-formas em cada ciclo.

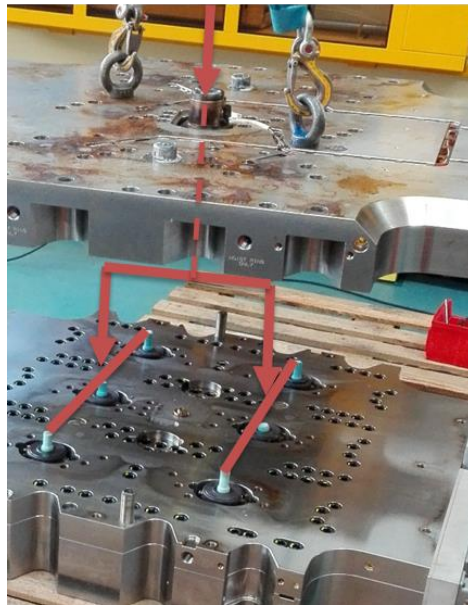


Figura 4.12-Repatrição do material pelos vários canais do molde

O material, ao sair do carburador pelos bicos de injeção, irá entrar em contacto, em primeira instância, com a cavidade, responsável pela geometria do corpo da pré-forma, bucha e na fase final da injeção com a maxila, onde será formado o gargalo da pré-forma. Cada cavidade, bucha, maxila e cavidade são arrefecidos com recurso a canais internos de água fria.

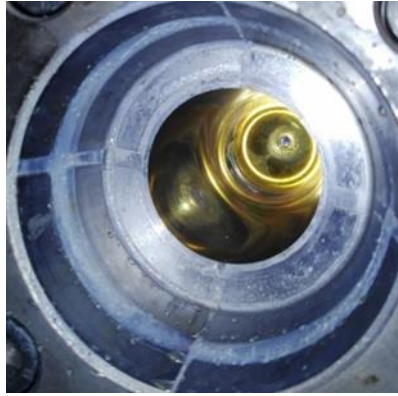


Figura 4.13- Cavidade

A placa das buchas, também normalmente designada, é parte do molde que aloja as buchas e está fixa ao prato da máquina, assim como o carburador. A bucha é o componente responsável pela moldação interna da pré-forma, enquanto que a zona do gargalo da pré-forma é moldada através das maxilas e estas estão alojadas na placa das maxilas também designada de placa extratora. Esta placa afasta-se da placa das buchas no momento em que as pré-formas estão formadas e frias o suficiente para serem extraídas do molde.

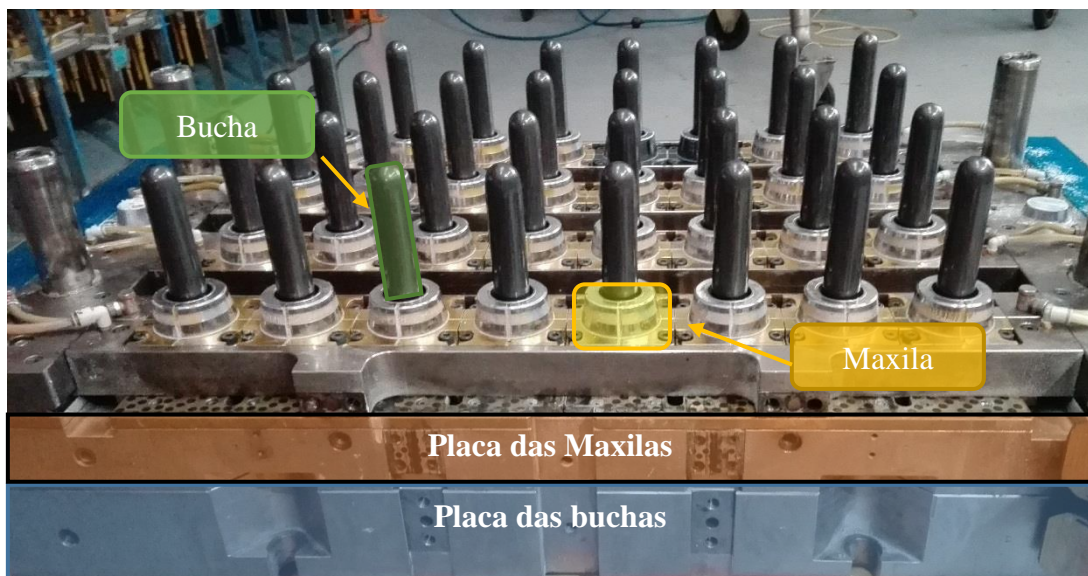


Figura 4.14-Placa das buchas e cavidades

A extração da pré-forma, de uma forma generalista, é composta por 3 principais etapas:

- A placa extratora vai à frente, descolando as pré-formas das buchas, mas as maxilas permanecem fechadas;
- As maxilas abrem, libertando completamente as pré-formas;
- As pré-formas são aspiradas para o interior do robot.

Na Figura 4.15, está representado o movimento da maxila que faz com que seja possível extraír a pré-forma.

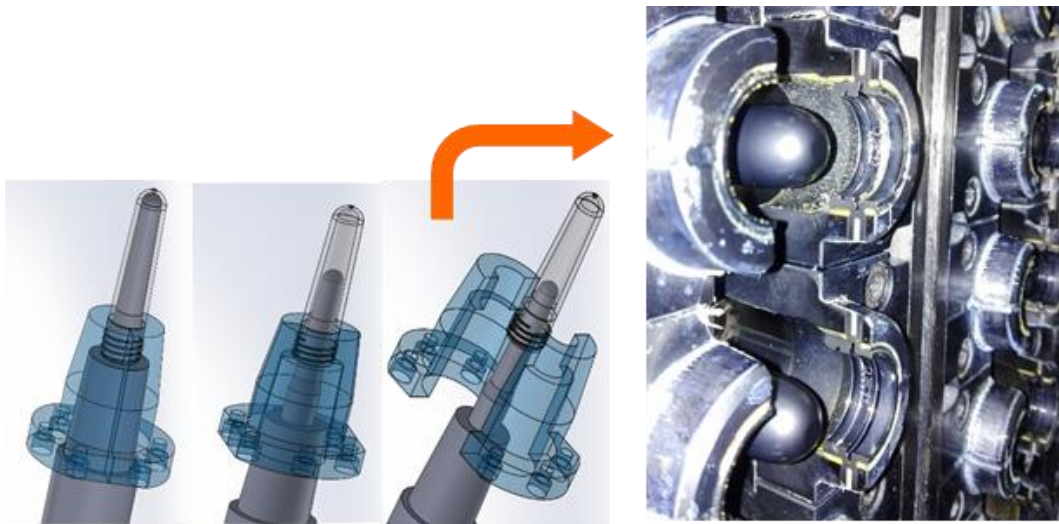


Figura 4.15- Movimento das maxilas

4.4. Processo de Injeção

O processo de injeção pode ser dividido nas seguintes etapas:

- Injeção – fuso avança, forçando o material fundido a entrar no molde;
- Compactação - o fuso continua a pressurizar a moldação, de modo a compensar a contração do material fundido;
- Dosagem - fuso recua devido à entrada do material para a sua frente, causado pela rotação do mesmo;

- Arrefecimento – arrefecimento até que a moldação possa ser extraída sem distorção da peça injetada;
- Abertura – molde abre;
- Extração – a moldação é extraída pelo sistema de extração;
- Fecho – molde fecha;

4.4.1. Injeção

Esta etapa inicia-se na posição final em que o fuso ficou após Dosagem (ou descompressão, caso tenha) e termina no ponto em que faz a comutação para a compactação.

Durante esta etapa, são definidos pontos ao longo do curso do pistão de injeção, assim como velocidades a atingir nesses pontos, originando assim o perfil de injeção.

A máquina fará com que estas velocidades introduzidas sejam cumpridas, mas devido a limitações mecânicas isso poderá não acontecer. Por outro lado, a máquina ajustará automaticamente a força a aplicar no pistão de injeção. Isto significa que a força exercida no pistão de injeção é influenciada pela fluidez do material, assim como pressões geradas no material a injetar são uma consequência das velocidades introduzidas.

As velocidades usualmente são ajustadas para formar 98% da pré-forma com uma velocidade média de injeção que pode variar entre 8 a 12 gramas por segundo, por cavidade (g/s/cavidade).

4.4.2. Compactação

Um ponto importante no processo de injeção é o ponto de comutação, também conhecido como v/p, pois é a passagem do controlo de velocidade para pressão. Como o próprio nome indica, é quando a etapa de injeção (comandada usualmente em velocidade) passa/comuta para a etapa de compactação (comandada em pressão), garantindo com maior repetibilidade o enchimento da cavidade. O tempo de compactação e pressão definido irá ser crucial no ajuste de contração do material dentro da cavidade após enchimento.

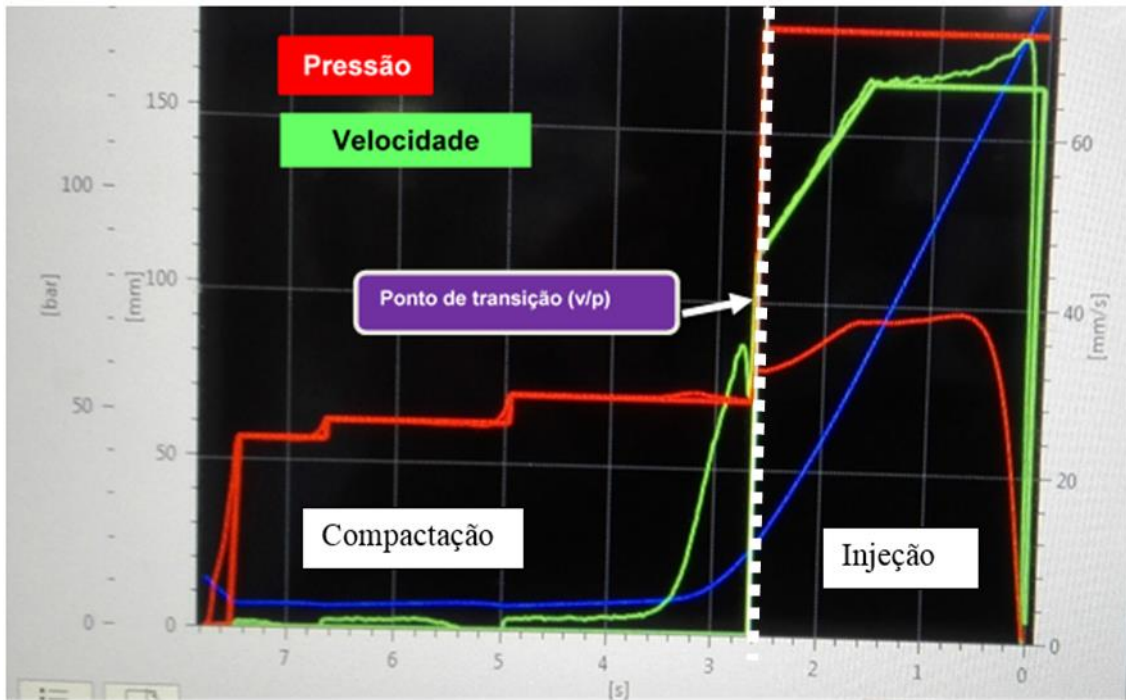


Figura 4.16- Gráfico do processo de injeção de pré-formas

A Figura 4.16 ilustra o gráfico de processo, em que da direita para esquerda é a fase de injeção controlada pela velocidade até ao ponto de transição v/p. A partir daí, inicia-se a compactação e é possível ver na figura que existem 3 pressões que vão progressivamente diminuindo com o curso do cilindro de injeção.

As pressões e tempo de compactação são bastante importantes para conferir a forma pretendida, peso final da pré-forma e um arrefecimento mais eficaz. Sendo que o arrefecimento é uma etapa do processo, também é auxiliado pela etapa da compactação, uma vez que durante esta fase a superfície exterior da pré-forma está em contacto com a cavidade.

Como valor indicativo e de referência para a injeção de pré-formas, a Figura 4.17 mostra o tempo de compactação recomendado em função da espessura da pré-forma e da temperatura do material injectado. Aqui é possível concluir que, quanto maior for a espessura da pré-forma e a tempera do material, maior terá de ser o tempo de compactação.

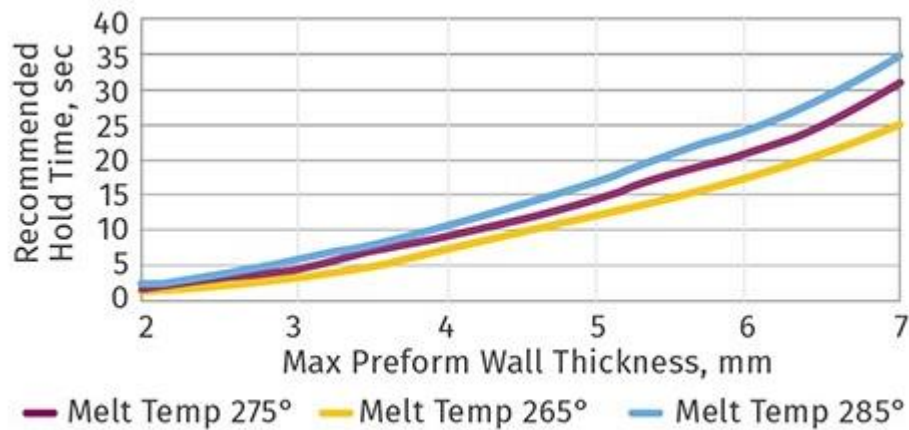


Figura 4.17- Tempo de compactação em função espessura e temperatura do material a injetar (Extraído) [22]

Uma consequência da etapa de compactação e dosagem é a almofada/colchão de material localizada na frente do fuso após a fase de compactação (Figura 4.18). Se durante a fase de compactação não existir almofada, também não existirá compactação, uma vez que não há material no cilindro da extrusora a forçar o que está no interior do molde. Por outro lado, também haverá um contacto entre o fuso e a camisa da extrusora, o que a longo prazo poderá danificar o conjunto.

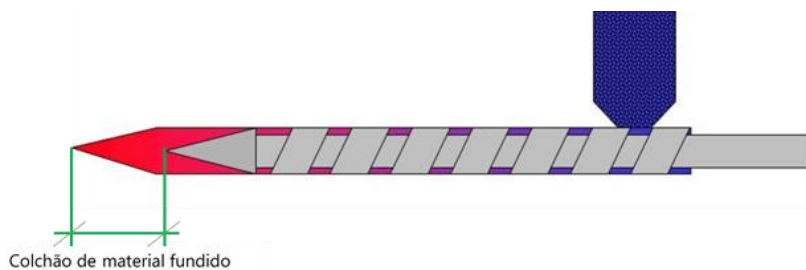


Figura 4.18- Colchão de material

4.4.3. Dosagem

Esta etapa é responsável por misturar o material e homogeneizar o mesmo, fundindo-o com o atrito gerado pela tensão de corte entre o material e as paredes do cilindro. É o atrito dentro do cilindro que gera a maioria do aquecimento necessário para fundir o material, garantindo a fluidez necessária ao processo de injeção.

Para que o material vá para a frente da ponta do bico (é comum terem um sistema de passagem e bloqueio de material, como ilustra a Figura 4.19, é necessária uma contrapressão que fará com que o material se coloque em posição de iniciar um novo

ciclo. Esta contrapressão garante também que, ao dosear, não aparecem bolhas de ar entre o material.

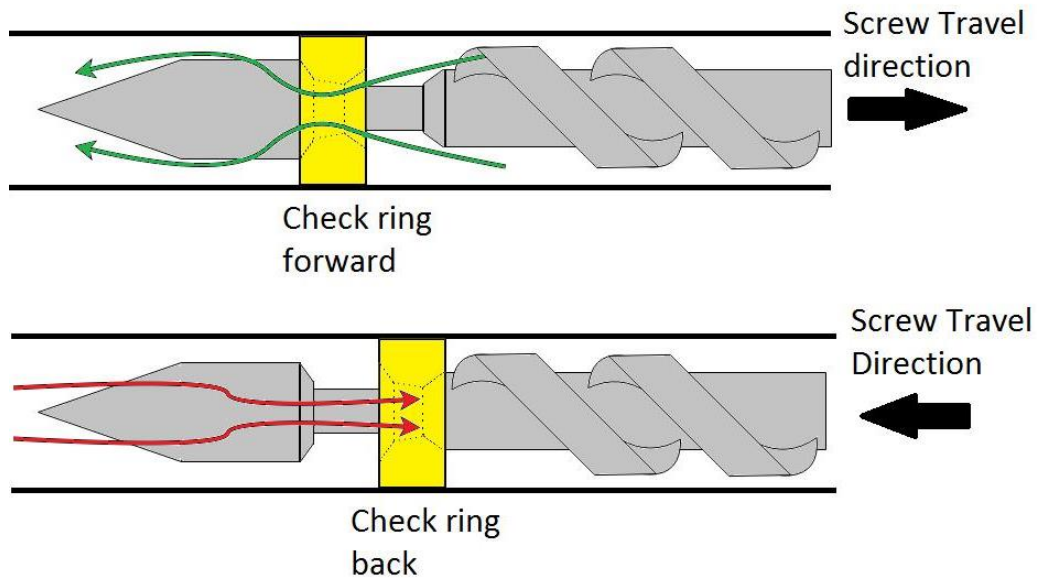


Figura 4.19-Ponta do fuso com sistema de passagem/bloqueio de material fundido

Para garantir a repetibilidade de material injetado, no bico da extrusora existe um anel de anti-retorno (*check-ring*) representada na Figura 4.19. Durante a dosagem, quando o fuso recolhe, o anel é empurrado para a frente e permite a passagem de material. Na injeção, a pressão do material, na parte da frente do anel, obriga-o a encostar-se atrás, fazendo com que haja uma vedação entre o material a injetar e o material a dosear no próximo ciclo da máquina.

A quantidade de material a injetar e, conseqüentemente, o curso do fuso são dados pela seguinte fórmula:

$$V_{mat} = \frac{P_{peca}}{d_{mat}} * N_{cav}, \text{ vem que: } L_{paraf} = \frac{V_{mat}}{\phi_{paraf}} + D_{antes} + D_{depois} + l_{colchão} \quad (7)$$

onde:

- L_{paraf} – Curso do fuso [mm];
- Φ_{paraf} – Secção do fuso [mm²];
- V_{mat} – Volume de material a injetar [mm³];
- $P_{peça}$ – Peso de uma peça a injetar [g];
- d_{mat} – Densidade do material a injetar [g/mm³];
- N_{cav} – Número de cavidades ativas do molde;
- D_{antes} – Descompressão antes da dosagem [mm];
- D_{depois} – Descompressão depois da dosagem [mm];
- $l_{colchão}$ – Colchão [mm].

Antes e depois da dosagem, em alguns casos, vem uma etapa designada descompressão. Antes da dosagem, o objetivo da descompressão é permitir a abertura da válvula antirretorno na ponteira do fuso e assim facilitar a passagem do material para junto do fuso. Após a dosagem, injeção e compactação o objetivo é remover a pressão do interior do molde, esta etapa é bastante importante para moldes que não possuem válvulas de corte de matéria por cavidade, denominadas de *valve gates*. As *valve gates* são componentes presentes nos moldes de injeção de pré-formas e têm o objetivo de cortar a entrada de material na cavidade, conforme ilustra a Figura 4.20.

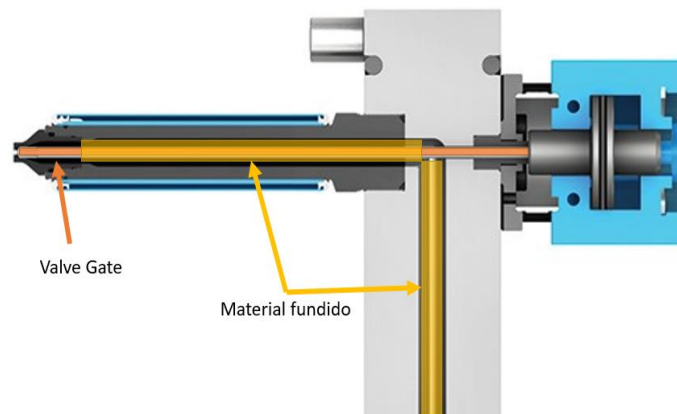


Figura 4.20 -Funcionamento Valve gate

É comum nas máquinas de injeção de pré-formas o material ser doseado para um reservatório intermédio denominado de pote de injeção e este, sim, fará a inserção do

material fundido para o interior do molde. Este sistema beneficia a redução do tempo de ciclo, uma vez que, durante a etapa de injeção e compactação, a extrusora já está a dosear.

Outra particularidade interessante, ilustrada na Figura 4.21, é a válvula intermédia entre a extrusora e o pote de injeção. Esta válvula de dois estados faz com que, durante a transferência de material da extrusora para o pote de injeção, não haja a possibilidade de entrada de material para o interior do molde, assim como, durante a injeção o material do pote, não retorne à extrusora.

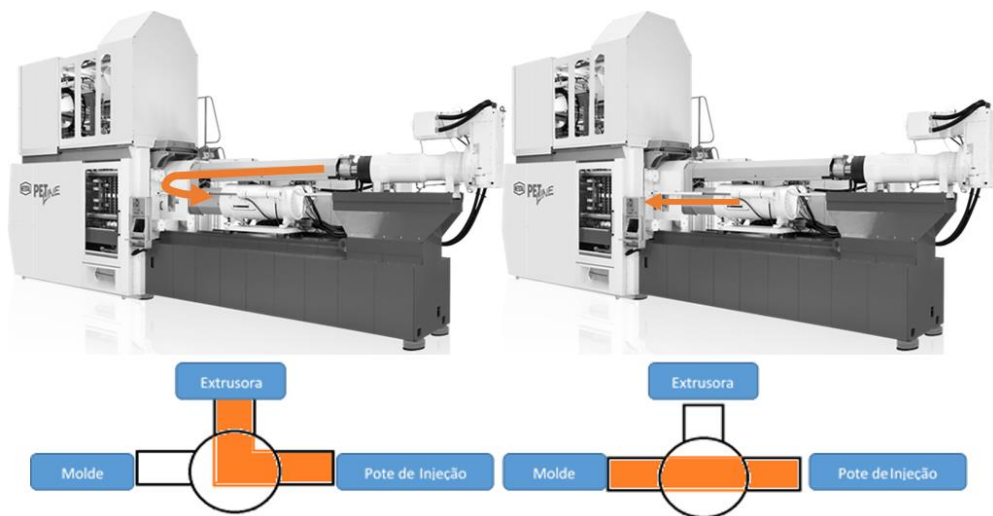


Figura 4.21- Máquina com pote de injeção

4.4.3.1. Tempo de residência

Este valor significa o tempo que o material está dentro do cilindro de plasticização (extrusora), e é uma variável que é analisada com maior propósito na fase de projeto do produto. Elevados tempos de permanência do material no interior da extrusora levam à degradação do material e, no caso da injeção de pré-formas, este fator é bastante importante e deve ser reduzido o mais possível para evitar a formação de acetaldeído.

Se cada moldagem representa um terço da capacidade total do cilindro da extrusora, então o material fundido de cada moldagem está o triplo do tempo de ciclo dentro do cilindro de plasticização.

4.4.4. Tempo de Arrefecimento

Apesar da fase de compactação ser crucial para o arrefecimento das peças, há uma altura em que já não traz benefício, porque o material já está solidificado. Embora solidificado, ainda está maleável, pelo que se aguarda um determinado tempo para que a peça tenha tempo de arrefecer o suficiente para que, quando seja extraída do molde, garanta a geometria pretendida e uma determinada temperatura. O tempo de arrefecimento, no caso de pré-formas, deve ser suficientemente baixo para que as pré-formas em contacto umas com as outras não fiquem riscadas quando armazenadas pelo que teoricamente tenta-se que tenham uma temperatura à saída de 45°C. Há que salientar que os riscos nas pré-formas serão ampliados até 16 vezes na formação da embalagem por estiramento sopra.

A Figura 4.22 mostra, para uma pré-forma de 35 gramas e 3 mm de espessura média, a temperatura de desmoldagem em função do tempo de arrefecimento e compactação.

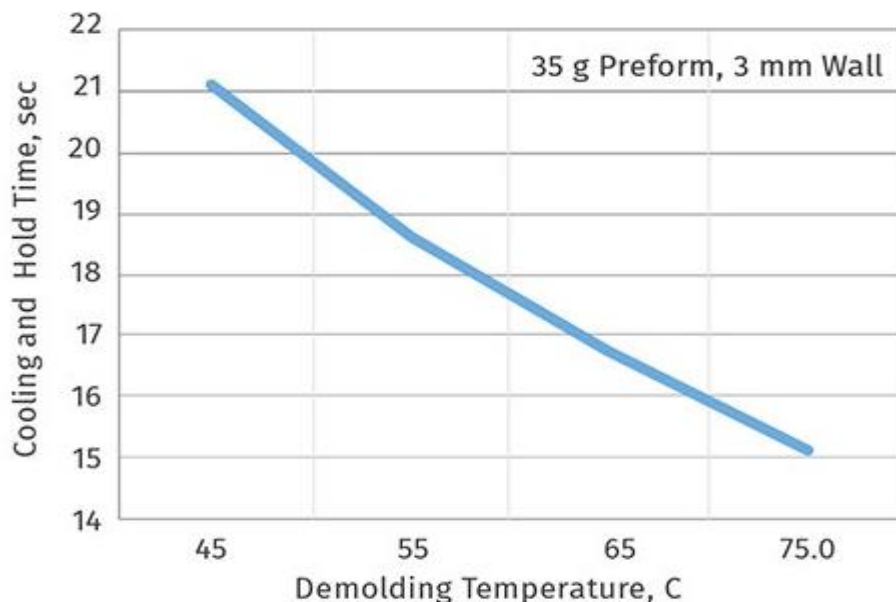


Figura 4.22- Temperatura de desmoldagem em função do tempo de compactação e arrefecimento (Extraído [22])

De forma a ganhar tempo de ciclo, são utilizados sistemas auxiliares de arrefecimento. Assim sendo, o molde ao abrir transfere as pré-formas, ainda quentes e maleáveis, para os orifícios do robot (também designados de alvéolos)



Figura 4.23- Estação de arrefecimento através de alvéolos

Dependendo do fabricante do equipamento, o sistema de arrefecimento pode ser diferente, mas com princípios bastante semelhantes.

Por exemplo, nas máquinas *Husky HyPET HPP*, a placa do robot entra horizontalmente no molde e recolhe as pré-formas para 1 dos 4 estágios que a compõe, o que significa que para um molde de 72 cavidades existam 288 alvéolos. Desta forma, a placa do robot armazena as pré-formas, à medida que vai retirando outras do molde e ao fim dos 4 ciclos são extraídas da placa do robot, dando um tempo extra de arrefecimento equivalente a 4 tempos de ciclo. Os alvéolos da placa do robot são arrefecidos a água, mas como auxílio à tarefa de arrefecimento das pré-formas há uma máquina que dispõe de um sistema denominado de *coolPik*. Este sistema insufla ar frio para o interior das pré-formas, conforme ilustra a Figura 4.24.

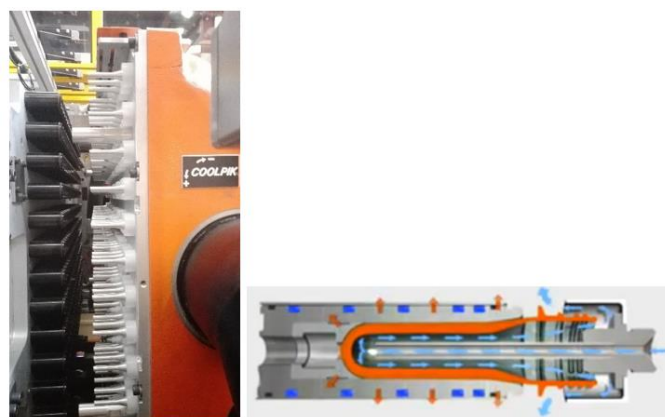


Figura 4.24- Sistema *coolpik* Husky HyPet HPP

5. Projetos de Melhoria

Durante a fase de estágio e ao passar por diferentes unidades de produção, foram encontradas oportunidades de melhoria que tinham como objetivo o aumento da qualidade de vida de quem opera diariamente no chão de fábrica, assim como no controlo de processos.

5.1. Sistema de aquisição de dados

Com a utilização de um elevado número de máquinas e equipamentos na unidade de produção, sentiu-se a necessidade de controlar e centralizar a informação proveniente dos mesmos e desta forma espera-se:

- Reduzir processos logísticos da gestão do turno;
- Monitorizar dados em tempo real;
- Recolher dados com precisão temporal;
- Reduzir o erro humano.

Como solução para realizar a monitorização das máquinas de injeção de Pré-formas, foi criado um sistema que tem como objetivo armazenar e visualizar em tempo real a seguinte informação:

- Equipamento em funcionamento ou parado
- Artigo em produção
- Quantidade de ciclos realizados pela máquina
- Tempo de ciclo da máquina
- Consumo energético
- Tempo de paragem e tempo de trabalho
- Número de paragens

Para recolher a informação desejada, foi implementada em cada máquina um módulo de comunicação conectado à rede de máquinas da fábrica. Também conectado à rede, está um autómato que processa os sinais de todas as máquinas, de forma a que possam ser visualizados pelo computador principal.

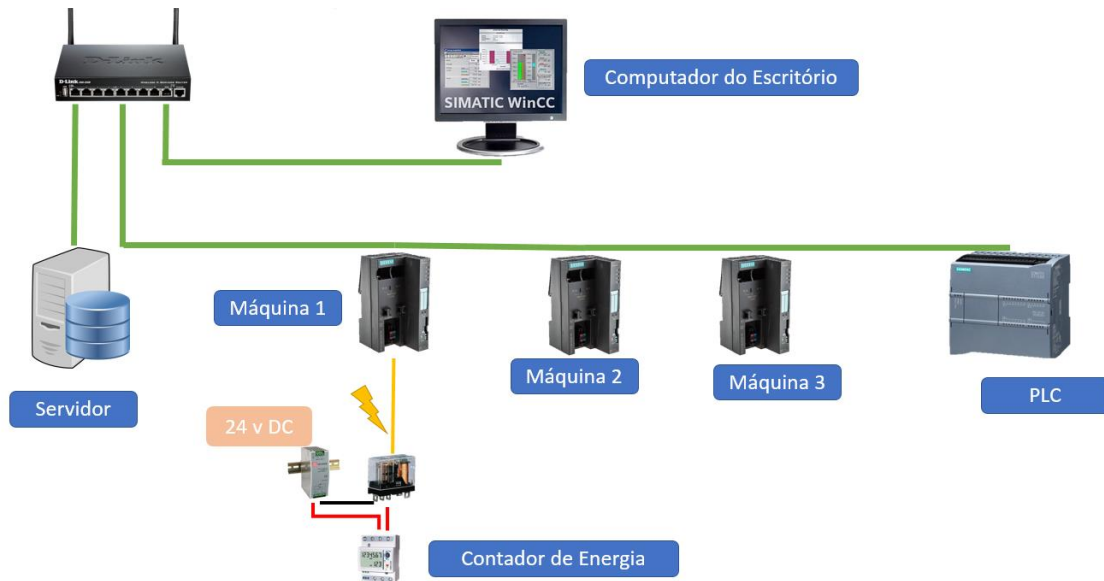


Figura 5.1- Arquitetura da Instalação

Cada módulo de comunicação (Figura 5.2) é identificado pelo número da máquina em que está inserido, assim como o endereço IP na rede. A cada módulo chegam 4 sinais digitais:

- Máquina em automático, proveniente da autómato da máquina
- Extrator do molde à frente, proveniente do autómato
- Impulso do contador energético da máquina, proveniente do contador de energia da máquina
- Impulso do contador energético de secador, proveniente do contador de energia do secador



Figura 5.2- Módulo de comunicação

Através dos sinais provenientes da máquina, é possível manipulá-los para obter uma grande quantidade de informação, nomeadamente o número de ciclos, que são contados quando a máquina opera automaticamente, e o tempo de ciclo " Δt ", conforme ilustra a Figura 5.3

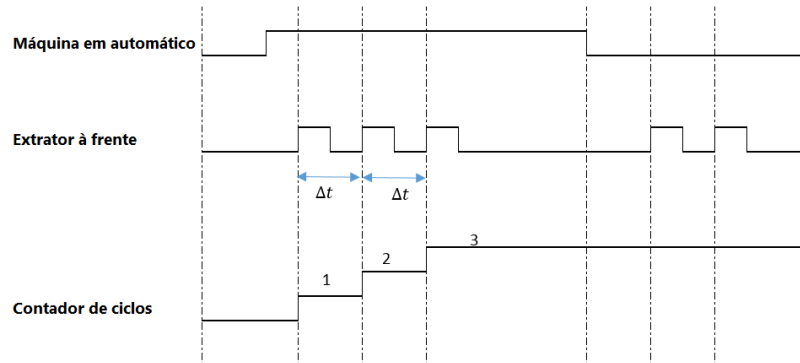


Figura 5.3-Diagrama de sinais

Os contadores de energia têm a funcionalidade de fechar um contacto interno, cada vez que uma quantidade de energia é consumida (kWh). Para esta aplicação, os contadores foram programados para fecharem o seu contacto interno a cada kWh. Por questões de segurança, foi introduzido um relé para cada contador de energia, assim como uma fonte de alimentação de 24 Volts e assim separar a tensão de trabalho da máquina, conforme ilustra a Figura 5.4.

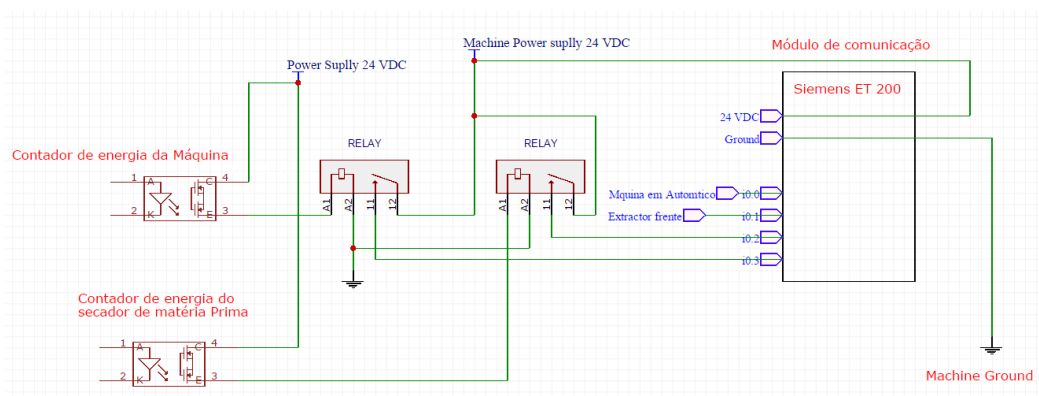


Figura 5.4- Esquema elétrico do módulo de comunicação

Os dados podem vistos em tempo real, no computador principal. Aqui é possível ver a planta da fábrica e saber quais as máquinas em funcionamento e os seus tempos de ciclo. Relembrar que o tempo de ciclo é característica bastante importante, uma vez que décimas de segundo acima do tempo padronizado afetam bastante o tempo de entrega da produção, daí ser um dado bastante importante de acompanhar. Desta forma, o utilizador pode visualizar o tempo do último ciclo realizado pela máquina e a média dos ciclos da última hora. Se o tempo de ciclo for superior ao valor padrão para a determinada referência em produção, a cor de fundo da caixa do tempo de ciclo passa a vermelho de uma forma intermitente para que chame à atenção do utilizador.

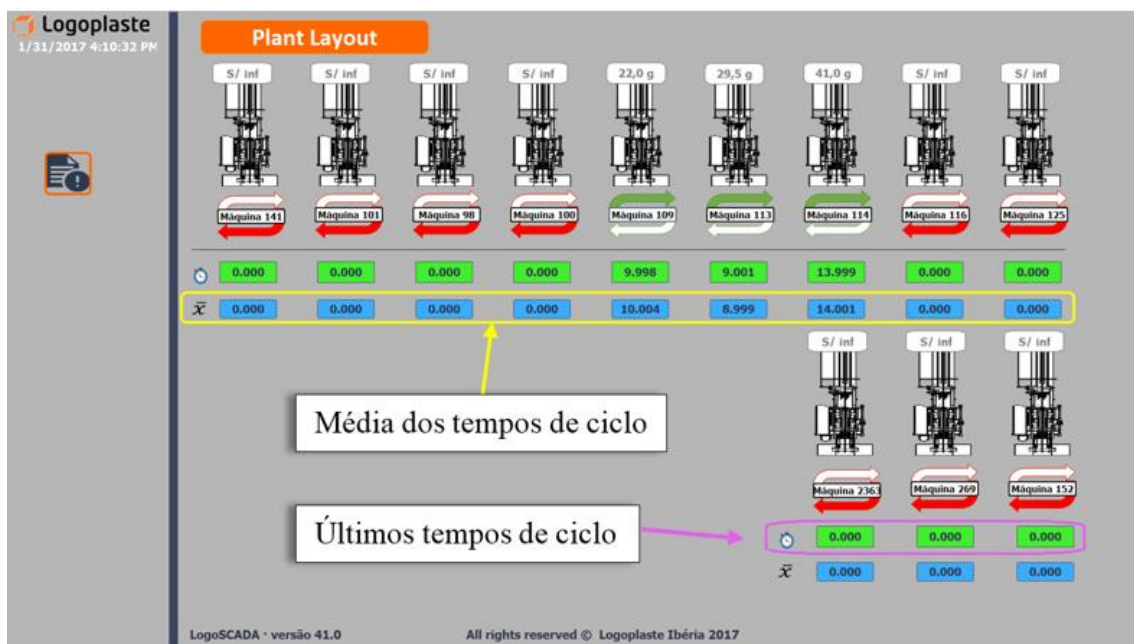


Figura 5.5- Ecrã Principal

Além do ecrã principal, é possível aceder a uma página para cada máquina, onde se pode visualizar as informações do ecrã principal (Figura 5.5), assim como o número de ciclos em automático, consumo energético, tempo de funcionamento, tempo de paragem, número de paragens, artigo em produção. Se porventura existir uma troca de

molde, que resultará num artigo diferente, o utilizador do sistema irá submeter a contagem da produção anterior e selecionar o artigo a produzir listado no programa.

The screenshot shows a web interface for 'Submeter Dados Máquina 109'. At the top left, it displays 'Logoplaste' and the date/time '1/31/2017 4:39:52 PM'. Below this are icons for a wrench and a home button. The main content area is divided into several sections:

- Header:** 'Submeter Dados Máquina 109' in an orange bar.
- Table:** A table with columns: 'Referência:', 'Nº de Ciclos', 'Nº de Paragens', 'Consumo Energéticos kWh:', and 'Submeter Contagem:'.

Referência:	Nº de Ciclos	Nº de Paragens	Consumo Energéticos kWh:	Submeter Contagem:
21,0 g	223	0	Máquina: 0 Piovan + AC: 0	
- Time Fields:**
 - Tempo de Máquina em Não funcionamento: 00:00:00 h:mm:ss
 - Tempo de Máquina em funcionamento: 00:37:07 h:mm:ss
- Status Indicators:**
 - Extrator à frente: ●
 - Estado da Máquina: ●
- Production Data:**
 - Cavidades: 48
 - Peso da Pf: 24.2
 - ⌚ 9.987
 - ⌚ 9.995

Figura 5.6- Menu de cada máquina

Outra informação que é necessário introduzir pelo utilizador é o número de cavidades ativas, isto porque o programa faz o cálculo do indicador energético em função do peso das pré-formas, número de ciclos realizados, cavidades ativas e energia consumida, eis a expressão:

$$\text{Indicador} \left(\frac{kWh}{\text{tonelada}} \right) = \frac{(\text{Consumo da máquina}(kWh) + \text{Consumo do Secador}(kWh))}{n^{\circ} \text{ de ciclos} \times n^{\circ} \text{ de cavidades ativas} \times \frac{\text{Peso}(gr)}{10^6}} \quad (8)$$

A cada hora, os dados são recolhidos pelo autómato, para uma base dados em *Microsoft Sql* de onde são exportados e analisados em *Microsoft Excel*, conforme ilustra a Figura 5.7. Nesta figura, onde é feita a recolha de informação a cada dez minutos, é possível verificar a verde a influência de 6 décimas de segundo no valor do indicador energético, assim como o aumento do mesmo quando há paragens de máquina (a azul na Figura 5.7).

Nr	Data	Hora	Nr Ciclos	Tempo_Funcionamento	Tempo_Parada	Pré_forma	Média_tempo_Ciclo	Consumo_Máquina	Consumo_Piovan	Indicador
1	12-01-2017	08:20:09	54	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,95	25	10	613,7767
2	12-01-2017	08:30:08	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,944	26	10	619,8347
3	12-01-2017	08:40:08	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,95	25	9	585,3995
4	12-01-2017	08:50:08	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,951	25	10	602,6171
5	12-01-2017	09:00:08	54	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,954	26	9	613,7767
6	12-01-2017	09:10:08	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,944	25	10	602,6171
7	12-01-2017	09:20:08	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,939	25	9	585,3995
8	12-01-2017	09:30:08	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,944	26	10	619,8347
9	12-01-2017	09:40:08	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,955	25	9	585,3995
10	12-01-2017	09:50:09	54	00:10:00	00:00:00	22,0 g	11,058	26	10	631,3131
11	12-01-2017	10:00:08	54	00:10:00	00:00:00	22,0 g	11,063	25	9	596,2402
12	12-01-2017	10:10:09	54	00:10:00	00:00:00	22,0 g	11,208	25	11	631,3131
13	12-01-2017	10:20:09	52	00:10:00	00:00:00	22,0 g	11,461	25	14	710,2273
14	12-01-2017	10:30:09	53	00:10:00	00:00:00	22,0 g	11,324	25	14	696,8268
16	12-01-2017	10:50:10	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,912	26	14	688,7053
17	12-01-2017	11:00:10	54	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,977	25	14	683,9225
18	12-01-2017	11:10:10	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,931	25	13	654,27
19	12-01-2017	11:20:09	9	00:01:39	00:08:21	22,0 g	10,898	13	13	2735,69
20	12-01-2017	11:30:09	21	00:05:06	00:04:54	22,0 g	11,156	18	13	1397,908
21	12-01-2017	11:40:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,929	26	13	671,4876
22	12-01-2017	11:50:10	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,898	26	13	671,4876
23	12-01-2017	12:00:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,897	26	11	637,0524
24	12-01-2017	12:10:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,902	26	9	602,6171
25	12-01-2017	12:20:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,894	26	10	619,8347
26	12-01-2017	12:30:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,882	26	10	619,8347
27	12-01-2017	12:40:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,892	26	10	619,8347
28	12-01-2017	12:50:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,9	26	11	637,0524
29	12-01-2017	13:00:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,895	26	11	637,0524
30	12-01-2017	13:10:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,882	26	11	637,0524
31	12-01-2017	13:20:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,894	26	11	637,0524
32	12-01-2017	13:30:09	56	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,876	25	11	608,7662
33	12-01-2017	13:40:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,887	27	11	654,27
34	12-01-2017	13:50:09	55	00:10:00	00:00:00	22,0 g	10,899	25	11	619,8347

Figura 5.7- Registo da produção

5.2. Sensor de peso das Pré-formas

De forma a evitar o erro humano, o sistema implementado na Unidade de produção do Barreiro tem como objetivo verificar se o operador está a colocar na máquina as pré-formas corretas, consoante o tipo de garrafa/referência que se está a produzir.

O sistema de deteção do peso dos contentores vem na sequência de enganos sucessivos por parte de um operador, que colocou pré-formas erradas na tremonha da máquina. Este engano levou à mistura de dois tipos de pré-formas, que por sua vez originou um elevado tempo de paragem e consequente reclamação do cliente.

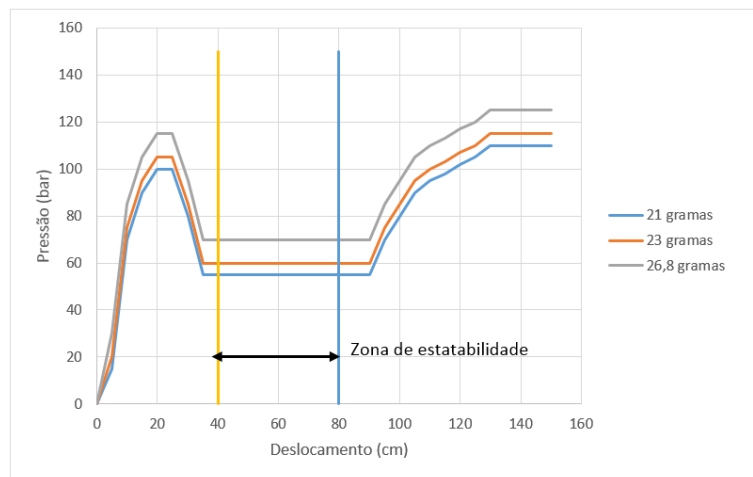


Figura 5.8- Pressão hidráulica em função do curso na subida

O princípio de funcionamento baseia-se na informação da pressão do sistema hidráulico da plataforma de elevação da máquina. A pressão do sistema hidráulico aumenta de uma forma proporcional com o peso a levantar, o que permite estimar o peso dos contentores dos 3 tipos de pré-formas que podem ser inseridos nestas máquinas (21, 23 e 26.8 gramas). A pressão hidráulica durante a subida varia em função do curso do cilindro, mas atinge uma zona de estabilidade onde é feita a medição, conforme ilustra a Figura 5.8.

Recorrendo ao autómato *Siemens 1211*, foi elaborado um programa que permite recolher a informação proveniente do sensor de pressão ao longo da subida do contentor. Durante “x” segundos, o autómato recolhe “n” números de amostras, correspondente à fase de estabilização.

Estes valores de amostragem são internamente processados pelo autómato e é realizada uma média dos mesmos e comparada com valores médios. Se o valor médio estiver fora do intervalo pré-definido será acionado um alarme.

Internamente a média do peso dos contentores vai-se alterando, de forma a ir se ajustando ao longo do tempo face ao desgaste do sensor e do sistema hidráulico. Para isso, é utilizada uma função denominada de *FIFO* (*first-in-first-out*)[23], que guarda dez médias não rejeitadas da pressão de subida e faz uma média do conjunto das dez médias e toma essa como a média de referência, o que faz com que a média seja sempre flutuante, conforme é exemplificado Figura 5.9



Figura 5.9- Funcionamento do *FIFO*

A manipulação deste equipamento é bastante simples; o operador só tem que selecionar a pré-forma que está a produzir através de seletor posicionado no quadro do equipamento. Se porventura o alarme for acionado o operador terá de baixar o contentor e desativar o alarme no botão “Reset”.

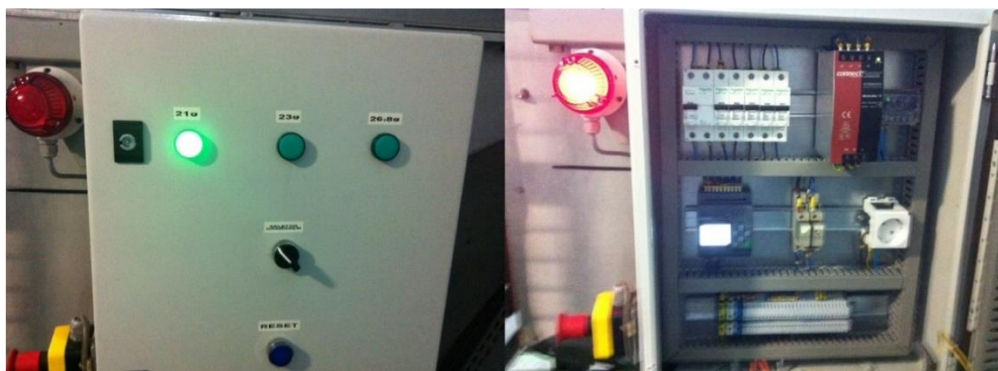


Figura 5.10- Quadro elétrico

5.3. Reprogramação do Moinho de matéria

Este projeto teve como base reduzir o consumo energético desnecessário, fazendo com que o equipamento apenas trabalhe quando solicitado, para isso foi estudado o seu circuito elétrico. Foi possível aceder ao autómato (*Siemens Logo!*) da máquina e foi alterada a sua programação, para que apenas trabalhe uma pré-determinada quantidade de tempo

(função temporizada) e, desta forma, reduzir o consumo energético deste equipamento, calculado através da equação (9).

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times U_{Linea} \times I_{Linea} \times \cos\phi \quad (9)$$

Sendo o maior consumidor desta máquina o seu motor de 11 kW de potência, foi necessário conhecer o consumo em vazio e em carga, de forma a quantificar a poupança obtida. Como tal, foi considerado que o moinho trabalhava 5 dias por semana, a 22 horas por dia, e que apenas 2 horas trabalhava em carga. Através de um analisador de energia foi realizada uma medição com e sem necessidade de triturar material de forma a analisar a corrente consumida nos diferentes regimes de trabalho. O cálculo teórico, com as medições feitas e as considerações ilustradas na Tabela 5.1, representa uma poupança anual de 30769 kWh.

	Funcionamento em vazio	Funcionamento em carga
I (A)	9,5	10,8
U (V)	400	400
Cos(phi)	0,85	0,85
P (W)	5594,524108	6360,090565
horas	22	2
Dias	5	5
Semanas	50	50
Consumo Anual kW/h	30770	3180
Consumo total anual kW/h		33950
Consumo total anual após modificação kW/h		3180
Poupança teórica kW/h		30770

Tabela 5.1- Resultados obtidos da alteração do moinho de matéria prima

Além dos cálculos apresentados terem sido validados pelo responsável do Departamento de Eficiência Energética do cliente, outra forma de comprovar que esta modificação estava e está a ter impacto sobre os consumos energéticos é analisando o indicador *kWh/mil unidades* da zona onde consta este moinho. A evolução deste indicador está apresentada na Figura 5.11.

ELECTRICIDAD LOGOPLASTE MOLINOS				IDEn21	kWh/mil ud	1,35	3%	1,40	-	-	30%
w20	w21	w22	w23	w24	w25	w26	w27				
1,44	1,50	1,46	1,31	1,26	1,17	1,26	1,18				
3%	7%	5%	-6%	-10%	-16%	-10%	-15%				

Figura 5.11- Excerto da tabela de análise Lactalis-Logoplaste, da zona dos Moinhos

A implementação foi efetuada entre a semana 23 e 24 e é possível verificar que o indicador de consumo energético, face às semanas anteriores encontra-se abaixo do objetivo anual estabelecido, com valor de 1.35 kWh/mil unidades.

À semelhança da alteração feita no moinho, foi implementado um controlador Lógico *Siemens Logo!* no moinho que tritura as tampas produzidas por injeção. Outras funcionalidades foram adicionadas, tais como, um temporizador que contabiliza as horas de trabalho do moinho. Esta informação poderá ser útil para tarefas de manutenção preventivas.

Novamente o equipamento foi medido, para conhecer o impacto a nível energético desta alteração e, através dos cálculos na equação (9), chegou-se a um ganho de 22045 kWh por ano, conforme demonstrado na Tabela 5.2.

	Moínho		Sem fim	
	Funcioanamento em vazio	Funcioanamento em carga	Funcioanamento em vazio	Funcioanamento em carga
I (A)	5,8	6,3	1	1
U (V)	400	400	400	400
Cos(phi)	0,83	0,83	0,72	0,72
P (W)	3335	3623	499	499
horas	23	1	23	1
Dias	5	5	5	5
Semanas	50	50	50	50
Consumo anual kW/h	19178	906	2868	125
Consumo total anual KW/h			23076	
Consumo total anual após modificação kW/h			1030	
Poupança teórica kW/h			22046	

Tabela 5.2- Resultados obtidos da alteração do moinho das tampas

6. Conclusões e trabalho Futuro

6.1. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi estudar e acompanhar os processos de estiramento sopro, extrusão sopro e injeção, demonstrando cada tecnologia face à particularidade da produção de embalagens rígidas de plástico da empresa *Logoplaste*.

Através da oportunidade de vivenciar as actividades do dia-a-dia, de várias unidades de produção da empresa, foi possível adquirir bastante conhecimento de cada um dos processos de produção já atrás referidos e desenvolvidos. A maioria do estudo e informação aqui apresentada é resumida do acompanhamento dos trabalhos, tanto de produção como de manutenção, executados ao longo do circuito produtivo de uma UP. Os aspectos produtivos, no que toca ao ajuste de processo e comportamento da máquina face aos parâmetros introduzidos com o combinar do conhecimento de máquina com quem trabalha na sua manutenção, foi sem dúvida uma mais valia para o entendimento dos conceitos enunciados neste trabalho. Em consonância com os aspectos práticos retidos no decorrer do estágio, foi aprofundado o conhecimento sobre cada processo através de literatura disponível e formações provenientes da *Logoplaste*, que tornaram possível atingir um nível de detalhe superior a aquele com que se é confrontado no chão de fábrica.

Na descrição de cada processo, creio que foi possível dar a entender o funcionamento geral da cada tecnologia, com o intuito de dar a conhecer a cada leitor uma noção bastante abrangente e, ao mesmo tempo, algumas especificidades de cada processo de fabrico, que apesar de darem origem a produtos, que são tomados como garantidos diariamente, são bastante complexos e requerem atenção para que diariamente possamos utilizar a banal “garrafa” de água ou de iogurte, por exemplo.

6.2. Trabalho Futuro

Já com algumas bases bem consolidadas de cada processo, o passo seguinte seria investigar nuances no processo de fabrico que possam tornar as embalagens mais eficientes nos seguintes pontos:

- Redução de material de cada embalagem através da optimização de geometrias, em que o fundo das embalagens desempenha um aspecto fulcral.

- Comprovar a temperatura de extração da pré-forma, face ao tempo de compactação e tempo de arrefecimento.
- Estudar a influência dos parâmetros de injeção face às propriedades mecânicas finais de embalagens, nomeadamente teste de compressão (Top load Test).
- Validar qual a melhor geometria para os canais de arrefecimento dos moldes de extrusão-sopro.

Bibliografia

- [1] M. Connaughton and L. Finley, “Population growth debate.” 2016.
- [2] Jornal Oficial das Comunidades Europeias, “Regulamento (UE) N° 10/2011 da Comissão,” *J. Of. da União Eur.*, vol. L, no. 12, pp. 1–89, 2011.
- [3] Marketline, “Containers & Packaging Industry Profile: Europe. (cover story).” p. 1, 2014.
- [4] V. Vessella, “Packaging Considerations for the Food Industry.” [Online]. Available: <https://www.repsly.com/blog/packaging-considerations-for-the-food-industry>. [Accessed: 26-Jul-2016].
- [5] L. Amaral, S. Silva, and D. Duarte, “TRAINEES IBERIA, Stretch Blow Molding,” Cascais, 2016.
- [6] Logoplaste, “Company Through the Wall.” [Online]. Available: <http://www.logoplaste.com/en/base/1/1/throughthewall>. [Accessed: 18-Jun-2017].
- [7] Ottmar Brandau, “Ten Tips to Slash Cycles in PET Preform Molding : Plastics Technology,” *Plast. Technol.*, 2015.
- [8] “Injection Stretch Blow | NuGen Packaging.” [Online]. Available: <https://nugenpackaging.com/injection-stretch-blow-molding/>. [Accessed: 02-May-2017].
- [9] SIPA, *Training Manual SFL 1st Level*. 2008.
- [10] O. Brandau, *Stretch blow molding*. William Andrew, 2012.
- [11] A. Rajabi Khorrami and E. Narouenezhad, “Synthesis of molecularly imprinted monolithic fibers for solid-phase microextraction of acetaldehyde from head-space of beverages stored in PET bottles,” *Talanta*, vol. 86, pp. 58–63, Oct. 2011.
- [12] Sidel Blowing & Coating Division, *SBO série 2+ 10/12/14 Manual Apresentação*, vol. 33, no. 0. 2003.
- [13] Logoplaste Inovation Lab, “Summary for Policymakers,” in *Pet Training*, 2016, pp. 1–216.

- [14] Sidel Blowing & Coating Division, *Manual SBO Universal*, vol. 33, no. 0. 2007.
- [15] O. Brandau, “Solving Four Common Problems in PET Stretch-Blow Molding :
Plastics Technology,” 2016.
- [16] D. V. Rosato and D. V. Rosate, *Blow Molding Handbook*. Oxford University Press,
1989.
- [17] Savillex, “Stretch Blow Molding,” 2016. [Online]. Available:
http://www.savillex.com/Content.aspx?PageName=Stretch_Blow_Molding&DisplayCategory=Packaging. [Accessed: 02-Aug-2016].
- [18] J. Ferrer, “Factory Profile Logoplaste Guadalajara,” 2014.
- [19] C. W. Macminn and G. H. Mckinley, “Tubeless Siphon and Die Swell
Demonstration,” 2004.
- [20] H. Young and R. Freedman, *University Physics with Modern Physics*. 2007.
- [21] L. Xie, L. Shen, and B. Jiang, *Modelling and Simulation for Micro Injection
Molding Process*. 2011.
- [22] “Ten Tips to Slash Cycles in PET Preform Molding : Plastics Technology.” .
- [23] “FIFO – Wikipédia, a enciclopédia livre.” [Online]. Available:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/FIFO>. [Accessed: 26-Jun-2017].
- [24] V. C. Meireles, *Circuitos eléctricos*, 8^a ed. Porto: Lidel, 2012.