

# **Extrusão de poliolefinas: melhoria contínua do processo**

**Simão Carvalho Duarte Pacheco**  
(Versão corrigida pós-defesa)

Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em  
**Química Industrial**  
(2º Ciclo de Estudos)

Orientador: Prof. Doutor Ana Paula Nunes de Almeida Alves da Costa

**dezembro 2024**



## **Declaração de Integridade**

Eu, Simão Carvalho Duarte Pacheco, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M12944 do 2ª Ciclo em Química Industrial da Faculdade de Ciências, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 18/12 /2024

*Simão Carvalho Duarte Pacheco*



## **Dedicatória**

Dedico esta tese aos meus queridos avós paternos, Eugénia e António, que já não estão entre nós. Agradeço por todo o amor, sabedoria e valores que me transmitiram ao longo da vida. As suas lembranças continuam a inspirar-me todos os dias e sua presença permanece viva em meu coração. Este trabalho é uma homenagem ao legado que deixaram e à influência positiva que tiveram em minha formação. Que este seja um pequeno tributo ao impacto duradouro que tiveram em minha vida.



# Agradecimentos

A conclusão desta tese não teria sido possível sem o apoio e a contribuição de muitas pessoas e instituições. Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos os que me ajudaram ao longo desta jornada.

Primeiramente, agradeço à empresa ACI por fornecer os recursos e o suporte indispensáveis para a realização desta pesquisa. Em especial, gostaria de agradecer a todo o departamento de investigação e desenvolvimento, incluindo Ana Galvão, Susana Pinheiro, Patrícia Santos, Danilo Pereira, Hernâni Marques e Abílio Vieira, por sua ajuda na execução deste trabalho. Agradeço também ao Excelentíssimo João Monteiro, do departamento de I&D, por me ensinar sobre o funcionamento dos equipamentos, permitindo-me compreender melhor as atividades da empresa. Agradeço ainda a todos os funcionários dos setores de manutenção, logística, recursos humanos, produção e à direção da ACI.

Em segundo lugar, expresso minha gratidão ao Doutor Jorge Filipe, meu orientador na ACI, que me proporcionou a oportunidade de realizar este estágio. A sua orientação valiosa, paciência e conhecimento foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Gostaria de estender o meu agradecimento ao Engenheiro Luís Poço por ter partilhado a sua experiência e se ter disponibilizado para mim. O seu contributo foi fundamental para que este trabalho incluísse os registos mais específicos sobre o tema.

Agradeço também aos membros do corpo docente da Universidade da Beira Interior pelo ensino inspirador e pelas oportunidades que me proporcionaram para a realização deste projeto. Em particular, gostaria de mencionar a Professora Ana Lopes pelo seu apoio e assistência em relação a este trabalho, e especialmente a Professora Maria José Pacheco, por me conceder a oportunidade de realizar esta pesquisa.

Não posso deixar de expressar um grande agradecimento à minha orientadora, a Professora Ana Paula, pela sua disponibilidade, paciência e apoio ao longo deste percurso.

Sou profundamente grato aos meus colegas do curso de Química Industrial, tanto do mestrado quanto da licenciatura, e especialmente aos meus amigos que estiveram ao

meu lado nos momentos mais felizes e difíceis, oferecendo conselhos valiosos que levarei sempre comigo.

À minha família, pelo amor incondicional e apoio constante. Agradeço aos meus pais, irmãos, avós e a toda a família que sempre acreditou em mim e me incentivou a perseguir meus sonhos. A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero obrigado. Esta tese é tanto minha quanto vossa.





## **Resumo**

Dada a importância económica e social da indústria de cabelagem para automóveis, a busca contínua por melhorias nas diversas técnicas de processamento de polímeros, é de primordial importância prática. Este trabalho, resultante da realização do estágio na empresa *Automotive Compounding Industry*, evidencia um estudo realizado às frequentes paragens ocorridas numa linha de extrusão de poliolefinas, designada por linha B. Neste estágio procuram-se métodos e alternativas para promover um menor tempo de *set up* e uma redução de desperdício frequente nessa linha. Ao longo deste trabalho, são evidenciadas diferentes metodologias utilizadas pela empresa, sendo que, a partir delas foi possível realizar um estudo sobre a linha B, de modo a avaliar, se a linha funcionava nas melhores condições. Para além disso, estudaram-se diferentes mudanças de materiais poliméricos, de formar a verificar os tempos entre o aparecimento e desaparecimento da purga (causa de desperdício) e as suas quantidades, assim como, o seu impacto no número de paragens. A partir deste estudo, foi implementado na empresa, uma melhoria na linha do processo de extrusão, de modo a promover uma relação de qualidade/custo no produto final otimizada.

## **Palavras-chave**

Extrusão; Melhoria Contínua; Otimização; Poliolefinas; Processamento de Polímeros.



# **Abstract**

Given the economic and social importance of the automotive hairdressing industry, the continuous search for improvements in the various polymer processing techniques is of paramount practical importance. This work, which is the result of an internship at the Automotive Compounding Industry company, shows a study carried out into the frequent stoppages that occur on a polyolefin extrusion line, known as line B. In this internship, methods and alternatives are sought to promote a shorter set-up time and a reduction in frequent waste on this line. Throughout this work, different methodologies used by the company are highlighted, and from them it was possible to carry out a study on line B, in order to assess whether the line was working under the best conditions. In addition, different changes of polymeric materials were studied in order to check the times between the appearance and disappearance of the purge (cause of waste) and their quantities, as well as their impact on the number of stops. Based on this study, the company implemented an improvement to the extrusion process line in order to promote an optimised quality/cost ratio in the final product.

# **Keywords**

Extrusion; Continuous Improvement; Optimisation; Polyolefins; Polymer Processing.



# Índice

1.	Enquadramento do estágio na empresa ACI	1
1.1	Objetivo	2
2.	Compostos poliméricos	3
2.1	Introdução	3
2.2	Polímeros	4
2.3	Aditivos	7
2.3.1	Plastificantes	7
2.3.2	Estabilizantes	7
2.3.3	Corantes	9
2.3.4	Cargas	9
3.	Aditivação de polímeros	13
4.	Melhoria contínua do processo (PDCA)	25
4.1	Conceito de <i>Kaizen</i>	26
4.2	Conceito de <i>Lean</i>	27
4.3	Conceito de Seis Sigma	27
5.	Indicadores para promover a melhoria contínua	29
5.1	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE)	29
5.2	Disponibilidade	29
5.3	Eficiência	30
5.4	<i>First Time Quality</i> (FTQ)	31
5.5	Tempo não Produtivo (TNP)	32
6.	Ferramentas de Qualidade	35
6.1	Quatro ferramentas base	35
6.1.1	Folhas de registo	37
6.1.2	Diagrama de Pareto	37
6.1.3	Diagrama de espinha de peixe	37
6.1.4	Diagrama de correlação	38
6.2	Outras ferramentas para o trabalho de equipa	39
6.2.1	<i>Brainstorming</i>	39
6.2.2	Diagrama de afinidades	40
6.2.3	Diagrama de forças/fraquezas	40
6.2.4	Os 5 Porquês	41
6.3	Implementação de uma metodologia de resolução de problemas	41

7 Caso de estudo	43
7.1 Benefícios	43
7.1.1 Folha de Obra- Manutenção	44
7.1.2 <i>Checklist</i> de Set up	47
7.2 <i>Set-up</i> da linha B	49
7.2.1 Diagrama de espinha de peixe	51
7.2.2 Diagrama de afinidade	52
7.2.2 Diagrama de afinidade	52
7.2.3 Aplicação dos 5 Porquês	54
7.3 Densidade aparente	57
7.3.1 Diagrama de Pareto	59
7.3.2 Diagrama de <i>Set ups</i> detalhado	65
7.4 Análise das diferentes hipóteses para redução do tempo de set up	71
7.5 Melhoria contínua – Válvula em forma de T	72
7.5.1 Custo associado a válvula	73
7.5.2 Alterações verificadas nas mudanças de referência	74
8 Conclusões	81
Referências bibliográficas	83





# Lista de Figuras

Figura 1: Empresa <i>Automotive Compounding Industry-ACI</i>	1
Figura 2: Importância da transformação e da composição dos plásticos (estimativa)	4
Figura 3: Classificação de polímeros pela sua origem	4
Figura 4: Produção mundial de polímeros qualitativa.	5
Figura 5: Pirâmide clássica com representação qualitativa de preço e características (por exemplo, temperaturas operacionais) e volume de produção	6
Figura 6: Dano de um polímero fundido devido à temperatura-tempo	6
Figura 7: Degradação do polietileno	9
Figura 8: Fluxograma do processo de aditivação	13
Figura 9: Misturadores horizontais	14
Figura 10: Tecnologia de transporte	14
Figura 11: Funcionamento do dosificador	15
Figura 12: Variáveis de perturbação e condições do processo	15
Figura 13: Exemplo de instalação do doseamento gravimétrico	16
Figura 14: Extrusora de <i>compounding</i> com etapas usuais convencionais	16
Figura 15: Tipos de extrusoras	17
Figura 16: Movimento de rotação na extrusora de composição	18
Figura 17: Meias conchas para instalação nos módulos de barril	18
Figura 18: Elementos constituintes do fuso de extrusão	18
Figura 19: Elementos de transporte	19
Figura 20: Elementos de amassadura	19
Figura 21: Combinação de anéis de restrição	20
Figura 22: Secção de combinações de elementos das séries	20
Figura 23: Cavilhas de amassar e pinos de amassar	21
Figura 24: Equipamento de <i>downstream</i>	21
Figura 25: Tipos de malhas	22
Figura 26: Válvula de purga	23
Figura 27: Fluxograma de PDCA	25
Figura 28: Fluxograma dos conceitos de <i>Kaizen</i> , <i>Lean</i> e Seis Sigma	26
Figura 29: As seis etapas do Seis Sigma	28
Figura 30: Cálculo do OEE	29

Figura 31: Cálculo da disponibilidade	30
Figura 32: Cálculo da eficiência	31
Figura 33: Cálculo do <i>First Time Quality</i>	32
Figura 34: Cálculo do TNP	32
Figura 35: Cinco tipos de correlação	38
Figura 36: Desenvolvimento de uma etapa de resolução de problemas	41
Figura 37: Folha de registo da linha B	46
Figura 38: Checklist de <i>Set up</i>	47
Figura 39: Checklist dos <i>Set up</i> (continuação)	48
Figura 40: Diagrama de espinha de peixe da linha B	52
Figura 41: Diagrama de afinidade da linha B	52
Figura 42: Diagrama de forças/fraquezas da linha B	53
Figura 43: Dosificadores gravimétricos	56
Figura 44: Densidade aparente das referências 1 e 2	57
Figura 45: Diagrama de Pareto da linha B do mês de fevereiro de 2024	59
Figura 46: Valores dos indicadores da empresa ACI	60
Figura 47: Valores dos indicadores de acordo com os valores teóricos	60
Figura 48: Determinação do tempo programado, das paragens planeadas e das paragens de produção total	61
Figura 49: Determinação da disponibilidade que a máquina de extrusão não esteve disponível	61
Figura 50: Válvula em forma de T	73





# Lista de Tabelas

Tabela 1: Comparação do desempenho de diferentes meios filtrantes.	22
Tabela 2: Condições para uma peletização a frio e a quente	24
Tabela 3: Funções e ferramentas associadas.	37
Tabela 4: Tempo/ Paragens da linha B	49
Tabela 5: Paragens da produção.	50
Tabela 6: Fatores avaliados na linha B	50
Tabela 7: Produções finais da linha B	51
Tabela 8: Aspectos sobre a quebra da caixa redutora	55
Tabela 9: Determinação do desperdício da linha B no mês de fevereiro de 2024	63
Tabela 10: Determinação da Quantidade de Produtos Bons no mês de fevereiro de 2024	63
Tabela 11: Determinação do OEE da linha B no mês de fevereiro de 2024	64
Tabela 12: Esquema detalhado do <i>Set up</i> da linha B.	65
Tabela 13: Número de paragens por <i>Set up</i> da linha B	65
Tabela 14: Valores indicativos relativos a custos associados a purga e ao material não conforme.	66
Tabela 15: Mudança de referência da linha B.	67
Tabela 16: Mudança de referência da linha B.	68
Tabela 17: Mudança direta referência de PE3C2 para PE4C1.	69
Tabela 18: Mudança de referência de PPH4 para PE5C5.	70
Tabela 19: Mudança de PPH2 para PPH3 após a implementação da válvula em forma de T.	74
Tabela 20: Mudança de PE1C4 para PE2C3 após a implementação da válvula em forma de T.	75
Tabela 21: Mudança de PE3C2 para PE4C1 após a implementação da válvula em forma de T.	76
Tabela 22: Mudança de PPH4 para PE5C5 após a implementação da válvula em forma de T.	76
Tabela 23: Alterações verificadas antes e depois da introdução da válvula da referência PPH2 para PPH3.	77
Tabela 24: Alterações verificadas antes e depois da introdução da válvula da referência PE1C4 para PE2C3.	78
Tabela 25: Alterações verificadas antes e depois da introdução da válvula da referência PE3C2 para PE4C1.	78
Tabela 26: Alterações verificadas antes e depois da introdução da válvula da referência PPH4 para PE5C5.	79

...



# Lista de Equações

Equação 1	57
Equação 2	61
Equação 3	61
Equação 4	61
Equação 5	62
Equação 6	62
Equação 7	62
Equação 8	62
Equação 9	63
Equação 10	64



## Lista de Acrónimos

ACI	Automotive Compounding Industry
ATH	Alumina Tri-Hidratada
BHA	Butil HidroxiAnisol
BHT	ButilHidroxiTolueno
DBPDA	N,N´ -Di-Butil-P-fenilenoDiAmina
DEPD	N,N´ -DiEtil-P-fenilenoDiamina
DEPF	DiEtil Fosfito
DLTDP	Dodeciltioéster de TioDiPorpionato
FTQ	<i>First Time Quality</i>
IATF	<i>International Automotive Task Force</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
Mg(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Magnésio
MDH	Monóxido de Di-Hidrogénio
ODTDP	OctaDecilTioéster de tioDiPropionato
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PE	Polietileno
PO	Polioléfinas
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de Vinilo
ROI	Retorno sobre o Investimento
SS	<i>Six Sigma</i>
TNP	Tempo Não Produtivo
TPP	TriFenil Fosfito
GRP	Gabinete de Relações Públicas
UBI	Universidade da Beira Interior



# 1 Enquadramento do Estágio na empresa ACI

Este trabalho descreve, como base no plano de estágio industrial (Anexo 1) a prática da melhoria contínua efetuada na empresa *Automotive Compounding Industry* (ACI – ver Figura 1), localizada na zona industrial da Guarda.



**Figura 1:** Empresa *Automotive Compounding Industry*-ACI.

A empresa ACI faz parte do Grupo Espanhol da região da Rioja *Perplastic*, constituído em setembro de 1986 por um grupo familiar, tendo iniciado a sua atividade em janeiro de 1987 com uma linha de extrusão de policloreto de vinilo (PVC). Atualmente com fábricas em 4 continentes (Europa, América Central, Ásia e África), sendo a sua principal atividade a produção e venda de revestimentos para sistemas automóveis a partir de compostos de PVC, de poliolefinas, nomeadamente polipropileno (PP) e polietileno (PE) e silicone. A empresa ACI – *Automotive Compounding Industry, Lda* constitui-se em 21 de janeiro de 2011 com o objetivo de produzir compostos poliméricos sob a forma granulada, destinados ao revestimento de fios e cabos elétricos para o setor automóvel. Apresenta-se há mais de 10 anos como uma empresa de referência a nível mundial e atualmente produz várias referências de compostos poliméricos usados em diferentes aplicações de acordo com as suas propriedades, nomeadamente os PVCs de classe de temperatura T2 (-40°C a 105°C) e classe de temperatura T3 (-40°C a 125°C); o PP de classe de temperatura T3 (-40°C a 125°C); os PEs de classe de temperatura T3 (-40°C a 125°C) e classe de temperatura T4 (-40°C a 150°C); e o silicone de classe de temperatura T5/T6 (-40°C a 180°C/200°C). A ACI tem 120 trabalhadores e apresenta um capital social avaliado em 555 000,00 € cujo volume de negócios foi de 71 442 101 € no ano de 2023 segundo dados de [1]. A organização apresentou um resultado líquido de 5 475 380 € e um valor de exportação total no valor de 45 508 190 € [1].

Nesta empresa promovem-se dinâmicas de trabalho integradas, com perspetivas e visões diferentes e complementares de forma a aumentar a capacidade de se posicionar competitivamente no mundo global. Nesta organização são asseguradas iguais oportunidades de emprego a mulheres e a homens na contratação e a remuneração para mulheres e homens é realizada em função das suas competências. A ACI está certificada de acordo com três referenciais normativos para obter um produto de qualidade, no qual o impacto ambiental é um dos parâmetros essenciais a ter em conta na inovação e desenvolvimento de novos produtos. As normas aplicadas são a NP 4457 (Certificação de sistemas de gestão investigação, desenvolvimento e inovação), a ISO 9001:2015 (Certificação de Sistemas de gestão da qualidade) e a ISO 14001 (Certificação de Sistema de gestão ambiental). Uma das grandes preocupações da empresa ACI é a sustentabilidade dos seus produtos devido ao facto desta apresentar uma certificação IATF 16949 nos serviços centrais remoto como R&D, Compras e Finanças.

## **1.1 Objetivo**

Estudar e avaliar o processo produtivo da linha de extrusão das poliolefinas (PO) da empresa ACI, de modo a sugerir alterações, tendo como objetivo principal reduzir o número de defeitos e atingir os parâmetros de melhoria contínua estabelecidos.

Sendo assim os objetivos pretendidos para este trabalho são os seguintes:

- Realizar um estudo na linha B de modo a perceber onde ocorreu um maior número de paragens
- Redução do desperdício da purga e do tempo de *set-up* no processo de extrusão
- Reutilização do material não conforme e da purga no processo de extrusão de modo a implementar a melhoria contínua.

## 2 Compostos poliméricos

### 2.1 Introdução

A produção de compostos poliméricos é uma importante atividade industrial que converte matérias-primas em produtos úteis, principalmente para aplicações em várias áreas como embalagens, construção civil, mobilidade, elétrica e setor automóvel, entre outras. Em 2019, mais de 55 000 empresas europeias empregavam mais de 1,5 milhões de pessoas e converteram aproximadamente 50,7 Mt de materiais poliméricos [2].

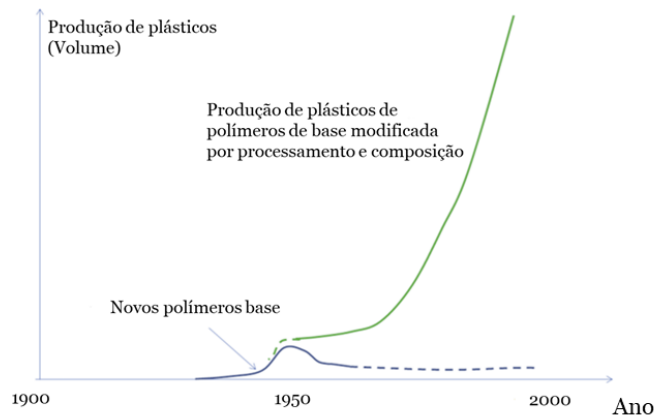
A incorporação de aditivos num polímero ou plástico/borracha é chamada de composição (*compounding*). Os aditivos são normalmente adicionados em quantidade que podem representar até 90% da massa de composto [3]. Pode-se, portanto, afirmar que através do processo de *compounding*, um polímero torna-se um plástico. A aditivação do polímero é importante por duas razões [3,4]. A primeira deve-se ao facto de alguns aditivos serem necessários para a alteração das propriedades do material, nomeadamente para tornar o material mais barato ou mesmo mais flexível ou rígido [5]. A segunda razão está relacionada com a estabilidade do material durante o serviço ou mesmo no processamento deste. Sendo assim os polímeros são classificados em duas categorias [5]:

- Aditivos protetores: estabilizantes, lubrificantes e antioxidantes;
- Aditivos modificadores: os demais.

O *compounding* de polímeros termoplástico envolve a combinação de polímeros com aditivos sendo que este processo pode ser efetuado em extrusoras de fuso único ou extrusoras de duplo fuso.

Os compostos obtidos serão posteriormente transformados em produtos finais através de técnicas convencionais de processamento de polímeros tais como: injeção, extrusão, termoformação, sopro e rotomoldagens [8].

Ao longo dos anos, houve um grande avanço no desenvolvimento do processo de *compounding*, que atualmente é o principal método utilizado para criar novos produtos a partir de polímeros [6]. Apesar disso, pesquisas sobre novos polímeros continuam em curso, e a Figura 2 mostra essa evolução, destacando a relação entre os anos e o volume de produção e desempenho deste tipo de materiais [6].

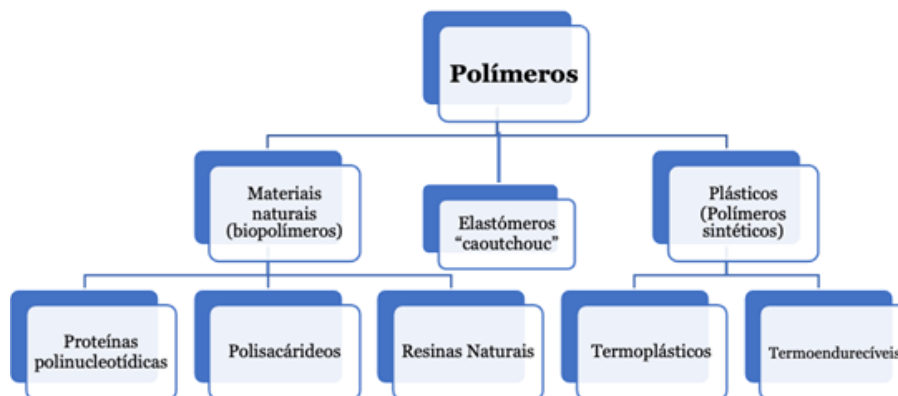


**Figura 2:** Importância da transformação e da composição dos plásticos (estimativa) (Adaptado de [7]).

## 2.2 Polímeros

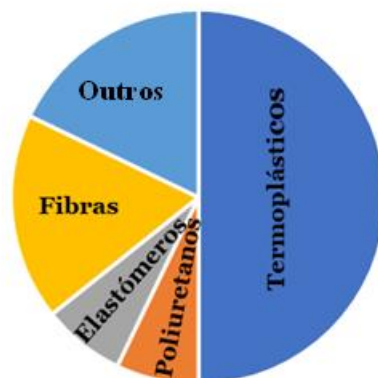
O termo "polímero" tem raiz na palavra grega "*poly-mer*" que significa "muitas partes". Polímeros são macromoléculas compostas de monómeros repetidos unidos entre si por ligações covalentes. Mesmo que essas moléculas sejam eletricamente neutras e apresentem ligações secundárias, os polímeros ainda podem ser muito flexíveis e possuem baixa densidade [8].

Os polímeros estão presentes em diversas áreas, como por exemplo, na eletrônica, na indústria automível, nas máquinas e equipamentos, na construção civil, nas embalagens e utilidades domésticas, entre outras [8]. Os polímeros podem ser classificados de várias formas sendo que uma das mais utilizadas é quanto a sua natureza. Assim estes podem ser divididos em naturais e sintéticos, dividindo-se nas diferentes classes representadas na Figura 3 [8].



**Figura 3:** Classificação de polímeros pela sua origem (Adaptado de [9]).

Existe uma grande diversidade de polímeros que são classificados consoante as suas características físicas e químicas. Os polímeros podem ser naturais, como por exemplo as proteínas, os polissacarídeos e o látex. Entre os sintéticos, que são produzidos pelo homem, podemos distinguir entre termoendurecíveis e termoplásticos.



**Figura 4:** Produção mundial de polímeros qualitativa.  
Legenda: Termoplásticos 50%, Fibras 17%, Elastómeros 8%, Poliuretanos 8% e outros 17%  
(Adaptado de [10]).

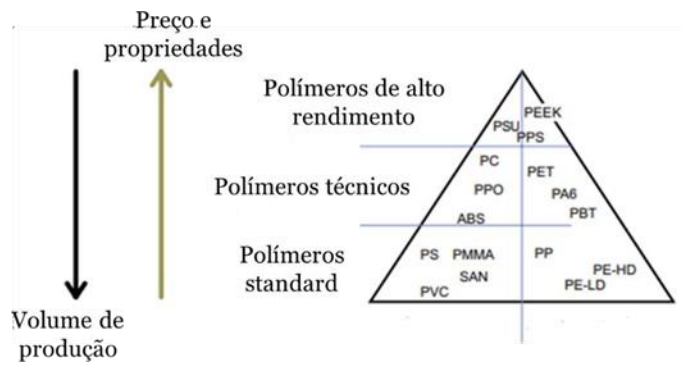
Para enfatizar a importância económica dos compostos para termoplásticos, a Figura 4 mostra a produção mundial de plásticos. Os termoplásticos representam atualmente cerca de 50% da produção mundial dos polímeros, são frequentemente usados não apenas devido ao preço, mas também pelo perfil de aplicação [10].

### **Polímeros sintéticos**

Os termoplásticos são polímeros formados por cadeias poliméricas lineares ou ligeiramente ramificadas, unidas por forças de atração intermoleculares relativamente fracas (como interações de *Van der Waals* ou ligações de hidrogénio) [11]. Alguns exemplos comuns são o polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), PVC, entre outros [11].

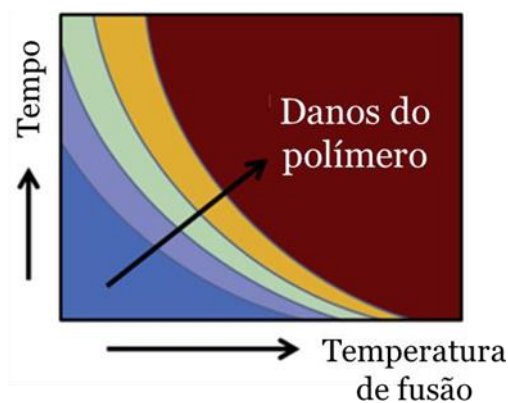
Os termoendurecíveis são formados por cadeias poliméricas interligadas por ligações químicas covalentes, formando uma rede tridimensional [8]. Alguns exemplos comuns são as resinas epóxi, poliuretanos, banquelite, resinas fenólicas e poliésteres insaturados

Figura 5 mostra um exemplo de uma pirâmide clássica com alguns termoplásticos divididos pela procura.



**Figura 5:** Pirâmide clássica com representação qualitativa de preço e características (por exemplo, temperaturas operacionais) e volume de produção (Adaptado de [12]).

Durante a composição/adição de polímeros é necessário ter em conta as temperaturas de processamento e tempo de residência de forma a evitar a degradação do polímero [13]. A Figura 6 mostra uma relação esquemática entre temperatura-tempo.



**Figura 6:** Dano de um polímero fundido devido à temperatura-tempo (Adaptado de [12]).

No revestimento dos cabos é comum a utilização de polímeros como o PE, PP e PVC em virtude das suas propriedades mecânicas, as quais agilizam a prática da sua instalação e do seu uso, mais concretamente a sua flexibilidade e a sua elevada resistividade elétrica que permitem isolar a corrente elétrica conduzida no material metálico [3].

## 2.3 Aditivos

Na tecnologia dos plásticos, são considerados aditivos aqueles produtos que podem ser adicionados durante a produção ou o processamento, de modo a melhorar ou atingir determinadas propriedades. Nos polímeros, os aditivos são utilizados para obter efeitos na produção ou após processamento do produto [14].

A quantidade de aditivos utilizada é normalmente adaptada especificamente à respectiva aplicação.

Os aditivos são utilizados, por exemplo, para evitar a degradação das cadeias poliméricas causada pela oxidação, como antioxidantes no polímero durante a produção, como estabilizantes, auxiliares de processamento, agentes anti estáticos, corantes, branqueadores óticos, retardantes de chama, promotores de adesão, antimicrobianos e para inúmeras outras tarefas para as quais os aditivos podem ser considerados [14].

Por exemplo, os agentes anti estáticos nos plásticos tendem a ser incompatíveis, por outro lado, os auxiliares de processamento nos plásticos devem ser tão compatíveis quanto possível.

### Aditivos Protetores

Os aditivos protetores são substâncias adicionadas aos materiais para protegê-los contra degradações causadas por fatores externos, como luz, calor, oxigênio ou humidade. Alguns exemplos incluem antioxidantes, que previnem a oxidação, e estabilizantes, que protegem contra a radiação ultravioleta.

#### 2.3.1 Estabilizantes

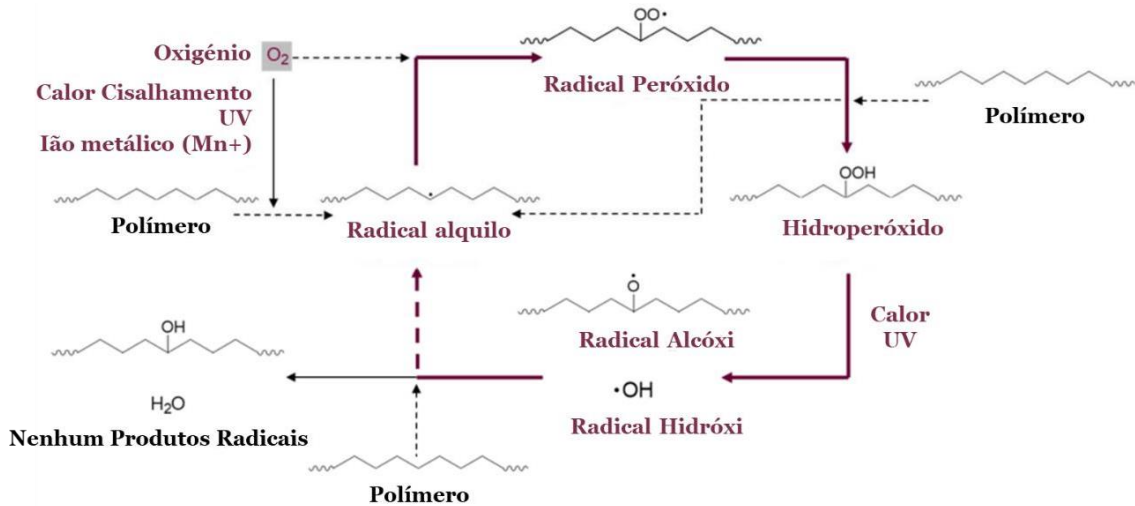
O termo estabilizante é usado para descrever uma ampla gama de compostos químicos que inibem processos degradativos em polímeros, causados por qualquer tipo de processo de iniciação. Dessa forma teremos os antioxidantes, os foto-estabilizantes, os estabilizantes para PVC, os desativadores de metais e os captadores de ácido (ou anti-ácido, que em inglês chama-se "*acid scavenger*").

Os estabilizantes são adicionados as poliolefinas, como o polietileno e o polipropileno para protegê-las contra a degradação térmica e oxidativa durante o processamento e uso. Os antioxidantes primários e secundários são utilizados para esse fim sendo que os antioxidantes primários também denominados de "antioxidantes doadores de hidrogênio", apresentam como função principal a interrupção da propagação da oxidação ao reagirem diretamente com radicais livres, neutralizando-os. Desta forma,

os antioxidantes primários previnem que esses radicais iniciem ou continuem reações de degradação. Alguns exemplos comuns incluem fenóis impedidos e aminofenóis. [16]. No caso dos antioxidantes secundários estes são conhecidos como "antioxidantes preventivos". Eles não atuam diretamente sobre os radicais livres, mas sim sobre os produtos intermediários formados durante a oxidação, como os peróxidos. Assim sendo a sua função é decompor esses peróxidos em substâncias estáveis, retardando o avanço do processo oxidativo. Os fosfitos e tioéteres são alguns exemplos dos antioxidantes secundários mais usados.

## **Antioxidantes**

Os antioxidantes impedem ou minimizam a reação dos polímeros com o oxigênio. O plástico pode descolorir devido à reação com o oxigênio atmosférico e as cadeias de polímeros podem decompor-se ou, ao mesmo tempo, voltar a reticular-se. Isto é evitado pela adição de antioxidantes. Os radicais livres gerados durante a reação podem ser interceptados pelos antioxidantes (terminadores de cadeias de radicais, antioxidantes primários porque interrompem a propagação de oxigênio ao reagirem diretamente com os radicais livres estabilizando-os e prevenindo a formação de novos radicais), ou a sua formação pode ser evitada (desativadores, antioxidantes secundários no qual estes agem decompondo os hidroperóxidos formados durante o processo oxidativo, transformando-os em produtos não reativos, o que retarda a oxidação). Sendo assim podemos incluir neste processo dois tipos de antioxidantes que são utilizados pelas poliolefinas, os antioxidantes primários e os antioxidantes secundários. Assim, os antioxidantes primários mais utilizados são fenóis como é o caso do butil hidroxianisol (BHA) e o butilhidroxitolueno (BHT) e as aminas, como por exemplo, N,N'-di- butil-p-fenilenodiamina (DBPDA) e a N,N'-dietil-p-fenilenodiamina (DEPD) [16]. A nível de antioxidantes secundários temos o caso dos fosfitos, como é o caso do trifenil fosfito (TPP) e o dietil fosfito (DEPF) e os tioésteres, como é o caso dodeciltioéster de tiodipropionato (DLTDP) e o octadeciltioéster de tiodipropionato (ODTDP) [16].



**Figura 7:** Degradação do polietileno.

O polietileno começa a decompor-se devido à presença de locais fracos, tais como grupos insaturados, e os pontos de ramificação reduzem a energia de dissociação das ligações C-C. A degradação do polietileno durante o processamento leva à ramificação e divisão da cadeia como uma reação concorrente. A extensão da degradação é influenciada por uma série de parâmetros, tais como a temperatura de processamento, a disponibilidade de oxigênio e as características moleculares.

## Aditivos modificadores

Os aditivos modificadores são usados para alterar ou melhorar as propriedades do material, como flexibilidade, resistência ou aparência. Alguns exemplos comuns incluem plastificantes, que tornam os materiais mais maleáveis, e corantes, que conferem cor ao produto final que são abordados em seguida.

### 2.3.2 Plastificantes

Um plastificante é utilizado para reduzir a temperatura de transição vítrea, bem como a dureza e a resistência a ruptura de um plástico. A propósito, um plastificante torna os plásticos aos quais é adicionado mais maleáveis e fáceis de trabalhar. É vantajoso utilizar plastificantes que possam ser incorporados no plástico numa base molecular, de modo a poderem melhorar significativamente a mobilidade das cadeias individuais de polímero umas contra as outras (efeito de deslizamento). Por conseguinte, os plastificantes tornam os plásticos mais macios ou moles. Em termos qualitativos, podem ser designados por "lubrificantes internos". Os extensores também melhoram a

capacidade de processamento e são, por isso, também designados por plastificantes secundários. Exemplos de extensores são os óleos epóxicos, os óleos minerais com elevado ponto de ebulição e as parafinas [15]. A nível de plastificantes utilizados no PVC podemos referir-nos aos fetalatos, trimletitados, adipados, sebacatos, entre outros.

### **2.3.3 Corantes**

Os corantes são utilizados para dar cor às matrizes poliméricas. Quase todos os polímeros são incolores na sua forma original. Os corantes são divididos em pigmentos ou tintas (*dyes*) [17]. Define-se pigmento como um sólido finamente dividido que é essencialmente insolúvel no seu meio de aplicação polimérico. Os pigmentos são incorporados por um processo de dispersão no polímero, enquanto este se encontra numa fase líquida, e depois de o polímero solidificar, as partículas de pigmento dispersas são retidas fisicamente na matriz polimérica sólida. Em contraste, as tintas são corantes sintéticos solúveis em resinas plásticas. Devido à sua solubilidade, as tintas são muito fáceis de dispersar. A maioria das tintas utilizadas em termoplásticos tem uma excelente estabilidade ao calor e à luz. As tintas são fortes, brilhantes, transparentes ou translúcidas em cargas mais elevadas. Estes são atributos excelentes. Alguns exemplos de tintas são a antraquinona, as pirazolonas, as quinoftalonas e as quinolininas. As tintas são utilizadas em muitos polímeros de engenharia, incluindo, acrílico, nylon, e estireno [18, 19].

Os pigmentos mais importantes incluem o negro de fumo (preto), o azul de cobalto e o azul ultramarino, o rutilo (branco) e o verde de óxido de crómio [17]. Em resumo, o pigmento é o componente colorido, enquanto a tinta é a mistura completa utilizada para aplicação.

### **2.3.4 Cargas**

As cargas são enchimentos inorgânicos ou orgânicos utilizados para preencherem a matriz polimérica, sendo o carbonato de cálcio, o talco, o óxido de titânio e o hidróxido de magnésio alguns exemplos de enchimentos inorgânicos utilizados na empresa ACI [20]. São utilizadas como extensores clássicos e, para além de minimizarem os custos do material, também podem ter vantagens técnicas ou melhorar as propriedades individuais do produto, designadas por cargas ativas ou funcionais. O fator de forma das cargas é importante para as propriedades mecânicas do compósito e é definido como a relação entre o seu comprimento e a sua espessura (relação L/D = relação de

aspeto) [20]. As cargas são frequentemente utilizadas em produtos plásticos para influenciar positivamente propriedades específicas:

- Melhoria das propriedades mecânicas (por exemplo, módulo de *Young*, densidade, resistência à tração, etc.);
- Criação de uma película respirável;
- Proteção contra a propagação da chama;
- Efeitos de superfície (por exemplo, no sector automóvel, através da adição de cargas em nanoescala ou talco);
- Efeitos de cor (brilho através de pigmentos brancos).

### **Retardantes de chama**

A maioria dos materiais poliméricos apresenta baixa resistência à chama, como é o caso do poliestireno, do polietileno e do polipropileno (PS, PE, PP), para que estes sejam resistentes são utilizados retardantes de chama. Um retardante de chama deve inibir ou suprimir um processo de combustão, estes podem atuar nas fases sólidas, líquidas ou gasosas. Atualmente existem mais de 175 substâncias químicas classificadas como retardantes à chama, sendo o grupo dos halogenados (bromados e clorados) e dos não halogenados (derivados de fósforo, azoto e hidróxidos) exemplos amplamente utilizados. Os compostos halogenados, clorados ou bromados, possuem fórmulas adaptáveis para quase todos os polímeros, que providenciam um baixo custo e um excelente desempenho contra a propagação das chamas. Por outro lado, devido a alta toxicidade destes compostos, pode desencadear-se vários efeitos tóxicos, tais como, a produção de dioxinas e furanos durante a propagação de um incêndio [21].

Na ACI são utilizados 3 enchimentos inorgânicos, uma carga halogenada com base de bromo, outra com base de Alumina Tri-Hidratada (ATH) e outra com Monóxido de Di-Hidrogénio (MDH). Na ACI, 80% dos produtos usam MDH, 18% dos compostos utilizam cargas com base de bromo e MDH e apenas 2% utilizam ATH.

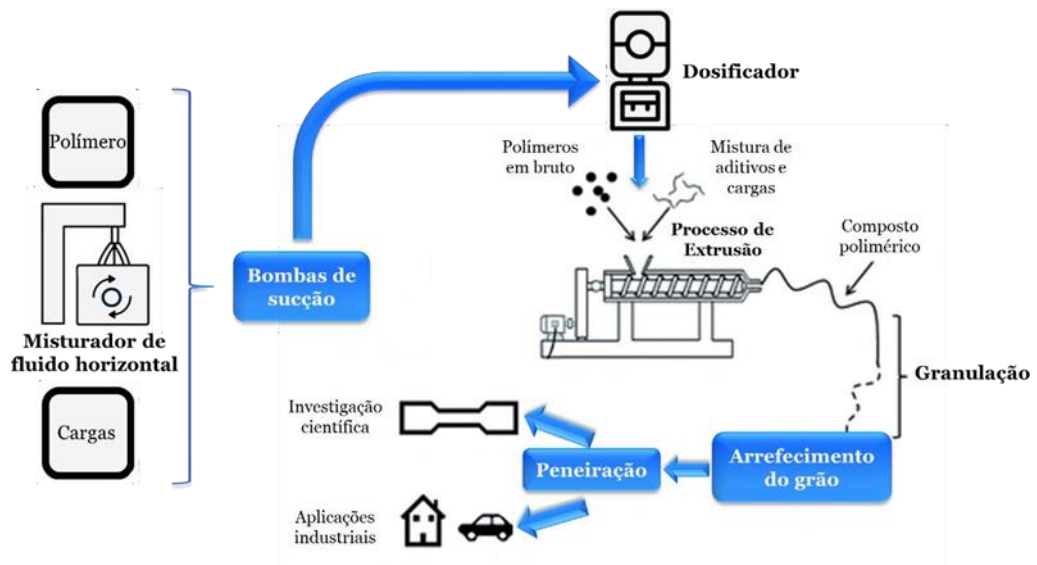
As cargas de Alumina Tri-Hidratada (ATH) são utilizadas como retardantes de chama numa variedade de aplicações de plásticos e borrachas. A ATH é um material inorgânico que, quando exposto a calor intenso, liberta água, atuando como um agente de arrefecimento que ajuda a retardar ou prevenir a propagação de chamas, tornando-se uma escolha frequente em materiais que exigem estas propriedades.

Assim como a ATH, o hidróxido de magnésio é também uma alternativa mais segura e eficaz aos retardantes de chama tradicionais, muitos dos quais podem ser tóxicos ou ambientalmente prejudiciais. Além disso, eles são não halogenados, o que significa que

não contêm cloro ou bromo, reduzindo potencialmente os riscos à saúde e ao meio ambiente [22].

### 3. Aditivação de polímeros

A indústria de processamento de plásticos desempenha um papel importante na transformação dos materiais poliméricos brutos numa vasta gama de produtos finais, que vão desde as embalagens e produtos médicos até aos componentes automóveis e eletrónicos. A aditivação de polímeros, processo que transforma um polímero em plásticos, envolve vários passos. O fluxograma da Figura 8 resume o processo de aditivação de polímeros.



**Figura 8:** Fluxograma do processo de aditivação (Adaptado de [23]).

Tendo em conta a realidade da empresa ACI o primeiro passo do processo consiste na mistura dos aditivos com percentagem reduzida em massa. Essa mistura é feita em misturadores sendo que existem misturadores em modo descontínuo e horizontal [24]. Na ACI o misturador mais utilizado é o misturador horizontal. No caso da ACI, se existisse um maior número de dosificadores e especificadores adequados a dosificar estas quantidades necessárias não haveria necessidade da realização destas pré misturas.

Estes misturadores horizontais (Figura 9) são utilizados nas indústrias alimentar, química e dos plásticos. São utilizados para misturar com e sem aquecimento ou arrefecimento do recipiente [25].



**Figura 9:** Misturadores horizontais (Adaptado de [12]).

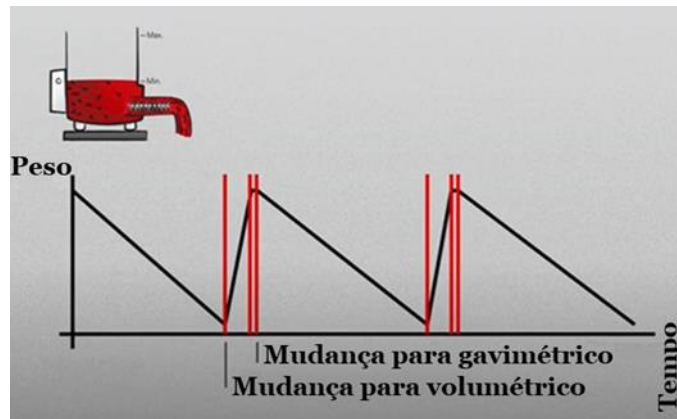
Ao eixo horizontal do misturador estão ligadas várias ferramentas de mistura, que são adaptadas à tarefa específica da mistura. O material a ser misturado é introduzido no recipiente da mistura através de entradas de enchimento. O material é removido do equipamento por gravidade através da saída presente na base. O equipamento possui uma porta de inspeção que é utilizada para fazer a manutenção do aparelho e posteriormente a limpeza eficiente da máquina [26].

As matérias-primas são posteriormente transportadas para os doseadores através de bombas de sucção. O material deve ser transportado da forma mais "suave" e compacta possível, evitando grandes distâncias de queda e por conseguinte sobrepressão no sistema [20, 27]. Na Figura 10 temos um sistema de transporte de matéria-prima utilizadas no processo de aditivação de polímeros.



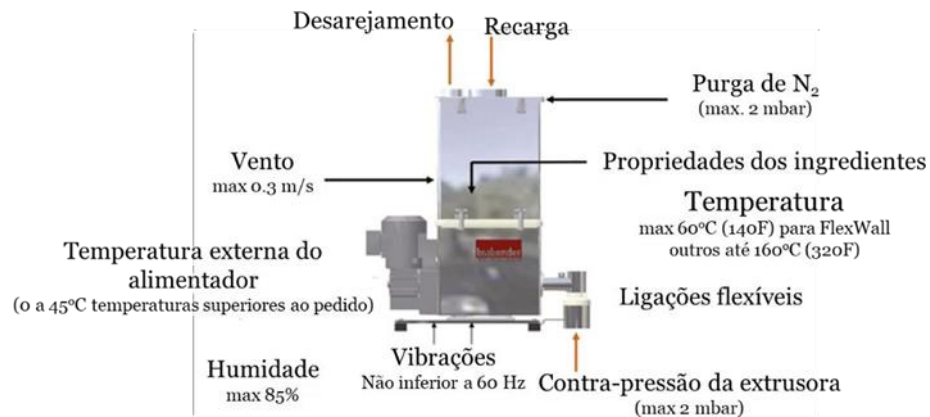
**Figura 10:** Tecnologia de transporte (Adaptado de [12]).

O processo de *compounding* requer que todos os aditivos alimentem a tremonha das extrusoras nas percentagens corretas, para tal são utilizados doseadores/alimentadores. Os doseadores utilizados na ACI são um sistema híbrido em que combina a tecnologia de alimentação volumétrica e de perda de massa. O doseador da Figura 11 alimenta a extrusora por perda de massa e é recarregado volumetricamente.



**Figura 11:** Funcionamento do dosificador (Adaptado de [32]).

Os elementos que podem afetar o funcionamento adequado de um alimentador gravimétrico (Figura 12) podem ser forças durante o enchimento, ligações incorretas da entrada e saída do alimentador, ventilação inadequada, influências ambientais como a deslocação de ar, temperatura, vibrações, humidade e correntes de ar da extrusora, extrusora de composição ou a misturadora [3, 25].



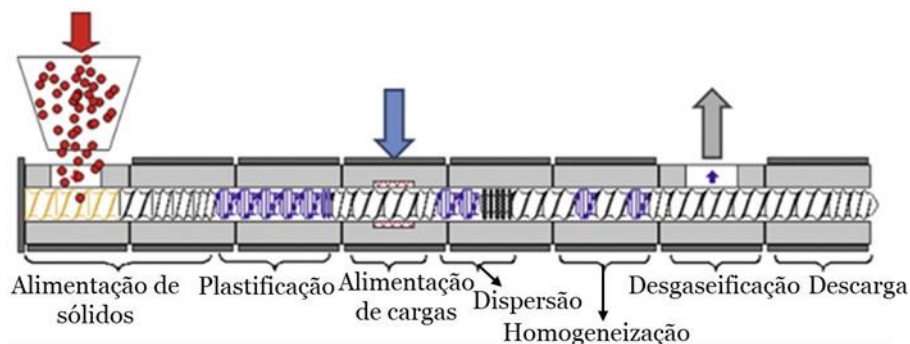
**Figura 12:** Variáveis de perturbação e condições do processo (Adaptado de [12]).

A conduta de entrada na extrusora (Figura 13) também deve ser construída de acordo com as propriedades de fluxo dos produtos, no que diz respeito à sua forma e fabrico. Os produtos de fluxo livre devem transportar produtos viscosos. Com produtos extremamente viscosos, é recomendado um funil de borracha, onde os produtos não formam depósitos e, além disso, a borracha pode ser agitada mecanicamente no exterior [26, 28]. Plataformas pré-montadas podem ser facilmente integradas no processo.



**Figura 13:** Exemplo de instalação do doseamento gravimétrico (Adaptado de [12]).

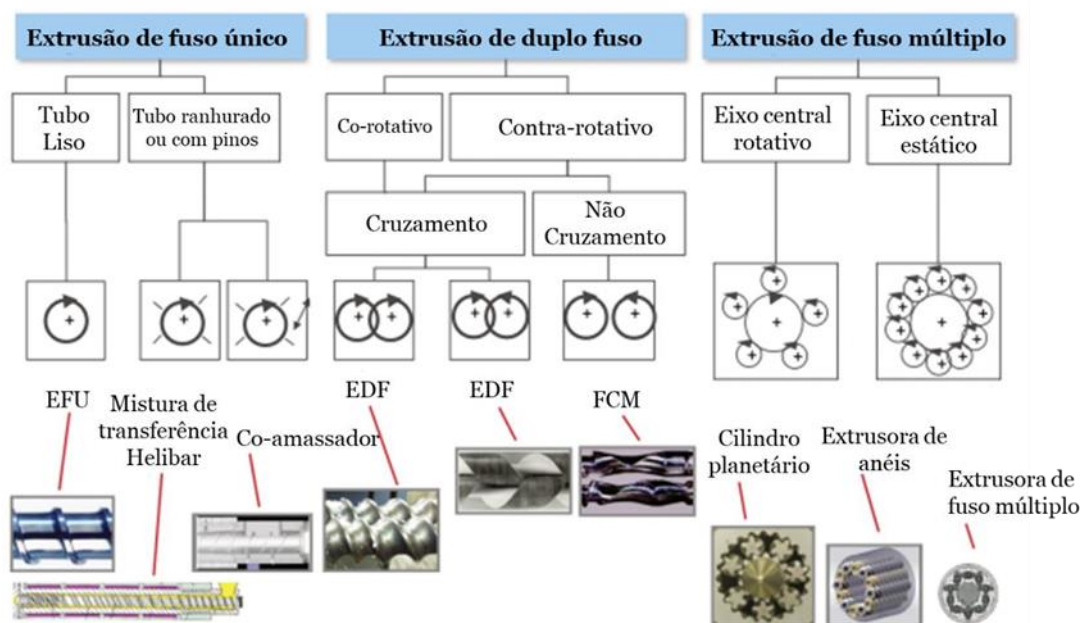
Os termoplásticos são geralmente encontrados na forma de pequenos grânulos chamados *pellets*. Durante o processo de fabricação, o polímero é fundido e misturado com aditivos e em seguida, é transformado em *pellets*. A Figura 14 descreve os principais passos decorrentes num fuso de extrusão. [29].



**Figura 14:** Extrusora de *compounding* com etapas usuais convencionais (Fonte: *Plastics Compounding and Polymer Processing*) (Adaptado de [12]).

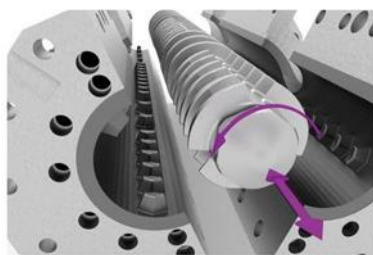
Uma vez que, no *compounding*, são normalmente efetuados vários passos do processo nas chamadas zonas funcionais (fusão, mistura, desgaseificação, aumento de pressão, etc.), nem todos os tipos de extrusoras são igualmente adequados [30]. Dependendo da aplicação, o objetivo é obter misturas de polímeros miscíveis ou imiscíveis. No caso de misturas plásticas imiscíveis, o objetivo é que as fases não se rejeitem mutuamente, caso no qual são adicionados os chamados compatibilizadores, os quais se acumulam nos limites da fase e ligam as diferentes fases umas às outras através de interações fortes [27].

Como indicado na Figura 15 existem vários tipos de extrusoras, as mais utilizadas na produção de compostos poliméricos são as de duplo fuso ou as *co-kneader*.



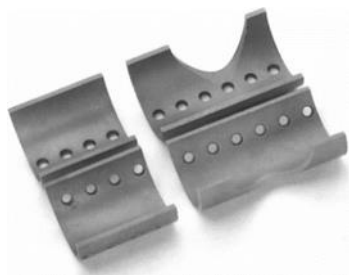
**Figura 15:** Tipos de extrusoras (Adaptado de [12]).

O tipo de tecnologia existente na ACI é do tipo *co-kneader*. Do ponto de vista de conceção, a extrusora de composição é uma máquina de fuso de um só veio de funcionamento contínuo, apresentando movimentos de translação e rotação. [12]. Este tipo de tecnologia apresenta na camisa, pinos que trabalham em conjunto com as lâminas do fuso (Figura 16).



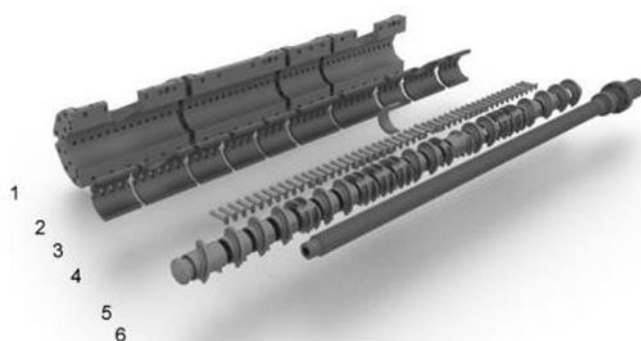
**Figura 16:** Movimento de rotação na extrusora de composição (Adaptado de [12]).

Os módulos da câmara de extrusão são revestidos com meias conchas substituíveis divididas em segmentos (Figura 17) de modo que, os materiais adequados possam ser utilizados individualmente de acordo com os efeitos de desgaste que ocorrem ao longo do eixo do processo, tais como corrosão, abrasão ou erosão. A substituição de meias conchas gastas é simples e reduz tempo e custos. Da mesma forma, todos os elementos permanecem posicionados na placa de base, pelo que não são necessários conhecimentos especiais para substituir os elementos de desgaste [12].



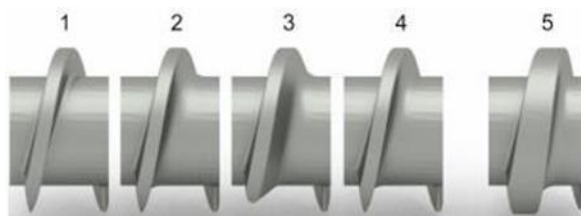
**Figura 17:** Meias conchas para instalação nos módulos de barril (Adaptado de [30]).

O veio do fuso da extrusora também é concebido como um veio de encaixe de acordo com o princípio modular (Figura 18).



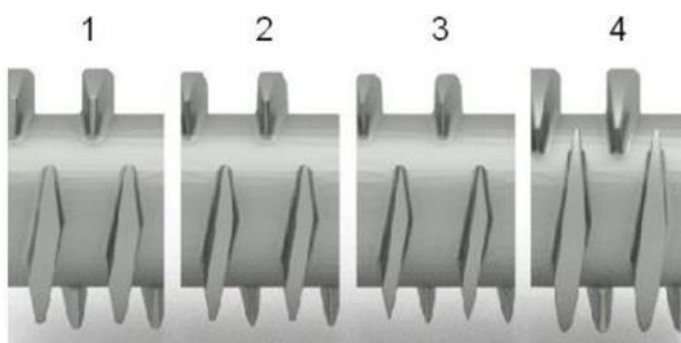
**Figura 18:** Elementos constituintes do fuso de extrusão (1) bloco da extrusora (2) camisa (3) anel de restrição (4) pinos (5) elementos aderentes ao fuso (6) veio do fuso (Adaptado de [12]).

Os elementos do veio são empurrados para o veio de suporte central e fixados através da chamada porca do veio (Figura 19). Estes elementos são utilizados na zona das aberturas de alimentação e de desgaseificação. São preferencialmente utilizados na zona de transição sólido/fundido quando processamento de componentes em pó volumosos [12].



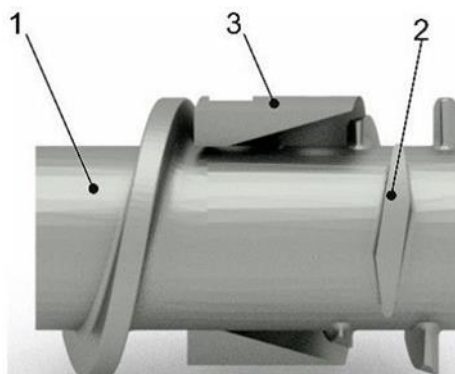
**Figura 19:** Elementos de transporte. 1: Padrão, 2: Elemento com raio alargado do flanco passivo, 3: Elemento com raio muito grande do flanco passivo, 4: Elemento com raio variável do flanco passivo, 5: Elemento de transporte com lâminas sobrepostos (Adaptado de [12]).

Os elementos da extrusora (Figura 20), com as suas lâminas de amassar características, efetuam uma mistura dispersiva e distributiva. Os elementos com um diâmetro de núcleo mais espesso ou com passo à esquerda geram a correspondente contrapressão, controlando assim a conversão de energia ou permitindo o enchimento parcial da zona a jusante, de modo que possam ser adicionados mais componentes sólidos, ou que seja criado espaço de vapor para uma desgaseificação eficiente [12].



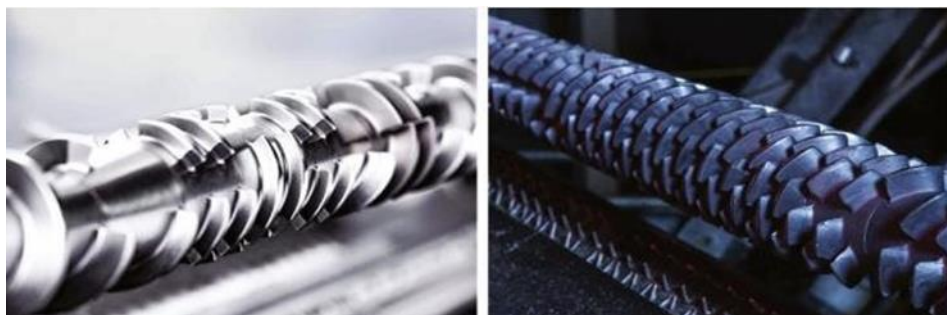
**Figura 20:** Elementos de amassadura. 1: Normal, 2: Elementos para amassar com largura de corte reduzida, 3: Elementos de amassar com largura de corte muito reduzida, 4: Elementos de amassar com cortes sobrepostos (lâminas mais largas para não haver refluxo) (Adaptado de [12]).

Uma tarefa semelhante é realizada pelos chamados anéis de restrição (Figura 21), anéis substituíveis com uma projeção anular que reduz a secção transversal do fluxo entre o furo do cilindro e o núcleo do veio [12].



**Figura 21:** Combinação de anéis de restrição: elemento de raspagem (1), elemento de anel de restrição (2), e anel de restrição (3) (Adaptado de [12]).

Tal como os elementos da câmara de extrusão, os elementos do veio também podem ser concebidos numa grande variedade de classes de materiais, de acordo com as condições de desgaste locais na área do processo e combinados individualmente ao longo do eixo do processo (Figura 22) [12].

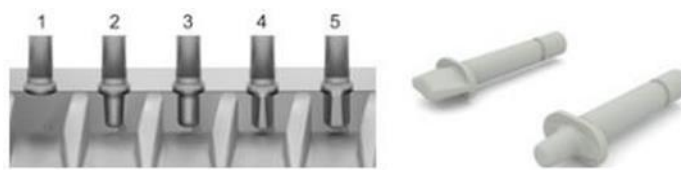


**Figura 22:** Secção de combinações de elementos das séries COMPEO (esquerda) e TriVolution (direita) (Adaptado de [12]).

Os elementos desgastados podem ser substituídos com a mesma facilidade, economizando custos. A câmara de extrusão é aberta, o parafuso do eixo é desapertado e os elementos são substituídos. Mais uma vez, não há necessidade de retirar ou puxar o eixo para revisão. Por conseguinte, ao instalar a linha de processamento, não é necessário prever uma área de base adicional para retirar o veio do fuso. Este mantém-

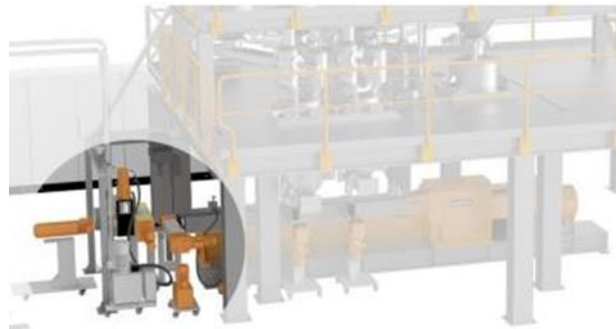
se na sua posição, o que significa que não são necessários conhecimentos mecânicos específicos para a substituição dos elementos do veio [12].

Os pinos de amassar podem ser geometricamente variados e ajustados de acordo com os requisitos da engenharia de processos (Figura 23). Os fusos são utilizados para alimentar o material a ser extrudido da máquina. Eles têm a função de empurrar continuamente o material como um plástico através de uma matriz, resultando num produto com a forma desejada. Os fusos ajudam a controlar o fluxo de velocidade do material durante o processo de extrusão, garantindo uma produção consistente e com qualidade [12].



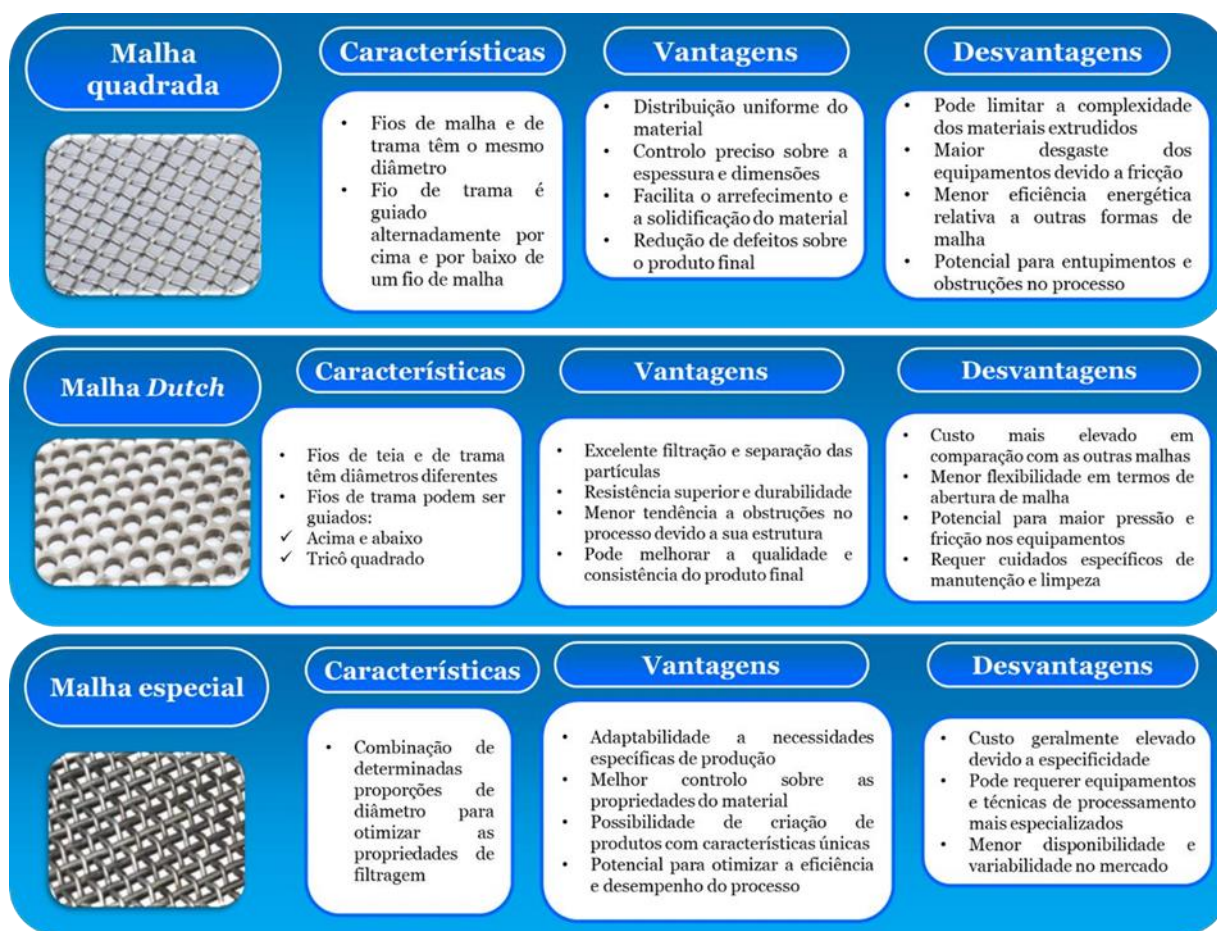
**Figura 23:** Cavilhas e pinos de amassar. 1: pino cego, 2: pino de amassar cônico, 3: pino de amassar cilíndrico, 4: Dente de amassar, 5: Dente de amassar de alto corte (Adaptado de [12]).

O porta-filtros e a válvula de purga (Figura 24) são componentes essenciais em sistemas de filtração e purificação de fluidos neste caso em particular de polímeros no estado fundido.



**Figura 24:** Equipamento de *downstream* (Adaptado de [12]).

Nos porta-filtros são colocados filtros metálicos que permitem reter as impurezas do fundido assim como gerar pressão na fieira o que vai permitir melhor homogeneização do material fundido. Na Figura 25 temos uma análise comparativa dos diferentes tipos de filtros possíveis de utilizar durante a extrusão de compostos.



**Figura 25:** Tipos de malhas.

A malha metálica é fabricada em teares especiais. Ao contrário da produção de tecidos, são utilizados fios metálicos para a malha e a trama, em vez de fios têxteis. A forma como estes fios são escolhidos, ou como o fio de trama é guiado, resulta numa vasta gama de diferentes tipos de tecelagem [31]. A partir da Tabela 1 podemos observar uma comparação entre os diferentes tipos de filtros existentes nas máquinas de extrusão.

**Tabela 1:** Comparação do desempenho de diferentes meios filtrantes.

	Rede metálica, Malha quadrada	Rede metálica, Malha Dutch	Pó aglomerado	Fibra metálica aleatória
<b>Captura em gel</b>	Fraco	Equitativo	Bom	Muito bom
<b>Capacidade de contaminação</b>	Equitativo	Bom	Equitativo	Muito bom
<b>Permeabilidade</b>	Muito bom	Fraco	Equitativo	Bom

A válvula de purga (Figura 26) permite efetuar uma limpeza da extrusora sem que o material seja peletizado.



**Figura 26:** Válvula de purga.

A peletização como etapa final no processamento ou composição de plásticos significa converter o fundido em partículas de formato e tamanho uniformes por meio de processos de corte mecânico em conjunto com processos adequados de arrefecimento, transporte e secagem [32]. A crescente variedade de produtos plásticos, a tendência para lotes mais pequenos na produção e a tendência para a poupança de custos através do aumento da produção das fábricas e da redução dos stocks levam à introdução de mais variantes dos sistemas de peletização. No entanto, a tecnologia de peletização relevante para o processamento pode ser sistematicamente classificada de acordo com a Tabela 2 com base em alguns critérios como o meio para arrefecimento e corte, sequência de operações, entre outros [32]. O primeiro critério de diferenciação é que na peletização a quente, o corte ocorre imediatamente após a saída do fundido do furo de moldagem da placa de matriz, enquanto na peletização a frio, um produto preliminar (fios) é primeiro produzido arrefecido e por fim cortado [32].

**Tabela 2:** Condições para uma peletização a frio e a quente (Adaptado de [12])

Processo	Peletização a quente			Peletização a frio		
<b>Condição Básica</b>	Corte e arrefecimento no ar	Corte e arrefecimento na água	Corte no ar; arrefecimento na água	Corte no ar		Corte debaixo de água
<b>Sequência da operação</b>	Corte - arrefecimento - secagem			Arrefecimento - Secagem - Corte		Arrefecimento - Corte - Pós arrefecimento - secagem
<b>Tipo de processo</b>	Matriz seca - corte à face	Peletização subaquática	Peletização em anel de água	Peletização de fios cortados a seco		Peletização subaquática de fios
				Manual/Convencional	Automático	Automático
<b>Principal campo de aplicação</b>	Materiais não viscosos, por exemplo, PVC	Produção de matérias-primas poliolefinas	Compostos: produtos menos pegajosos; Reciclagem	Quase todos os produtos com fragilidade limitada e estabilidade suficiente dos fios		

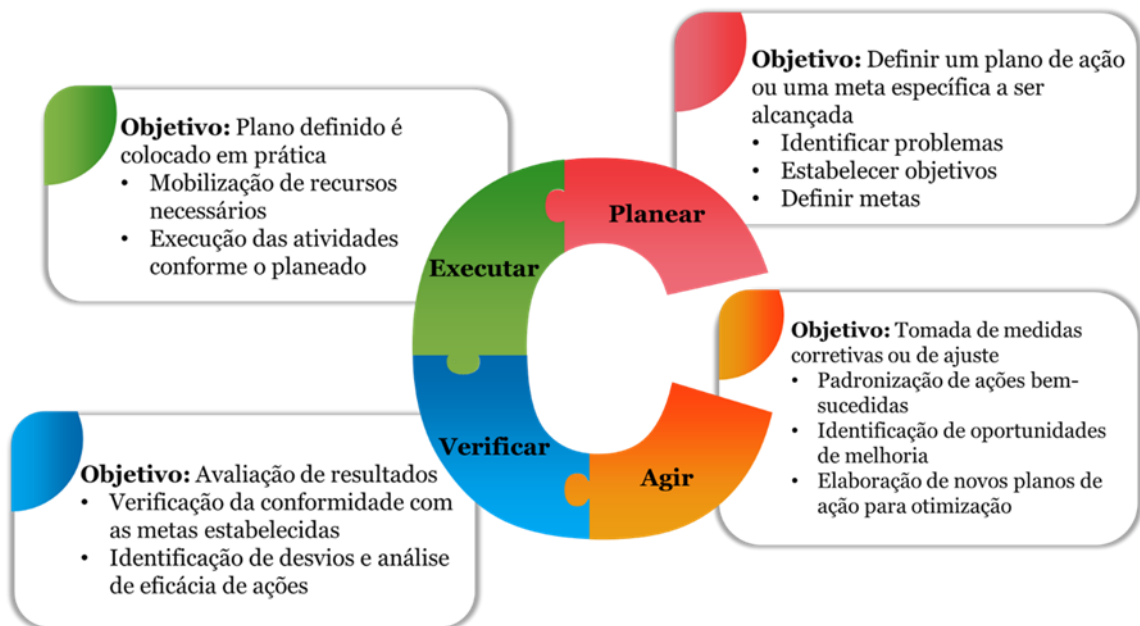
Além do objetivo real de produzir partículas de formato e tamanho uniformes, a peletização influencia toda uma gama de outras propriedades do produto, por exemplo, densidade aparente e fluidez, teor de humidade, teor de poeira e temperatura [33]. No entanto, deve-se notar que muitas destas propriedades também podem ser consideravelmente influenciadas pelos processos subsequentes de transporte e armazenamento dos *pellets* [33].

Outras vantagens dos *pellets*, além do processamento posterior profissional, livre de problemas, reprodutível e económico para produtos semi-acabados e peças acabadas, são a prevenção da segregação, o manuseio e dosagem confiáveis [33].

## 4. Melhoria contínua do processo (PDCA)

O ciclo PDCA consiste numa metodologia de gestão e melhoria contínua, e este método também é conhecido como ciclo de *Deming* ou Ciclo de *Shewhart* sendo que estes métodos estão relacionados com o conceito de *Kaizen*, *Lean* e Seis Sigma.

Este ciclo é constituído por quatro etapas sequenciais: *Plan* (Planear), *Do* (Executar), *Check* (Verificar), *Act* (Agir). Este ciclo está resumido a partir do fluxograma da Figura 27, [34, 35, 36, 37].



**Figura 27:** Fluxograma de PDCA.

Quando falamos em melhoria contínua, existem 3 conceitos que aparecem com muita frequência e que se encontram conectados, nomeadamente: *Kaizen*, *Lean* e *Six Sigma*. Os três processos são baseados na lógica de melhoria e incluem ciclos de avaliação, definição de métricas, aperfeiçoamento e monitoramento. Há muitas semelhanças entre eles, e mesmo algumas sobreposições. No entanto, o uso adequado demanda a compreensão das diferenças e sinergias. Assim podem ser aplicados nas situações e momentos mais precisos, tanto para aumentar a produtividade quanto para diminuir desperdício [37]. O seguinte fluxograma consegue relacionar os três conceitos:



**Figura 28:** Fluxograma dos conceitos de *Kaizen*, *Lean* e Seis Sigma [37].

Legenda: K– *Kaizen*, L- *Lean*, SS-Seis Sigma

## 4.1 Conceito de *Kaizen*

O *Kaizen* tem origem em dois ideogramas japoneses, cujo significado é “mudança para melhor”.

Mais que um método, é uma filosofia, que se baseia na melhoria contínua.

Este conceito surgiu nas fábricas japonesas depois da Segunda Guerra Mundial num esforço que levou a obter bons resultados. Este princípio está baseado em duas premissas que são [37]:

- Tudo pode ser melhorado.
- Pequenas mudanças contínuas geram grandes melhorias a longo prazo.

Otávio Monsanto [37] referiu que uma mudança de mentalidade propõe 1% de melhoria em cada dia. Embora o valor pareça pequena, uma empresa que consiga aplicá-la terá o dobro da produtividade em menos de 3 meses. No entanto o objetivo de *Kaizen* não é esse, a ideia passa por uma mudança na organização, incluindo esta filosofia na melhoria de cada dia na empresa, tendo em conta o seguinte:

- Alinhar a melhoria contínua com os objetivos da organização,
- Caminhar para a criação de uma vantagem competitiva,
- Aumentar a excelência operacional e os processos de modo que estes cumpram com os objetivos propostos,

- Combinar as melhores práticas em diferentes metodologias,
- Criação de uma cultura de alto desempenho,
- Atingir e sustentar os objetivos da organização com objetivos e metas mensuráveis,
- Todos na empresa devem trabalhar para realizar a transformação. A transformação é da responsabilidade de todos.

## **4.2 Conceito de *Lean***

O *Lean Manufacturing*, desenvolveu-se a partir de estudos norte americanos sobre a indústria automóvel, o objetivo é fazer mais com menos, tendo sempre em atenção as necessidades do cliente. Os pontos a dar enfoco são os seguintes [37]:

- Organizar processos em processos contínuos.
- Reduzir prazos e desperdícios.
- Aumentar a satisfação do cliente.

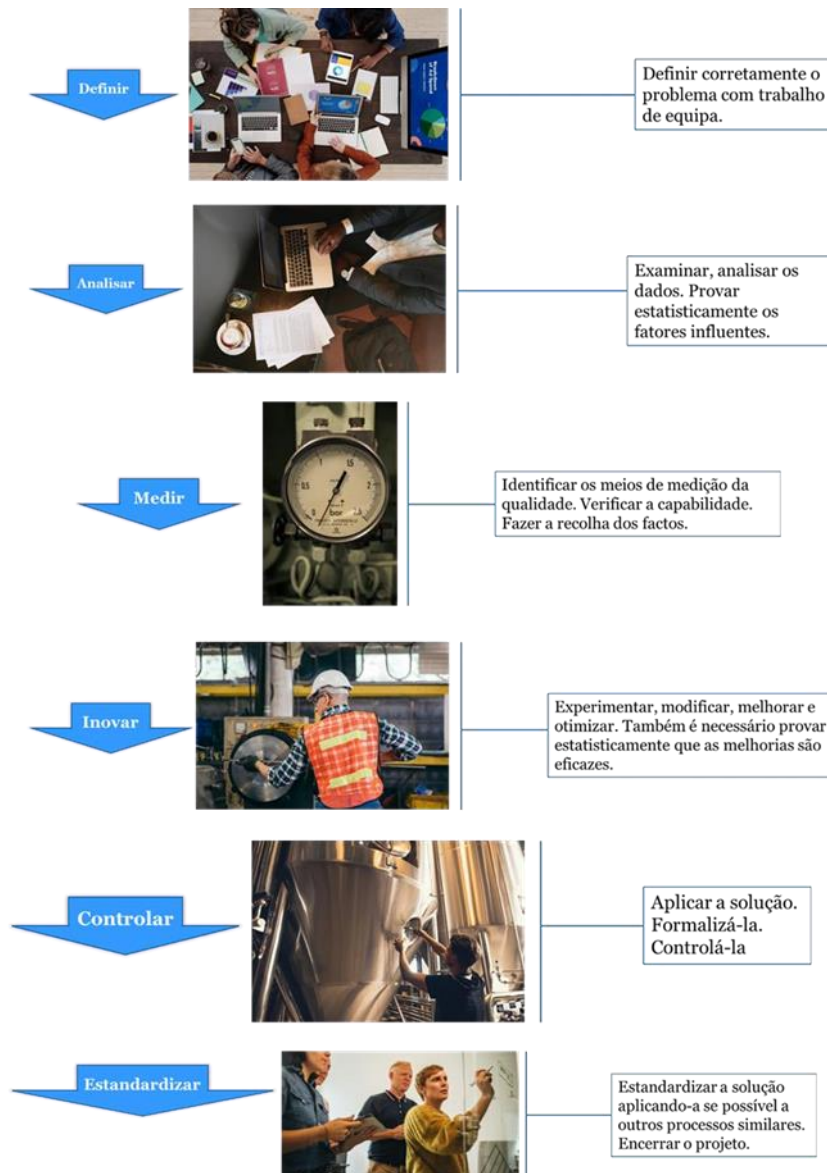
## **4.3 Conceito de Seis Sigma**

O Seis Sigma é uma abordagem global para melhorar a qualidade dos produtos e serviços, visando a completa satisfação do cliente e a redução de custos. O objetivo é alcançar uma qualidade tão alta que apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades ocorram [38].

Para atingir esse nível de qualidade, é essencial combater as três principais fontes de variabilidade: conceção frágil, matérias-primas instáveis e capacidades insuficientes dos processos. Isso geralmente requer o uso de ferramentas estatísticas e metodologias de resolução de problemas [38].

O Seis Sigma não apenas melhora a qualidade dos produtos, mas também tem benefícios financeiros, incluindo aumento da satisfação do cliente, redução de custos, otimização do uso de ativos e aumento do volume de negócios [38].

A abordagem dos Seis Sigma (Figura 29) é composta por seis etapas, onde todas as ferramentas utilizadas são conhecidas, mas a estrutura de utilização é o que torna o método eficaz [39]. Com a implementação cuidadosa dessas etapas, mesmo técnicos sem grande expertise em estatística podem alcançar os objetivos de redução de variabilidade estabelecidos [39].



**Figura 29:** As seis etapas do Seis Sigma.

Um dos parâmetros estudados para obter a melhoria contínua é o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) que está relacionado com os diferentes critérios abordados anteriormente nomeadamente *Kaizen*, *Lean* e Seis Sigma. Abordaremos com maior pormenor o OEE em seguida.

# 5 Indicadores para promover a melhoria contínua

## 5.1 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

A Eficiência Global do Equipamento (OEE) é uma métrica fundamental para medir o desempenho e eficácia dos processos de fabrico ou equipamentos individuais. A OEE é calculada considerando três fatores-chave: disponibilidade, eficiência e *First Time Quality* (FTQ), este parâmetro fornece uma visão abrangente de como o equipamento é utilizado e da sua eficiência na produção de bens e serviços [40], Figura 30.



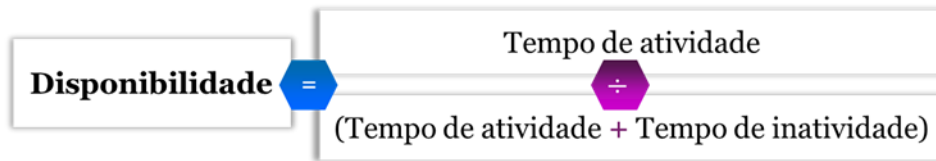
**Figura 30:** Cálculo do OEE.

O OEE é um indicador onde uma percentagem elevada significa que o desempenho do processo é ótimo [40].

Melhorar o OEE pode trazer diversos benefícios significativos, nomeadamente o aumento da produtividade, melhoria da eficiência, redução de custos, melhoria da qualidade e fiabilidade do equipamento. Para alcançar uma OEE de classe mundial, é crucial medir, maximizar a disponibilidade do equipamento, otimizar o desempenho, melhorar a qualidade e implementar práticas de manutenção autónoma [40]. Sendo assim e tendo em conta que este princípio depende da disponibilidade, eficiência e FTQ abordaremos de forma detalhada cada um destes conceitos.

## 5.2 Disponibilidade

A disponibilidade consiste na medida da probabilidade de um sistema estar operacional quando necessário, sem falhas ou em reparação. Para um sistema ser considerado disponível, é necessário satisfazer três requisitos: estar em funcionamento, operar em condições normais e estar disponível quando necessário. A disponibilidade é fundamental para maximizar a produção de um ativo, afetando diretamente a saúde financeira de uma empresa [41]. A disponibilidade do sistema é calculada dividindo o tempo de atividade pela soma total do tempo de atividade e do tempo de inatividade [41], Figura 31.



**Figura 31:** Cálculo da disponibilidade.

Uma alta disponibilidade está correlacionada com o maior número de receitas, ou seja, mais produtos são fabricados o que leva a que mais dinheiro seja ganho [41]. A disponibilidade é uma métrica fundamental em empresas de produção intensa e é influenciada pela fiabilidade e facilidade de manutenção. O tempo de inatividade, especialmente não planeado, tem o maior impacto na disponibilidade e pode ser causado por falta de manutenção preventiva, idade da máquina ou avarias [41]. Para melhorar a disponibilidade, é crucial considerar falhas durante o design do sistema, mitigar riscos, monitorar o desempenho dos ativos e estabelecer protocolos para responder a problemas de disponibilidade. A disponibilidade é usada para avaliar a eficiência desses processos e ferramentas cujo objetivo é a melhoria contínua [41].

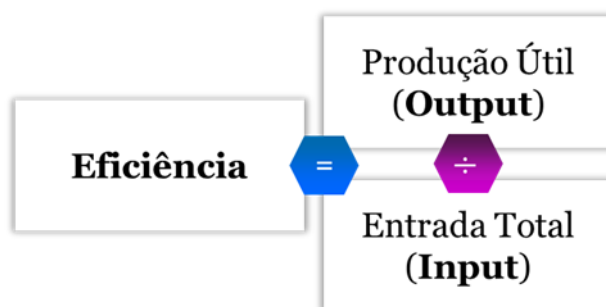
### 5.3 Eficiência

O termo eficiência pode ser definido como a capacidade de atingir um objetivo final com pouco ou nenhum desperdício, esforço ou energia. Ser eficiente significa que pode alcançar os seus resultados colocando os recursos de que dispõe da melhor forma possível. Em termos simples, algo é eficiente se nada for desperdiçado e todos os processos forem otimizados. Isto inclui a utilização de dinheiro, capital humano, equipamento de produção e fontes de energia [42]. A eficiência pode ser utilizada de várias formas para descrever vários processos de otimização. Como tal, a análise da eficiência pode ajudar a reduzir os custos e a aumentar os resultados finais [42]. Por exemplo:

- A empresa pode medir a eficiência do seu processo de produção, o que pode ajudar a reduzir os custos e, ao mesmo tempo, aumentar a produção, o que pode levar a um aumento das vendas e das receitas.
- Os consumidores podem comprar equipamentos energeticamente eficientes para reduzir as suas faturas de energia e, ao mesmo tempo, reduzir os gases com efeito de estufa.

- Os investidores podem determinar a eficiência dos seus investimentos utilizando o retorno do investimento (ROI), que destaca o retorno de um investimento em relação ao seu custo.

A eficiência é um conceito mensurável que pode ser determinado através do rácio entre a produção útil e a entrada total sem ter em conta qualquer desperdício ou deterioração. Se quiser exprimir a eficiência em percentagem, basta multiplicar o rácio por 100 [42]. O aumento da eficiência minimiza o desperdício de recursos, tais como materiais físicos, energia e tempo, enquanto se atinge o resultado desejado [42], Figura 32.

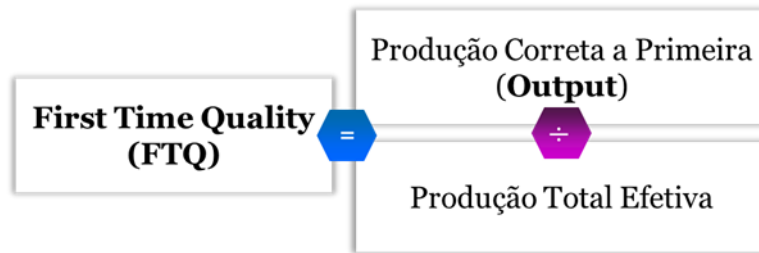


**Figura 32:** Cálculo da eficiência.

Além disso, as pessoas confundem frequentemente eficiência com eficácia. No entanto, são muito diferentes uma da outra. Por outras palavras, eficiência é quando as coisas estão a ser feitas corretamente. Eficácia é fazer a coisa certa. Por exemplo, um carro é um meio de transporte bastante eficaz. Do mesmo modo, a forma como utiliza o combustível para o transporte determina a sua eficiência [42].

## 5.4 *First Time Quality* (FTQ)

A qualidade à primeira tentativa (FTQ) é uma abordagem para concluir um processo sem defeitos desde a primeira tentativa, sendo uma medida de sucesso deste processo. Com base no Seis Sigma, é útil em diversos setores por sua capacidade de identificar áreas de melhoria e evitar perdas [43]. A percentagem de produção do FTQ consiste no quociente entre a produção correta à primeira e a produção total efetiva [43], Figura 33.

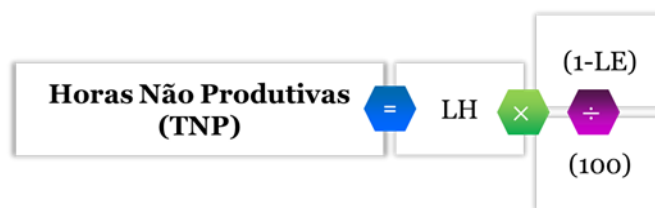


**Figura 33:** Cálculo do *First Time Quality*.

Existem diversos benefícios na utilização da FTQ, como a identificação de áreas para melhoria, a resolução mais rápida de problemas e a medição da eficiência do processo. Para melhorar a FTQ, é importante verificar as matérias-primas para garantir qualidade e realizar uma manutenção regular das máquinas e equipamentos para evitar falhas. A FTQ é uma métrica crucial para garantir a qualidade e eficiência dos processos de produção [43]. Por último e não menos importante existe uma medida que tem de ser considerada no processo e esse preceito é o Tempo Não Produtivo (TNP).

## 5.5 Tempo não Produtivo (TNP)

O Tempo Não Produtivo (TNP) é crucial para avaliar a eficácia e o sucesso das operações de extrusão [44]. Para a determinação do cálculo do tempo não produtivo em primeiro é necessário calcular o número total de horas de trabalho. Em seguida determina-se a eficiência do trabalho e depois determinamos as horas não produtivas pela seguinte fórmula [45], Figura 34:



**Figura 34:** Cálculo do TNP.

Sendo as variáveis as seguintes:

- TNP tempo não produtivo (horas)
- LH é o número total de horas de trabalho
- LE é a eficiência da mão de obra (%)

O TNP pode ser usado para identificar e eliminar atividades ineficientes, padronizar métodos, estabelecer normas de execução, adaptar os trabalhadores às tarefas e comparar eficácia entre métodos ou equipamentos. O grande objetivo consiste na melhoria contínua da eficiência, qualidade e produtividade dos processos industriais [44]. Sendo que estes indicadores são predominantes para a melhoria contínua existem diferentes ferramentas associadas aos três conceitos bases referidos anteriormente que podem ser utilizadas para estudar um possível problema de modo a atingirmos o objetivo da melhoria contínua.



## **6 Ferramentas de Qualidade**

Segundo Baines e Sanjay Ahire [46], o controlo de qualidade é um pilar essencial para impulsionar a melhoria contínua no processo industrial de extrusão. A base para a melhoria contínua reside na capacidade de identificar e resolver problemas do processo de produção. O controlo de qualidade desempenha um papel crucial nesse sentido, permitindo a identificação precoce de falhas. Autores como Marcin Jakubiec [47], destacam que a identificação precisa desses problemas é fundamental para promover melhorias contínuas [48].

O controlo de qualidade eficaz baseia-se na recolha de dados precisos e na análise detalhada dessas informações. Essa abordagem é apoiada por Antony Jiju em [49] que ressalta a importância de dados fiáveis para impulsionar melhorias no processo de extrusão.

Para além disso, ferramentas estatísticas e técnicas de controlo de qualidade, como cartas de controlo de qualidade, uma análise detalhada de uma possível causa e diagramas de Pareto conforme é discutido por Pagliosa [50], fornecem uma estrutura valiosa para analisar e interpretar os dados recolhidos. Essas ferramentas ajudam a identificar as causas subjacentes dos problemas, priorizando áreas-chave para a implementação de melhorias.

O feedback em tempo real que é dado pelo controlo de qualidade, é mencionado por Ball [51], permitindo a realização de ajustes rápidos no processo de extrusão sempre que ocorrem desvios das especificações ou problemas identificados, impedindo a produção em larga escala de produtos defeituosos. Em suma, o controlo de qualidade desempenha um papel muito significativo no objetivo da melhoria contínua do processo de extrusão. O facto desta vertente fornecer dados precisos no momento, leva a identificação de problemas e a melhorias contínuas na qualidade, eficiência do produto que pretendemos obter, o grão e a consistência no processo. Outro fator de melhoria contínua do processo de extrusão é a otimização deste processo.

### **6.1 Quatro ferramentas base**

A utilização destas quatro ferramentas provém do Japão. O objetivo principal era disponibilizar um número limitado de ferramentas de resolução de problemas a todo o pessoal. As quatro ferramentas utilizadas neste trabalho constituem uma base do trabalho em equipa. Conhecidas de todos, elas consubstanciam as fundações de uma

cultura de empresa através de uma abordagem formal para a busca de uma solução [52].

Ainda que largamente difundidas em todas as empresas que praticam o trabalho em equipa, estas quatro ferramentas ainda não são, na minha opinião, suficientemente utilizadas. Contudo, todas estas ferramentas são gráficas, simples, aplicáveis por todo o pessoal da empresa. O objetivo é resolver facilmente a maioria dos pequenos problemas da produção. A originalidade na apresentação das quatro ferramentas como um conjunto tem a ver com a sua coerência e complementaridade, solicitando-se a sua utilização no quadro de produção. Existem numerosas variantes na identificação das cinco ferramentas, sendo as mais usuais as que apresentamos a seguir [52]:

- Folhas de registo;
- Diagramas de Pareto;
- Diagramas de espinha de peixe;
- Diagramas de correlação.

O princípio de base é simples, para compreender basta “olhar”. É por essa razão que todas as ferramentas são ferramentas gráficas [53].

Temos também de considerar os diferentes objetivos a atingir com estas ferramentas nomeadamente a disponibilidade de todos os membros da empresa e formas simples de resolver problemas; a abertura da possibilidade da sua utilização a todo o pessoal da empresa e estarem adaptados ao trabalho em equipa por serem visuais e consensuais [53].

Não é necessário que as defendemos religiosamente, antes pelo contrário, devemos manter-nos abertos à utilização de outras alternativas. No entanto, a utilização intensiva das representações gráficas permite às empresas progredir muito rapidamente para produtos de qualidade. Cada uma das ferramentas tem uma função bem definida descrita na Tabela 3 [52].

**Tabela 3:** Funções e ferramentas associadas.

Ferramentas	Funções
Folha de Registo	Recolha de dados
Diagrama de espinha de peixe	Identificar a origem do problema
Diagrama de correlação	Mostrar as correlações
Diagrama de Pareto	Hierarquizar os factos

### 6.1.1 Folhas de registo

Todas as ações de melhoria devem basear-se em dados, se possível, quantificados. O objetivo é de raciocinar com base em factos objetivos e não em impressões. As folhas de registo facilitam e documentam a recolha de informações no posto de trabalho. Podem conceber-se vários modelos de folhas de registo tomando como base os seguintes critérios [53]:

- a facilidade de registo para o operador;
- a facilidade de leitura de registos;
- a facilidade de armazenagem de registos.

### 6.1.2 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto (nome do inventor) permite classificar os dados ordenando-os por ordem decrescente de frequências. Permite hierarquizar as informações para que nos dediquemos ao que é essencial [52].

### 6.1.3 Diagrama de espinha de peixe

O diagrama de Pareto permitiu-nos identificar os problemas mais importantes. É agora necessário identificar as causas. O diagrama de espinha é também referido pelas designações de diagrama de causa-efeito e diagrama de Ishikawa [52].

Este diagrama elabora-se geralmente na sequência de uma sessão de brainstorming que permite recolher um máximo de ideias sobre o assunto analisado. Sobre o diagrama agrupa-se então o conjunto das famílias de causas possíveis para o efeito estudado. Em

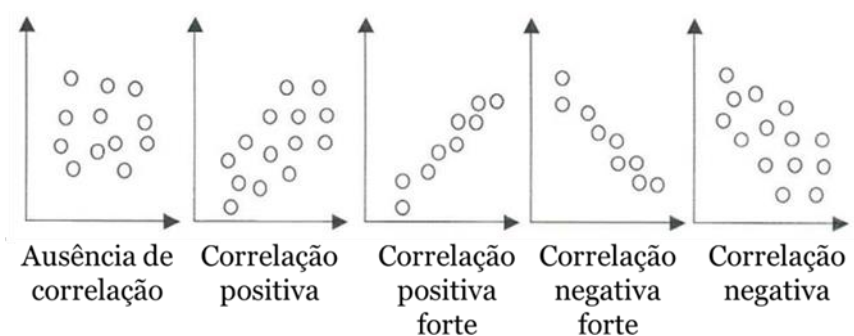
cada ramificação, anotam-se as causas, causas-raiz, etc. Este esquema permite ao grupo elaborar uma representação coletiva das relações entre as causas e o efeito resultante. Esta ferramenta deve ser utilizada após uma fase de geração de ideias, durante a qual é usual que resultem algumas redundâncias. Este tipo de esquema permite classificar ideias de grupo, eliminar as redundâncias e revelar eventuais omissões que possam ter ocorrido [52].

#### 6.1.4 Diagrama de correlação

O diagrama de correlação é outra das ferramentas conhecidas, mas muito pouco utilizada. Permite saber se duas variáveis evoluem em conjunto. O princípio do diagrama é o seguinte [52]:

- representam as medições num diagrama cujos eixos representam as duas variáveis;
- cada ponto no gráfico representa uma medição. A recolha e representação de um conjunto de pontos forma uma nuvem de pontos;
- a correlação existe se a nuvem se orienta segundo uma reta.

Os diagramas de correlação podem ser classificados em cinco tipos diferentes, conforme a forma da nuvem de pontos, como indicado na Figura 35 [52].



**Figura 35:** Cinco tipos de correlação

Estes diagramas podem ainda ser completados [52]:

- pela equação da reta de regressão que permite conhecer o declive e o ponto de interseção das ordenadas da reta que melhor se ajusta ao conjunto dos pontos;
- o coeficiente de determinação ( $r^2$ ), que indica a percentagem da variação que pode ser “explicada” pela presente correlação.

## 6.2 Outras ferramentas para o trabalho de equipa

O trabalho em equipa e a resolução de problemas dispõem evidentemente de outras ferramentas além das quatro que acabamos de descrever. Nesta secção, vamos desenvolver algumas das ferramentas adicionais que são mais utilizadas.

### 6.2.1 *Brainstorming*

O *brainstorming*, apesar de não fazer parte das quatro ferramentas, desempenha um papel essencial na resolução de problemas. O trabalho em equipa tem um custo elevado, então, necessitamos que ele seja eficaz para ser rentável. Uma sessão de *brainstorming* bem ativa permite ganhar um tempo precioso. O princípio base do *brainstorming* é o de reunir um grupo de trabalho multidisciplinar com o objetivo de promover a criatividade por estimulação mútua de ideias [53]. O *brainstorming* deve iniciar-se sempre pela declaração clara dos objetivos do estudo no qual este deve ter uma aceitação consensual [53]. O *brainstorming* é uma técnica muito eficaz para gerar novas ideias e soluções. Ao reunir um grupo de pessoas para discutir um problema ou ideia, é possível explorar diferentes perspetivas e abordagens. Durante o processo de discussão, os participantes são incentivados a falar livremente e fornecer ideias sem julgamento ou crítica [53]. O resultado é uma troca de ideias rica e diversa, que muitas vezes leva a ideias inovadoras e soluções criativas. O *brainstorming* pode ser particularmente eficaz em situações em que a solução para um problema não é clara ou quando existem várias ideias que precisam de ser exploradas [53]. Para além disso, o processo de discussão e análise crítica de ideias não apenas ajuda a melhorar a solução inicialmente proposta, mas também pode levar à identificação de novos desafios ou necessidades que precisam de ser abordados. É um processo iterativo, no qual as ideias são aprimoradas e melhoradas através da contribuição de outras perspetivas e experiências [53].

No entanto, é importante lembrar que o *brainstorming* só é eficaz se for feito corretamente. Por exemplo, o grupo deve ser composto por pessoas com diferentes formações, perspetivas e habilidades, e o processo deve ser conduzido de forma a incentivar a participação ativa de todos os membros [53]. Além disso, é importante que o grupo seja capaz de fornecer um feedback construtivo e crítico, em vez de apenas elogiar ou criticar as ideias que são apresentadas. O objetivo é criar um ambiente de confiança que incentive a livre troca de ideias e o debate construtivo [53].

Em resumo, o *brainstorming* é uma técnica valiosa para gerar novas soluções. Ao reunir um grupo de pessoas com diferentes habilitações para discutir uma ideia ou problema, é possível explorar diferentes perspectivas e abordagens. Esta discussão deve ser feita corretamente de modo a permitir uma discussão livre e construtiva [53].

### **6.2.2 Diagrama de afinidades**

O diagrama de afinidades é uma das ferramentas que pode ser utilizada para reagrupar as ideias na sequência de uma sessão de *brainstorming*. Com efeito, as ideias resultantes deste tipo de sessões podem ser redundantes ou mal compreendidas pelo grupo. Para retirar toda a utilidade delas, é necessário proceder como que à sua “limpeza” posterior [52].

Com esse objetivo, as ideias voltam a ser lidas, confirmando-se que todos os participantes tenham a mesma interpretação do que está escrito. A seguir, as ideias são agrupadas pela sua natureza, tendo em vista [52]:

- Eliminar as redundâncias;
- Clarificar as ideias;
- Organizar e hierarquizar a “colheita”.

Para cada agrupamento de ideias, procura-se então um título que permita sintetizar as ideias nele incluídas. Se o número de ideias for elevado, pode realizar-se um segundo nível de agrupamento [52].

### **6.2.3 Diagrama de forças/fraquezas**

O diagrama forças/fraquezas é uma ferramenta que utilizamos para comparar duas soluções. Todas as soluções são no fundo um compromisso, possuindo as suas forças, mas também as suas fraquezas. O diagrama força/fraqueza permite comparar, de um modo o mais objetivo possível, os dois compromissos e selecionar a melhor das soluções [52].

### 6.2.4 Os 5 Porquês

Os 5 Porquês (QOOQCP) é uma ferramenta que permite colocar as questões corretas antes de se começar a abordagem de um determinado problema. Não é raro lançarmo-nos na resolução de um problema, sem antes termos colocado todas as questões necessárias para a sua resolução. É só depois de termos implementado a solução que descobrimos que nos tínhamos esquecido de um qualquer elemento importante que compromete a solução adotada [52].

Para termos a certeza de que temos todos os elementos que nos permitem apreender de forma completa um problema, é necessário colocar as questões QOOQCP (Quem, Quê, Onde, Quando, Como, Porquê). A resposta a estas questões permite identificar os aspetos essenciais de um problema [52].

- Quem: Quem está implicado pelo problema, quem são as pessoas implicadas?
- Quê: Qual é o problema?
- Onde: Qual é a localização do problema?
- Como: Sob que forma ocorreu o problema?
- Quando: Em que momento ocorreu o problema?
- Porquê: Quais as razões que nos levam a querer resolver o problema?

### 6.3 Implementação de uma metodologia de resolução de problemas

Uma metodologia de resolução de problemas não passa de certeza pela utilização desordenada de todas as ferramentas que acabamos de descrever. Pelo contrário, é necessária uma metodologia rigorosa, balizada por etapas, para que estas ferramentas disponibilizem toda a sua eficácia [53], ver Figura 36.

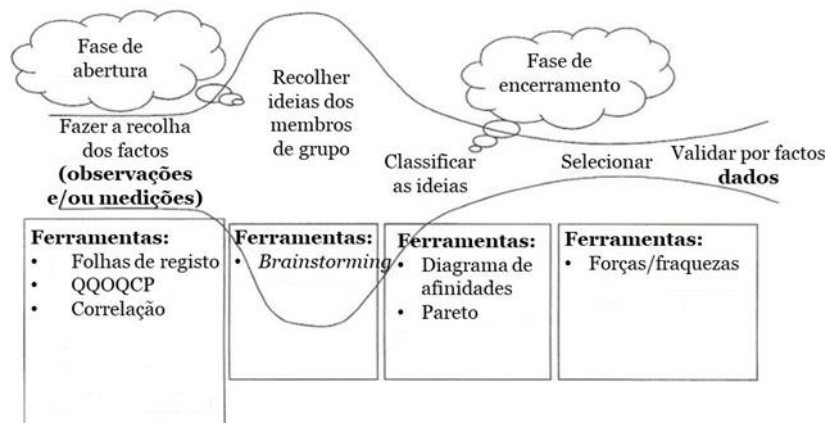


Figura 36: Desenvolvimento de uma etapa de resolução de problemas.

Sendo assim, as quatro etapas da resolução de problemas são as seguintes [53]:

1. Identificar e caracterizar o problema;
2. Analisar as causas;
3. Procurar soluções;
4. Definir a implementação das soluções.

Para conseguirmos obedecer a estas 4 etapas é necessário a utilização de uma metodologia abordada na primeira fase deste trabalho, neste caso o Seis Sigma.

## 7 Caso de estudo

Durante o mês de fevereiro efetuei um estudo a cerca das paragens de processo que ocorriam numa determinada linha, neste caso a linha B. Inicialmente comecei por estudar as linhas todas, mas depois foquei-me na linha B porque tendo em conta que o meu estudo se foca no maior número de *set ups* e sabendo que esta linha apresenta muitas mudanças de referência e paragens por vezes por avaria, manutenções programadas e mesmo a realização de amostras, esta foi a razão para a escolha desta linha.

Um dos grandes problemas associados na empresa está relacionado com o grande desperdício de purga que não é aproveitado para reprocessamento.

A purga consiste num processo de limpeza da máquina de extrusão antes de mudar de um material para outro ou quando ocorrem interrupções na produção e cujo objetivo é remover resíduos da máquina, como pigmentos contaminantes, óleos de manutenção, materiais degradados que ocorrem anteriormente devido a uma mudança de referência ou um arranque semanal [54].

O funcionamento deste processo consiste em forçar a passagem de um material através de uma válvula de descarga para dar forma a ele e conferir características específicas. Durante a purga, o operador faz a máquina extrusora expelir o material residual. Este processo é realizado aquecendo a extrusora e forçando o material restante a sair através do orifício. O material residual é descartado e a máquina fica limpa para a próxima produção [54].

### 7.1 Benefícios

O facto de se realizar este processo proporciona alguns benefícios, nomeadamente [54]:

- Evitar a contaminação: A purga remove qualquer material remanescente, evitando que esse material se misture com o próximo a ser reprocessado.
- Melhoria da qualidade: A razão para a qual é realizado este sistema de limpeza provoca uma redução no defeito do produto final.
- Economização de tempo e material: Uma purga eficiente minimiza o desperdício e acelera a troca de materiais.

## **Objetivo**

O que tem acontecido na empresa e que se tem verificado está relacionado com a grande quantidade de *set ups* feitos principalmente na linha B que faz com que existam várias limpezas de purga o que provoca um aumento do tempo de paragens e para além disso, um forte desperdício de referências que, num ano toda esta purga é significativa para o processo. Sendo que esta purga não é reprocessada e, visto que não se dá uma forte utilidade a isto e considerando que é desperdício o objetivo deste estudo consiste na minimização do tempo de aparecimento de purgas de modo a minimizar os *set ups* e, por sua vez, reutilizar a purga no processo de extrusão de modo a reduzir o desperdício verificado a partir deste estudo.

Na sequência do que podemos constatar nos capítulos precedentes, a qualidade na produção exige uma organização rigorosa baseada num modelo de referência. No entanto, o sistema de qualidade não é por si só suficiente, para conseguir produtos de boa qualidade. Necessitamos também de ferramentas por vezes muito simples, conhecidas de todos, que permitem a resolução dos problemas quotidianos da empresa [55].

### **7.1.1 Folha de Obra- Manutenção**

Um dos primeiros conceitos utilizados para analisar um problema no processo foi a folha de obra, algo que ajuda o operador na produção, Figura 37.

## FOLHA DE OBRA - MANUTENÇÃO

### 1. Entidade Emissora (A preencher pelo requerente da intervenção)

Linha:	<input type="text"/>	Horas Máquina:	<input type="text"/>	Funcionário:	<input type="text"/>
Equipamento:	<input type="text"/>	Código:	<input type="text"/>	Data/Hora:	<input type="text"/>
Descrição (obrigatório): _____					

Importância:

Urgente

Planeada

Normal

### 2. Entidade Recetora (A preencher por quem recebe Documento)

Nome:	<input type="text"/>	Número:	<input type="text"/>	Data:	<input type="text"/>	Hora:	<input type="text"/>
Tipo de Manutenção: Curativa <input type="checkbox"/> Preventiva <input type="checkbox"/> Set-Up <input type="checkbox"/> Edifício <input type="checkbox"/> Limpeza <input type="checkbox"/>							

### 3. Horas Gastas (A preencher por quem executa)

Nome	Número de Horas Gastas				
Data:					

### 4. Execução (A preencher por quem executa)

Materiais:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Descrição da intervenção: _____			

### 5. Avaliação de causas em Equipamentos produtivos (Preencher em caso de manutenção Curativa)

O que originou a intervenção da Manutenção?		Obrigou a paragem da máquina?	
<input type="checkbox"/> Falha da Máquina (Avaria)	<input type="checkbox"/> Falha da Máquina (Provocada)	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
<input type="checkbox"/> Problemas na produção	<input type="checkbox"/> Limpeza	Obs: _____	
<input type="checkbox"/> Outra: _____			

### 6. Validação

Técnico: _____	Operador/Chefe de Turno: _____
Data: ___/___/___	Hora: ___:___

**7. Avaliação de medidas a implementar pela manutenção** (Preencher em caso de paragem por falha da máquina (Avaria))

A mesma Avaria já ocorreu alguma vez?

Sim  Não

Caso a resposta seja **sim**. Há quanto tempo? Qual a periodicidade de ocorrência?

\_\_\_\_\_

**Caso a resposta à pergunta anterior seja afirmativa:**

Já existe no plano de manutenção alguma tarefa que permita avaliar o estado do/s componente/s de modo a evitar a falha que originou a paragem?

Sim - (Reduzir periodicidade no Plano)

Não - (Avaliar frequência de ocorrência e definir tarefa de manutenção preventiva e sua periodicidade)

De que forma a paragem pode ser evitada?

Introdução de tarefa de controlo no plano de manutenção

Substituição de peça no plano de manutenção

Alteração ou reforço dos componentes que falharam

Outra: \_\_\_\_\_

Não Aplicável

De que forma o tempo para resolução da avaria pode ser reduzido?

Stock de spare parts – Qual? \_\_\_\_\_

Ferramentas – Qual? \_\_\_\_\_

Formação – Qual? \_\_\_\_\_

Outra – Qual? \_\_\_\_\_

Não aplicável

---

**8. Validação Final**

Engenheiro de Manutenção: \_\_\_\_\_

Supervisor de Manutenção: \_\_\_\_\_

Validação pelo diretor de Operações em caso de manutenção **Curativa** ou **Preventiva** em equipamentos produtivos.

Diretor de Operações: \_\_\_\_\_


**Figura 37:** Folha de registo da linha B.

A Figura 37 apresenta um exemplo de uma folha de registo utilizada na empresa. Nota-se a facilidade de recolha de informações, bastando, em caso de defeito, fazer um traço na linha correspondente [52]. Podemos referir que a partir desta folha podemos definir o problema de modo a conseguir obter dados concretos a cerca do problema que afetou a linha. Neste caso estamos a falar da folha de registo do dia 28 de fevereiro no qual o problema iniciou-se durante a noite e prolongou-se pela manhã e tarde do dia seguinte e o problema verificado deveu-se a uma falha no motor da tolva onde é inserida a carga. Não é possível visualizar os detalhes do problema desse dia na folha de registo disposta neste trabalho devido a confidencialidade que a empresa pretende respeitar

relativamente ao problema sucedido. Apesar de tudo existem outras ferramentas neste trabalho que fundamentam da melhor maneira o problema que se sucedeu nesse dia. Os detalhes acerca deste problema são descritos mais a frente neste trabalho, nomeadamente pelo diagrama de afinidades e pelo QQQQCP.

### 7.1.2 Checklist de Set up

Uma outra ferramenta muito utilizada nesta empresa é uma lista que contém todos os processos de limpeza do *set up* que ajudam a definir prioridades e minimizam o tempo de paragem da linha. Na Figura 38 e Figura 39 é possível ver a lista utilizada na empresa.



**CHECKLIST DE SETUP**

[ ] → [ ]

**Nota: As tarefas que não são para ser executadas neste setup foram assinaladas e rubricadas pelo chefe de turno**

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Turno: \_\_\_\_\_

LA:

LB:

LC:

Grupo	Equipamento	Descrição da tarefa	Responsável	Realizado por:	Rúbrica Chefe T.	Observações
ARRANQUE SETUP	Painel de controlo	Carregar receita <b>setup 1/2</b>	Operador produção			Aplicável às referências Referência 1 e Referência 2
		Carregar receita <b>setup</b>	Operador produção			Obrigatório em todos os setups excepto mudanças diretas Aplicável às restantes referências <b>[exclusivo linha A]</b>
	Extrusora	Passar material de limpeza	Operador produção			Obrigatório em todos os setups excepto mudanças diretas
Aditivos	Misturadora aditivos	Limpeza das paredes da misturadora	Operador produção			
DOSIFICAÇÃO	Filtros dos enviadores	Limpeza dos filtros dos enviadores dos brabenders alocados à carga	Técnico de Manutenção			Obrigatório nos setup antes e após utilização do CaCO <sub>3</sub> [LB] Obrigatório nos setups MgOH → MgOH 1.5/2.5 [LA]
		Tolva pulmão	Limpeza das paredes	Operador produção		
	Limpeza da válvula de descarga		Técnico de Manutenção			
	Brabender aditivos	Abertura para limpeza das paredes e fuso do dosificador dos aditivos	Operador produção			
	Brabenderes	Abertura para limpeza das paredes e fuso do dosificador dos polímeros	Operador produção			Obrigatório após utilização de PP ou PE
	Brabenderes cargas	Abertura para limpeza das paredes e fuso do dosificador das cargas	Operador produção			
	Sem-fim de alimentação	Limpeza para retirar resíduos	Técnico de Manutenção			

**Figura 38:** Checklist de Set up.

A partir destes resultados podemos organizar da melhor maneira a limpeza da extrusora sendo que inicialmente é necessário programar o painel com a receita programada pela empresa de modo que os operadores saibam o que está a ser feito. Para além disso, algo que será mencionado mais a frente neste trabalho devido a uma mudança de referência é, a limpeza da extrusora com o material de limpeza. Existem operações que são feitas pela manutenção como é o caso da limpeza da válvula de descarga. A limpeza é realizada pela manutenção por diferentes motivos [56]:

- **Funcionamento Adequado:** Com o tempo, resíduos e outros depósitos podem se acumular na válvula de descarga, afetando seu funcionamento adequado. A limpeza regular garante que a válvula funcione bem e sem problemas.

- **Prevenção de Entupimentos:** Entupimentos na válvula de descarga podem ser causados por detritos. Isso pode causar mau funcionamento ou falha completa. A limpeza regular mantém a válvula limpa e evita entupimentos.
- **Segurança:** Válvulas de descarga danificadas podem representar riscos à segurança, como fuga de gás ou água potencialmente perigosos. A manutenção e a limpeza regulares ajudam a encontrar e corrigir problemas antes que se tornem graves ou perigosos.

EXTRUSORA	Tolva 1	Limpeza das paredes	Operador produção			
	Tolva 2	Limpeza das paredes	Operador produção			
	Tolva vácuo	Limpeza das paredes	Operador produção			
	Fuso amassador	Abertura e limpeza do fuso	Técnico de Manutenção			
	Fuso transportador	Abertura e limpeza do fuso	Técnico Manutenção			
	Porta-filtros	Limpeza das paredes do porta-filtros	Operador produção			
		Limpeza dos dois favos	Técnico de Manutenção			Tarefa obrigatória na mudança para Ref. 3 / Ref. 4
	Fleira	Limpeza dos orifícios	Técnico de Manutenção			
	Lâminas	Verificação do estado das lâminas, substituir se necessário	Operador produção			
	Depósito do vácuo	Retirar material presente no interior do depósito	Operador produção			
Tubagem do vácuo	Verificação de obstrução da tubagem	Operador produção				
Torneira de vácuo	Verificação de obstrução da torneira	Operador produção				
FIM DE LINHA	Centrifugadora	Abertura da centrifugadora e lavagem c/ água para retirar todos os resíduos	Operador produção			
		Retirar o tubo de descarga de grão da zona da centrifugadora para a criva para retirar todos os resíduos	Operador produção			
	Tanque	Despejo da água, lavagem do tanque e novo enchimento com água	Operador produção			
		Limpar e se necessário substituir o filtro	Técnico de Manutenção			
	Tapete-Criva	Descontaminação da criva e limpeza do grão acumulado na tolva de envio do grão	Operador produção			
	Silo produto final	Limpeza do silo para remover resíduos Limpeza da caixa da válvula	Operador produção			
	Boca enchimento BB	Limpeza para remover resíduos	Operador produção			
Separador finos	Limpeza para remover resíduos	Técnico de Manutenção				
ARRANQUE DA PRODUÇÃO	Parâmetros de processo	Carregar receita e confirmar parâmetros de extrusão	Operador produção			
	Alimentação das matérias-primas	Verificar parâmetros e correta identificação das tremonhas de alimentação e respetivas manguelras Verificar operacionalidade e funcionamento dos equipamentos	Chefe de turno			
	Extrusora	Verificar visualmente o grão; tamanho, forma, cor e corte	Operador produção			
	Inspeção visual	Retirar 15 minutos de grão após o arranque para reprocessar	Operador produção			
Tapete-Criva						
<b>Validação final do chefe de turno de todas as tarefas realizadas no setup: _____</b>						

**Figura 39:** Checklist dos Set up (continuação).

Existem outras operações feitas pela manutenção, mas todas estão relacionadas com limpeza da extrusora. Por outro lado, a limpeza das tolvas é realizada pela manutenção, mas este aspeto é clarificado ao longo do trabalho, nomeadamente a razão pela qual esta operação é feita pela produção. Algo que deve ser destacado nesta *checklist* é a que

se encontra destacado a vermelho a alimentação das matérias-primas, uma ação realizada pelo chefe de turno. Neste caso antes de iniciar o arranque da referência é necessário proceder a uma verificação de todos os dosificadores, se estes se encontram nas quantidades necessárias para a produção. Também é necessário realizar uma última verificação de todos os equipamentos antes de se iniciar a produção da nova referência.

Por fim, os resultados não são divulgados nesta *checklist* porque existem outras formas para aprofundar o problema detetado no mês de fevereiro. Existe um protocolo de confidencialidade que não permite a divulgação dos resultados por parte da *checklist* de *set up*. A partir destas duas ferramentas foi possível retirar dados da linha B que se encontram em seguida neste trabalho.

## 7.2 Set-up da linha B

Tendo em conta os dados recolhidos pela folha de registo e a *checklist*, decidi quantificar e perceber as paragens desta linha e apresento tabelas-resumo sobre os detalhes das paragens para o mês de fevereiro.

**Tabela 4:** Tempo/ Paragens da linha B.

Linha	Mês	Output médio (kg/h)	Tempo disponível (min)	Paragens planeadas (min)
B	Fevereiro	1090	41760	2354

A partir destes dados podemos constatar que existiram várias referências a serem produzidas e que tendo em conta isso obtivemos um *output* médio de 1090 kg/h. É necessário considerar que as amostras apresentam vários *outputs* que variam entre os 900 kg/h e os 1200 kg/h. Para além disso, as paragens planeadas dizem respeito a paragens programadas para a realização de amostras ou mesmo manutenções planeadas. Estas manutenções são periódicas, ou seja, de duas em duas semanas. Em seguida analisamos as paragens de produção, ou seja, paragens do processo que podem ser provocadas por diferentes fatores como por exemplo, entupimento do filtro, lâminas partidas ou simplesmente má limpeza do equipamento. Isso é possível verificar a partir da seguinte tabela que estuda os tempos de paragens para estes diferentes fatores.

**Tabela 5:** Paragens da produção.

Paragens de Produção (min)								
Set up	Avaria	Filtro	Fieira	Lâminas	Vácuo	Brabenders	Amostras	Outras
3049	851	0	473	13	385	153	16	417

A partir dos dados é possível verificar que esta apresentou um *set up* bastante elevado devido a constante mudança de referência. Como anteriormente referido esta linha produz diversas referências de produtos, o que acarreta elevados tempos de paragem.

Por sua vez, este *set up* também está associado a outro, a avaria porque durante este mês um dos grandes problemas apresentados foi uma avaria na tolva. Os detalhes deste problema são explorados mais a frente neste trabalho. Uma outra questão está relacionada com o parâmetro “Outros”. Neste caso estamos a refirmo-nos de possíveis avarias que possam ter uma duração muito curta, como por exemplo, uma limpeza de equipamento. Por outro lado, são possíveis avarias que não são consideradas avarias por apresentarem um tempo de paragem mais curto.

Em seguida depois de expormos estes parâmetros segue abaixo uma tabela relativa aos valores obtidos destes parâmetros durante o mês de fevereiro.

**Tabela 6:** Fatores avaliados na linha B.

Scrap Total (%)	Disponibilidade (%)	Eficiência (%)	FTQ (%)	OEE (%)	TNP (%)
0,88	81,5	95,9	87,1	75,9	21,8

A partir dos resultados obtidos podemos referir que os valores da disponibilidade foram baixos devido a uma grande paragem por *set up* e avaria que pode ser detalhada a partir do diagrama de afinidade. Para além disso a paragem por *set up* pode ser visualizada a partir dos resultados do diagrama de Pareto. Apesar disso, como trabalhamos com um output mais baixo é possível verificar que a eficiência foi bastante elevada devido ao facto de o *output* usado nas referências ser baixo. Por sua vez tendo em conta que o *First Time Quality* foi ligeiramente mais baixo isto pode ter sido por causa da qualidade do grão não ser a melhor e ser necessário alguns testes para a não rejeição do lote, nomeadamente não apresentar pontos negros, bolhas ou rebarbas. Por último, O TNP foi baixo porque enquanto o OEE mede a percentagem do tempo de

produção planeado que é produtivo, o TNP mede a percentagem de todo o tempo que é produtivo. Fornece uma visão global da eficácia de todo o sistema. Sendo assim como existiu um grande *set up* e por sua vez uma avaria que condicionou os resultados do presente mês de fevereiro isto levou a que o valor fosse baixo.

Em seguida são apresentados os valores de produção total produto não conforme e desperdício.

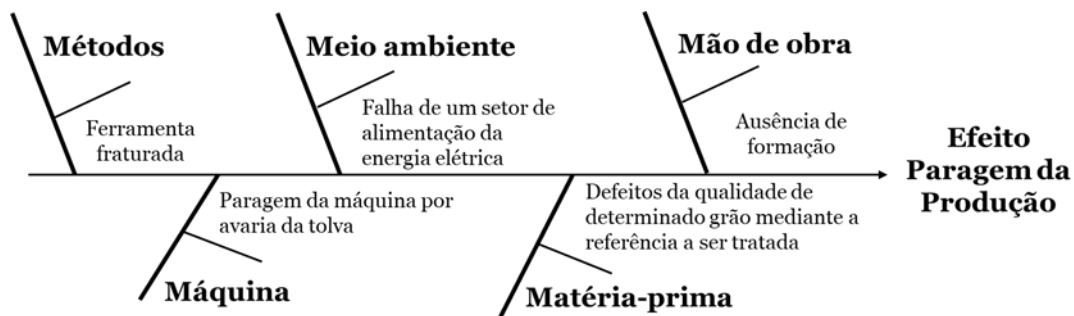
**Tabela 7:** Produções finais da linha B.

Produto Total (kg)	Produto não conforme (kg)	Scrap Total (kg)
590077	11845	5166

A partir destes dados podemos perceber que o desperdício apresentado foi bastante elevado por causa da quantidade de mudanças de referência, ou seja, o facto de estarmos sempre a mudar de referência obriga a que exista muitos arranques da máquina e por sua vez, leva a libertação de purga no processo. Essa purga é material que não é utilizada no processo e, por sua vez, estamos a falar de 20 ou 30 kg que podiam ser utilizados novamente. Tendo em conta a percentagem e o valor avaliado em kgs continuamos a perceber que o desperdício é elevado. Sendo assim mais a frente neste trabalho podemos referir que estamos a realizar um estudo de forma a reduzir o tempo de aparecimento da purga e de modo que isso traga benefício para o processo.

### 7.2.1 Diagrama de espinha de peixe

O diagrama de espinha de peixe é uma ferramenta normalmente utilizada em parâmetros de *brainstorming* e serve para organizar a informação da melhor maneira possível de modo a relatar um problema ocorrido num determinado dia. A partir da Figura 40 podemos verificar uma clara organização dos dados que permitem explicar da melhor maneira o problema que se sucedeu durante o mês de fevereiro.

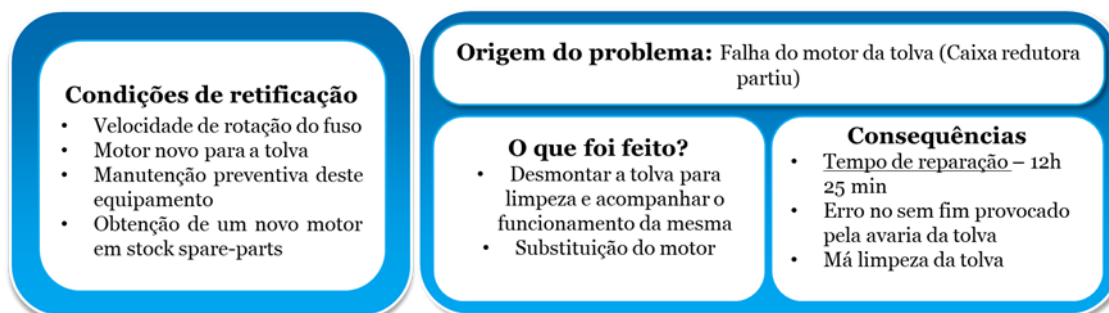


**Figura 40:** Diagrama de espinha de peixe da linha B.

Podemos ver que existiu uma quebra do motor da tolva que levou a diferentes problemas que se foram agravando, provocando falhas consoante o produto final, nomeadamente o defeito de grão. Para além disso, sabendo que nem todas as pessoas apresentava formação, foi assim identificada a sua necessidade, de modo a minimizar as paragens. Um critério que clarifica melhor o problema que ocorreu na linha B durante o dia 28 de fevereiro é o diagrama de afinidade apresentado seguidamente.

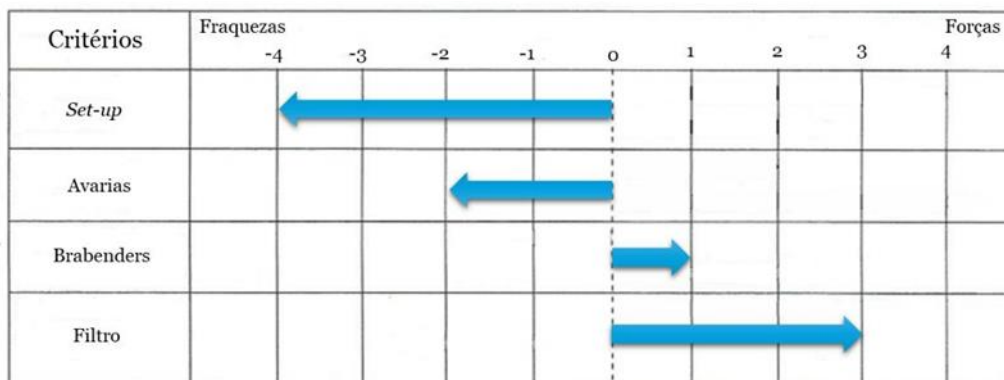
### 7.2.2 Diagrama de afinidade

A partir do diagrama de afinidade podemos perceber em específico os problemas relevantes que provocaram um *set up* prolongado e por sua vez a avaria que foi considerada que neste caso é a avaria do motor da tolva. Na Figura 41 apresenta-se o diagrama de afinidade da linha B da empresa ACI.



**Figura 41:** Diagrama de afinidade da linha B.

Outra ferramenta determinante no processo é o diagrama de forças/fraquezas (ver Figura 42). Um aspeto importante a realçar deve-se ao facto de que esta ferramenta normalmente é utilizada para comparar diferentes redefinições de base, mas tendo em conta que estamos a explorar o problema mais determinante na linha B durante o mês de fevereiro é necessário esclarecer que o diagrama foi adaptado.



**Figura 42:** Diagrama de forças/fraquezas da linha B.

A Figura 42 apresenta um diagrama de forças/fraquezas comparando as diferentes paragens que ocorreram durante o mês de fevereiro na unidade fabril da linha B. O diagrama evidencia claramente as vantagens e os inconvenientes das paragens ocorridas durante esse mês.

Sendo assim, a partir da tabela podemos referir que a maior fraqueza apresentada neste diagrama são os *set ups*. As constantes mudanças de referência obrigam a fortes alterações por paragem, nomeadamente arranques de máquina, limpeza por excesso de vácuo e possíveis avarias. Neste caso as avarias associadas a este mês estão relacionadas com um dos problemas mencionados já acima neste caso a quebra da caixa reductora. Apesar de existirem *set up* associados a limpeza de filtro por excesso de impurezas e limpezas de vácuo podemos ver que se encontra o nível de avarias como sendo uma fraqueza para a produção. Um dos problemas comuns associados é a libertação da matéria-prima (como o PPH1) pela área de vácuo, o que pode ser significativo na perda de aproveitamento. Embora este problema não seja muito recorrente, ele acarreta custos significativos para a empresa. Essa falha geralmente está associada a dois fatores:

- Excesso de carga adicionado na amostra que pode levar a não realização de vácuo;
- A mudança do filtro feita tardiamente.

Um fator relevante e com incidência nos últimos tempos está relacionado com a mudança de filtro. Quando se efetua a troca do filtro existe um sistema de carregamento que é descarregado o sistema hidráulico. Obviamente que o resto do sistema está continuamente a trabalhar. Ao efetuar a troca de filtro depois dos compartimentos estarem todos fechados o sistema recarrega dentro de 30 segundos. O problema é que se não respeitarem esse sistema de recarregamento e como todo o material está a ser processado pode levar a que parte da amostra possa ir para o porta lâminas e para as zonas de arrefecimento entupindo o misturador.

Também podemos considerar que devido a essas avarias o *set up* é maior. Também é possível ver que a limpeza de filtros foi bastante reduzida o que significa que as mudanças de filtro foram rápidas e que ocorreram sem incidentes e por isso está classificada como uma força de nível 3.

Por último, em relação ao doseador normalmente este apresenta algum problema a nível de algumas referências ficarem aderentes as paredes do doseador. No início do mês, tentou-se entender o motivo desse fenómeno ocorrer, e descobriu-se que o nome do composto é sulfureto de zinco. A descoberta deste composto foi feita através do acompanhamento da realização das diferentes referências produzidas durante o mês de fevereiro. Este composto devido a humidade do ar por vezes pode ficar aderente as paredes do doseador e é necessário realizar uma limpeza que é efetuada pela produção porque é um problema que não é necessário estar a reportar à manutenção. Deste modo agilizamos tempo e promovemos o menor tempo de paragens relativas ao processo. Por fim, uma última ferramenta utilizada no processo foi o QQQQCP.

### **7.2.3 Aplicação dos 5 Porquês**

Na Tabela 8 são apresentados os detalhes do problema verificado no dia 28 de fevereiro de 2024 e no qual são explorados na tabela e no texto que se segue abaixo.

**Tabela 8:** Aspectos sobre a quebra da caixa redutora.

Aspectos essenciais do problema	
<b>Quem</b>	Pessoal da produção e é necessário a manutenção para a resolução do problema
<b>Quê</b>	Avaria no motor da tolva (a caixa redutora partiu)
<b>Onde</b>	Na tolva 1 onde são introduzidas as cargas
<b>Como</b>	Inicialmente ouviu-se um barulho na tolva depois houve uma falha no sem fim e depois ouve um problema de entupimento por estar demasiada carga acumulada na tolva 1.
<b>Quando</b>	Durante a noite do dia 28 de fevereiro foi quando se ouviu o barulho na tolva
<b>Porquê</b>	No arranque da máquina é necessária a tolva 1 para iniciar o processo de extrusão. Sem a tolva 1 não é possível enviar a carga para a tolva 2 para prosseguir o processo.

Neste caso o problema associado durante o mês de fevereiro foi a avaria no motor da tolva 1, ou seja, a quebra da caixa redutora. A quebra da caixa redutora no processo de extrusão neste caso deveu-se a um fator importante, ou seja, o desgaste ou falha nos componentes internos. Inicialmente, houve um superaquecimento do motor da tolva no qual pode ocorrer por sobrecarga, mau funcionamento dos elementos do fuso ou mesmo falta de lubrificação. Os primeiros sinais foram evidentes no qual foi possível visualizar no painel de controlo um aumento excessivo da temperatura e ouvir ruídos anormais. Em seguida, fiz algum acompanhamento do trabalho por parte da manutenção no qual durante a resolução do problema foi possível ver que os componentes internos da caixa redutora estavam desgastados e isso levou a quebra da caixa. Em seguida, depois da quebra da caixa conseguiu-se ver um erro no sem-fim, um componente comum em sistemas de redução de velocidade. O sem-fim consiste num par de engrenagens, uma com um formato de parafuso e outra com formato de roda dentada, e ambas trabalham juntas para reduzir a velocidade de rotação e aumento do torque (capacidade do motor de realizar um esforço de rotação ou gerar energia). Este problema pode ter sido causado por falta de manutenção adequada, lubrificação insuficiente ou uso prolongado sem substituição de peças desgastadas. A solução para esse problema envolve a inspeção regular e a manutenção preventiva da caixa redutora incluindo a substituição de peças desgastadas conforme o necessário [57].

Finalmente, cada uma destas questões pode ser complementada por um Quanto? Que permite obter uma resposta quantificada. Apesar disto, o problema foi resolvido substituindo a caixa redutora. Os valores associados a esta manutenção não são mencionados.

Um aspeto que é necessário entender está relacionado com a questão da colocação dos diferentes compostos para a realização da referência. Tendo em conta que estamos a falar da linha B é essencial perceber que dentro do processo existem 7 dosificadores gravimétricos sendo que os componentes são dispostos de acordo com a Figura 43.



**Figura 43:** Dosificadores gravimétricos.

Numa primeira análise é possível verificar que o tamanho dos dosificadores gravimétricos é diferente de acordo com os componentes que são adicionadas. Normalmente os dosificadores são maiores quando se é adicionada carga e nos aditivos. Como já foi referido anteriormente, as cargas apresentam um papel importante no qual confere enchimento à referência e por sua vez oferece peso, mas é necessário referir que nem todas as cargas apresentam a mesma quantidade e o mesmo peso. Uma carga que é adicionada em pequenas quantidades e que apresenta pouco peso é o hidróxido de magnésio (MgOH).

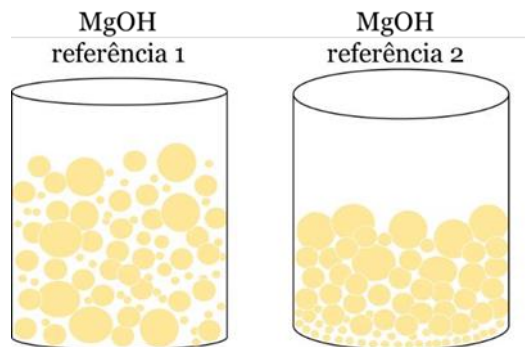
O conhecimento das propriedades dos sólidos particulados é fundamental ao estudo de diversas operações unitárias, tais como a peneiração, a fluidização, o escoamento de fluidos através de leitos granulares. Estas propriedades podem ser específicas do sólido (dureza, densidade) ou podem ser consequência das características do leito poroso, como é o caso da densidade aparente.

### 7.3 Densidade aparente

A densidade aparente ( $\rho_a$ ) é a densidade do leito poroso, ou seja, a massa por unidade de volume do sólido particulado. Esta densidade pode ser calculada por um simples balanço de massa, tendo em conta a densidade do sólido e do fluido. Neste caso tendo em conta que estamos confinados a um certo volume temos de considerar a densidade da partícula e a densidade do ar. A Equação 1 é aquela a considerar-se.

$$\rho_a = \frac{\text{Massa total da amostra}}{\text{Volume total}} = \frac{\text{massa do sólido} + \text{massa do fluido}}{\text{Volume total}} \quad (1)$$

Sendo assim temos de ter em conta o tipo de carga utilizada. Ao abordarmos dois casos de hidróxidos de magnésios cujas referências são diferentes. Tendo em conta que ambas as referências apresentam características idênticas algo que as diferencia é a densidade aparente e a partir da imagem a seguir podemos ver as diferenças.



**Figura 44:** Densidade aparente das referências 1 e 2 (ambas as referências apresentam a mesma massa).

Com base na referência 1, observa-se que esta ocupa um maior volume. Como consequência, o aumento de volume numa superfície fechada resulta numa densidade aparente mais baixa, o que indica que, embora o peso das duas referências seja o mesmo, a quantidade introduzida neste dosificador foi menor em termos de volume.

Por outro lado, no caso da referência 2, nota-se que o volume ocupado é menor, e as partículas estão mais agregadas, reduzindo os espaços entre elas. Essa compactação das partículas resulta numa densidade aparente mais elevada, o que significa que, embora o peso seja o mesmo, o volume necessário para albergar a referência 2 no dosificador é menor.

Portanto, considerando que o dosificador possui uma grande capacidade, a quantidade introduzida pode variar em volume, mas é essencial ajustar as configurações de acordo com a densidade aparente de cada material para garantir precisão na dosagem.

Assim, o facto do dosificador apresentar uma grande quantidade deve-se não só a densidade aparente da referência, mas também porque a carga confere enchimento a matéria-prima que pretendemos obter. Para além disso, os dosificadores 1, 2 e 7 dosificam em maior quantidade e sabendo que a formulação de carga-aditivos varia entre os 45 e os 60% podemos referir que grande parte da formulação é constituída por carga e aditivos, essenciais para a produção da referência.

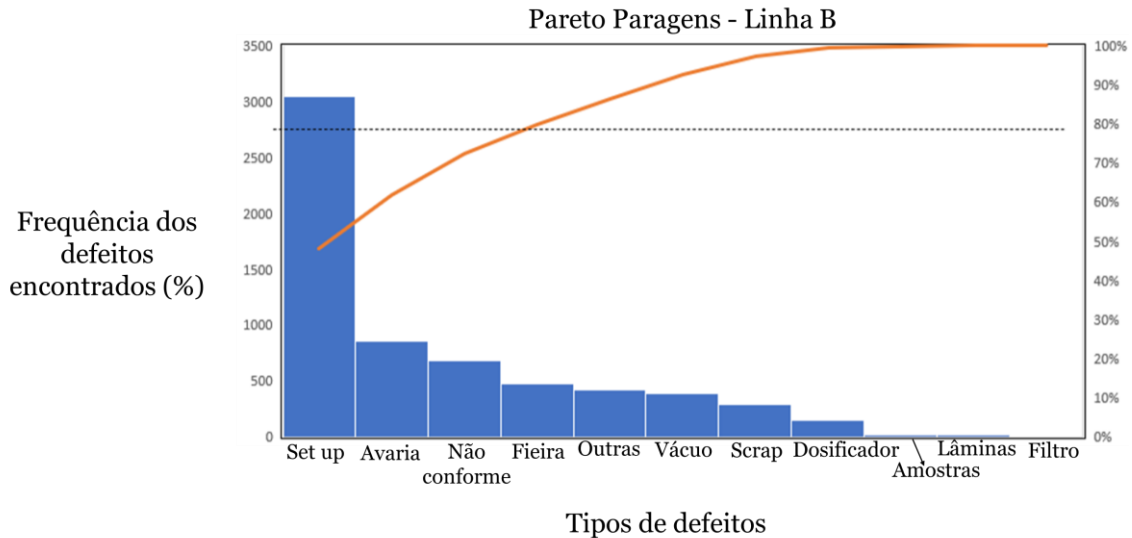
No caso dos polímeros estes dosificam em menor quantidade. Apesar de não ser tão significativo como nas cargas e aditivos estes são importantes no processo porque é a matéria-prima constituída por PE ou PP. Sendo assim, e tendo em conta este método foi realizado um estudo a cerca do tempo que demora a aparecer a purga de modo a perceber a quantidade de desperdício presente na transição de referência e tentar realizar uma maneira para produzir a menor quantidade de purga no processo.

Temos de considerar que a transição de referência é diferente para cada composto produzido por isso inicialmente tentei encontrar algumas estratégias para mitigar a quantidade de purga no processo. É preciso entender que existem vários parâmetros a considerar, nomeadamente o *output* da referência, a temperatura do fuso, a mistura porque as referências são diferentes.

A partir dos dados obtidos decidi fazer um diagrama de Pareto no qual enquadra as paragens verificadas ao longo do mês de fevereiro.

### 7.3.1 Diagrama de Pareto

A partir dos dados recolhidos realizou-se um diagrama de Pareto sobre as diferentes paragens verificadas ao longo do mês de fevereiro. Com efeito, é indispensável ordenar os dados recolhidos para interpretar os factos. Na Figura 45, ordenámos por quantidade de horas de imobilização as causas de paragem de uma das máquinas de produção.



**Figura 45:** Diagrama de Pareto da linha B do mês de fevereiro de 2024.

A partir deste diagrama é possível visualizar os maiores defeitos previstos para cada uma das linhas. O diagrama da linha B revela claramente que os dois elementos sobre os quais o grupo deve trabalhar prioritariamente são as paragens por *set up* e as avarias. Segundo o presente mês de fevereiro podemos referir que a avaria foi algo significativo por causa de problemas apresentados na tolva, nomeadamente um problema no motor que fez com que a mistura entupisse e leva-se a um longo tempo de paragem. Por sua vez e a partir do diagrama podemos ver que a quantidade de *set up* foi significativa, visto que esta linha está constantemente a mudar de referência. Para além disso, para desenvolvermos um diagrama de Pareto é necessário respeitar 2 passos [52]:

- ordenar as causas por frequência;
- traçar uma curva da percentagem acumulada dos defeitos.

Em seguida após realizarmos um estudo acerca da linha B foi necessário realizar um estudo a nível dos indicadores estudados nomeadamente, o OEE, e os preceitos associados a este indicador, a disponibilidade, a eficiência e o FTQ. Sendo assim é preciso realçar um fator relativamente importante o OEE. Tendo em conta que este fator já foi explicado anteriormente ao longo do trabalho é preciso realçar que o OEE a nível teórico determina o bom funcionamento do equipamento sendo que o OEE deve contemplar e considerar o tempo produtivo e o tempo não produtivo. Segundo este trabalho o tempo não produtivo na empresa ACI é calculado a partir de outra equação não aderente ao cálculo do OEE. Ou seja, a partir da seguinte tabela podemos ver resultados relativos ao OEE tendo em conta a forma com a ACI calcula (OEE e tempo não produtivo calculados separadamente) e tendo em conta o valor real (cálculo do OEE tendo em conta que o valor de tempo produtivo e não produtivo é calculado de acordo com a equação real do OEE). Estes resultados são de acordo inicialmente com o valor determinado ao fim do mês de fevereiro.

### Disponibilidade

Tendo por base os resultados podemos ver as Figuras 46 e 47- o resumo acerca do valor base obtido pela empresa ACI e o valor teórico respetivamente.

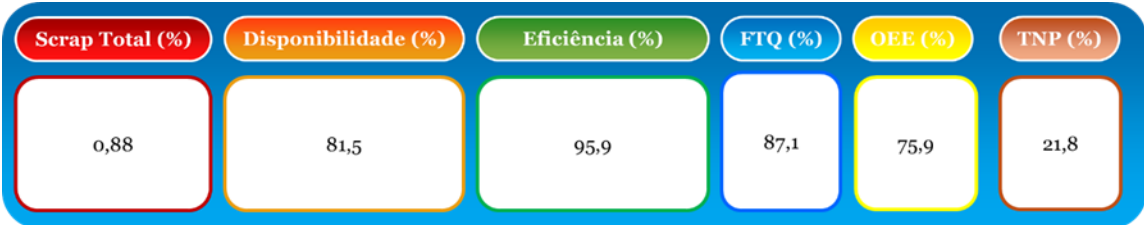


Figura 46: Valores dos indicadores da empresa ACI.

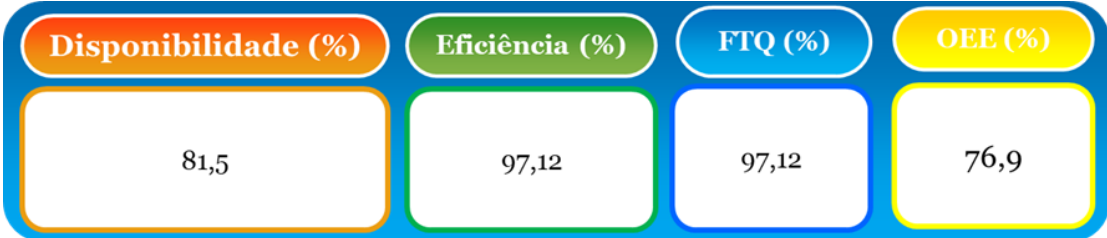


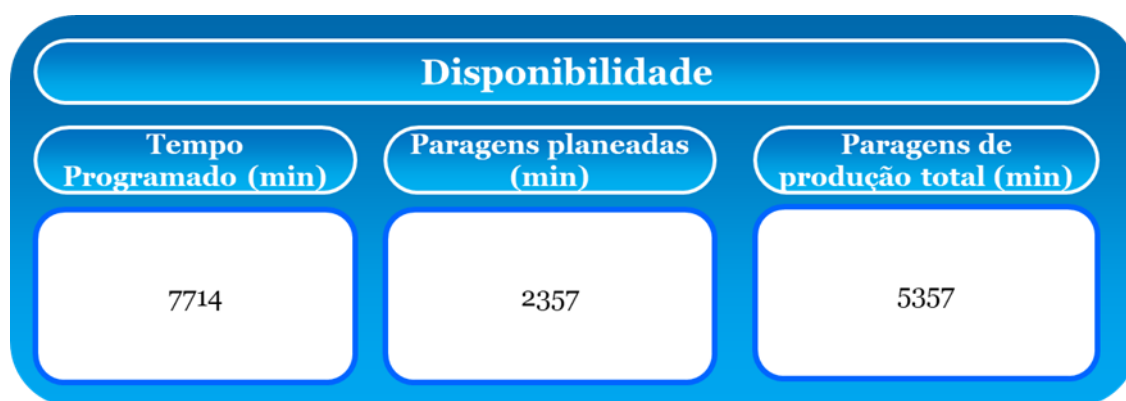
Figura 47: Valores dos indicadores de acordo com os valores teóricos.

A disponibilidade foi determinada de acordo com a Equação 2 e o tempo programado segundo a Equação 3:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo produzido}}{\text{Tempo programado}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Tempo programado} = \text{Paragens planeadas} + \text{Paragens da produção (Total)} \quad (3)$$

A partir da Figura 48 determinamos o tempo programado tendo em conta as paragens planeadas que, neste caso são paragens previstas de acordo com o material polimérico que está a ser produzido e as paragens da produção que são um somatório de todas as paragens relativas a Tabela 5.

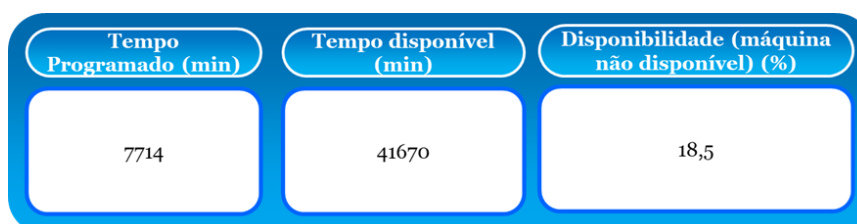


**Figura 48:** Determinação do tempo programado, das paragens planeadas e das paragens de produção total.

Assim sabendo todos estes conceitos podemos determinar a disponibilidade no tempo em que a máquina não esteve disponível pela Equação 4.

$$\text{Disponibilidade (máquina não disponível)} = \frac{\text{Tempo programado}}{\text{Tempo disponível}} \times 100 \quad (4)$$

Sabendo que o tempo disponível se encontra na Tabela 4 e o tempo programado foi determinado anteriormente a partir da Figura 48, determinou-se a disponibilidade em que a máquina não se encontrou a trabalhar (ver Figura 49).



**Figura 49:** Determinação da disponibilidade que a máquina de extrusão não esteve disponível.

A disponibilidade da máquina ao longo do mês de fevereiro é determinada de acordo com a Equação 5.

$$\text{Disponibilidade} = 100 - 18,5 = 81,5\% \quad (5)$$

Sabendo que para o cálculo do OEE é necessário ter em consideração a eficiência e o FTQ fui determinar estes dois parâmetros.

### **Eficiência**

A eficiência é calculada a partir da quantidade de produção real em relação à quantidade de produção teórica de acordo com a Equação 6.

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Quantidade de Produção Real}}{\text{Quantidade Produção Teórica}} \times 100 \quad (6)$$

Sendo que é necessário a Quantidade de Produção Teórica para determinar a eficiência do processo a partir da Equação 7.

$$\text{Quantidade Produção Teórica} = \frac{\text{Desperdício}}{\text{Tempo de Ciclo Padrão}} \quad (7)$$

Tendo em conta a Tabela 7 e sabendo o valor da produção total da linha B foi a que se encontra na Tabela 9 foi determinado o desperdício a partir da seguinte Equação 8.

$$\text{Desperdício} = \text{Produção não Conforme} + \text{Scrap Total} \quad (8)$$

Tendo por base a Tabela 7 no qual foram determinados os valores relativos ao produto não conforme e ao *Scrap* total, determinou-se o desperdício do processo durante o mês de fevereiro de 2024 no qual obteve-se o resultado descrito na Tabela 9.

**Tabela 9:** Determinação do desperdício da linha B no mês de fevereiro de 2024.

Eficiência	
Produção Total (Kg)	590077
Produto não Conforme (Kg)	11845
Scrap Total (Kg)	5166
Desperdício (Kg)	17011

A eficiência do equipamento tendo em conta o tempo que este aparelho não esteve a trabalhar foi necessário determinar a quantidade de produção teórica que é importante para a determinação final da eficiência. Assim sendo, e com base nos valores da Tabela 9 obteve-se uma eficiência de cerca de 97%.

### ***First Time Quality***

O FTQ é determinado a partir do quociente entre o produto que apresenta uma boa qualidade e o produto total e pode ser visto a partir da Equação 9.

$$FTQ = \frac{\text{Quantidade do Produto Bom}}{\text{Quantidade Total}} \times 100 \quad (9)$$

A Tabela 10 apresenta os dados para o cálculo do FTQ, assim como o seu valor relativo ao mês de fevereiro de 2024.

**Tabela 10:** Determinação da Quantidade de Produtos Bons no mês de fevereiro de 2024.

First Time Quality (FTQ)	
Produção Total (Kg)	590077
Produto não Conforme (Kg)	11845
Scrap Total (Kg)	5166
Quantidade de Produtos Bons (Kg)	573066
FTQ (%)	97

## Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Tendo em conta os parâmetros determinados anteriormente podemos determinar o OEE que a partir da Equação 10:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Eficiência} \times \text{FTQ} \quad (10)$$

A Tabela 11 apresenta um valor de 76,87% para OEE obtido para a linha B.

**Tabela 11:** Determinação do OEE da linha B no mês de fevereiro de 2024.

Overall Equipment Effectiveness (OEE)	
Disponibilidade (%)	81,5
Eficiência (%)	97,12
FTQ (%)	97,12
OEE (%)	76,87

A partir dos resultados podemos verificar que, sabendo que o OEE depende destes três parâmetros e tendo em conta que basta que um deles se apresente num valor mais baixo que o OEE irá diminuir podemos dizer que, devido ao facto da disponibilidade se apresentar mais baixa esta acarreta perturbações no resultado final do OEE. Para além disso, algo que se verificou predominantemente nos resultados da eficiência e do FTQ é que o tempo em que a máquina não trabalha não é contabilizado nos resultados. Compreendendo que o valor do OEE teórico considerado bom para o processo deve oscilar entre os 85% e os 97%, nestes resultados podemos verificar que o tempo não produtivo foi contabilizado dentro do OEE e o resultado final sendo mais baixo do que o esperado podemos concluir que os resultados relativos ao OEE não são assim tão plausíveis, ou seja não se encontram de acordo com a teoria.

A empresa ACI determina o tempo não Produtivo por uma equação diferente mencionada no trabalho que leva a um aumento considerável do OEE para 90%, um valor aceitável para o processo mas existe outro fator determinante que influencia o OEE, o output do equipamento.

Tendo em conta que o output varia bastante e este pode variar entre os 900 Kg/h e os 1200 Kg/h, existe sempre uma influência de um valor de 1,5% o que pode levar a uma

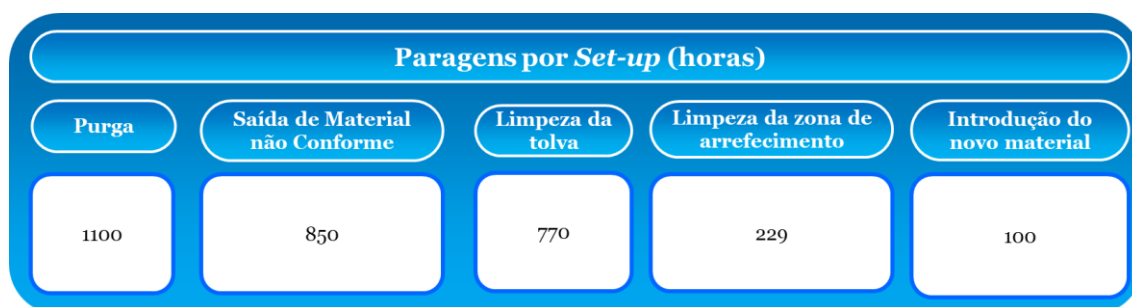
alteração de resultados com um critério muito largo, algo que é possível verificar no resultado comparativo do FTQ da empresa relativo ao acima referido.

Por fim, apesar das diferenças no OEE não serem muito significativas é de enaltecer que os diferentes parâmetros provocam uma alteração nos resultados finais. Devemos destacar essencialmente o facto das empresas muitas vezes não contabilizarem o tempo que a máquina não se encontra a operar para obter resultados teóricos do OEE mais aceitáveis de acordo com o valor teórico e deste modo este estudo pretende destacar as alterações significativas, mesmo que pequenas no OEE e nos seus diferentes parâmetros analisados.

### 7.3.2 Diagrama de *Set ups* detalhado

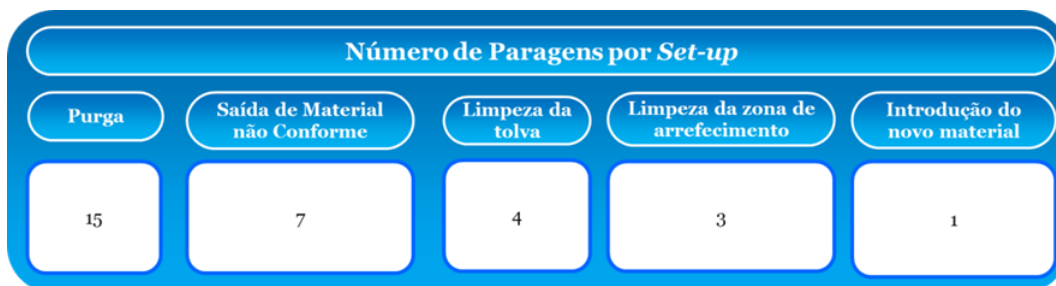
A partir dos dados recolhidos pelo diagrama de Pareto sobre as diferentes paragens verificadas ao longo do mês de fevereiro, e sabendo que a maioria foram verificadas ao nível de set up, procedeu-se assim ao seu detalhe, ver Tabela 12.

**Tabela 12:** Esquema detalhado do *Set up* da linha B.



Para descrever melhor o tempo perdido em *set up* é possível verificar que existiram 30 paragens, algo que pode ser documentado a partir da folha de *checklist* de processo. Durante o mês de fevereiro foram detalhadas as paragens de acordo com a Tabela 13.

**Tabela 13:** Número de paragens por *Set up* da linha B.



A partir dos resultados obtidos, podemos verificar que a maior parte do tempo perdido deve-se essencialmente ao facto do número de purgas, ou seja, estamos a falar do tempo desde que a purga começou a sair até parar para passar a material não conforme. Esse tempo é muito significativo e cada vez mais é possível verificar que nem sempre todas as referências apresentarem *set up* por causa de limpeza de material, mas sim pelo facto de apresentar uma grande demora da purga na saída do processo. Tendo em conta que se perdem entre 20 ou 30 Kg por mudança de referência e sabendo que esse desperdício num dia pode ser pouco significativo num ano acarreta um forte impacto a nível financeiro e quantitativo. Os resultados obtidos a nível da purga têm por base o *scrap*/desperdício verificado ao longo do mês de fevereiro. Sendo que os desperdícios não contam os minutos que demoram a sair a purga e sabendo que só contam os Kilos, num total de 10355Kg perdeu-se cerca de 0,61% durante esse mês. Estes resultados foram obtidos a partir das pesagens da purga durante o mês de fevereiro. Para além disso, é possível perceber que a purga e a saída de material não conforme envolve não só a limpeza do equipamento, mas também custos associados ao desperdício de material. De acordo com a Tabela 14 podemos verificar um custo muito avultado associado a quantidade de purga que acarreta prejuízos à custa de desperdício e ao material não conforme não associado. Estes valores indicados na tabela são meramente indicativos e por isso estes valores serviram de estudo para este trabalho. Devido a confidencialidade que é necessário ter com a empresa ACI os valores indicados são meramente indicativos para este trabalho.

**Tabela 14:** Valores indicativos relativos a custos associados a purga e ao material não conforme por ano.

Custos médios associados ao <i>Set-up</i>	
Purga	Saída de Material não Conforme
18000 €	32000 €

Assim, é necessário implementar uma forma de melhoria contínua no processo que apresente evidências claras de que o processo seja bom a nível financeiro e benéfico para o ambiente. Apesar disso, detalhamos este problema de purga com diferentes mudanças de referência sendo que as mudanças podem ser diretas ou não e isso pode

trazer impactos positivos ou negativos relativamente a quantidade de purga perdida e ao custo no fim do ano.

Um dos grandes problemas associados na empresa está relacionado com o grande desperdício de purga que não é aproveitado para reprocessamento.

Para quantificar o desperdício observado, foram analisadas as linhas com maior incidência de paragens, especificamente a linha B. A partir dessa análise, foi realizado o acompanhamento das mudanças de referência com o objetivo de registrar o tempo necessário para o reinício do processo até o aparecimento da purga. Utilizando um cronómetro, foi medido o tempo correspondente à transição da referência PPH2 para PPH3, conforme detalhado na Tabela 15.

**Tabela 15:** Mudança de referência da linha B.

Linha B	Mudança	PPH2 – PPH3
		Output
	Paragem da máquina (h)	13:50
Teste 1	Arranque inicial (h)	14:30
	Aparecimento da purga (h)	14:31
	Máquina Parou (h)	14:42
	Purga Acabou (h)	14:45
Processo	Arranque inicial (h)	14:50
	Aparecimento da purga (h)	14:51
	Purga Acabou (h)	14:53
	<b>Total (min)</b>	18

Teste 1	
Peso Purga	35 Kg

Processo	
Peso Purga	40 Kg


<b>Total (Kg)</b>	75
-------------------	----

A partir dos resultados obtidos podemos verificar que inicialmente realizou-se um pequeno teste de arranque da máquina para a eliminação de possíveis impurezas da amostra anterior e para perceber se não existiam incongruências no processo e se todo o processo ocorria sem falhas e sem defeitos. Este pequeno teste foi limitado apenas a um dosificador que neste caso foi o dosificador 6 ou seja o do material reprocessado de modo que no início do arranque do equipamento existisse o mínimo de desperdício. Por sua vez, apesar do grão depois ter sido reprocessado, algo que se verificou tanto neste teste como no processo foi a grande quantidade de purga libertada, ou seja, no primeiro teste durante 14 minutos a purga esteve a ser libertada e perdeu-se cerca de 35 kilos de referência. Temos de realçar que este peso da purga também é contabilizado com o grão reprocessado, mas acima de tudo este valor num dia pode não ser significativo, mas num ano pode trazer consequências de milhares de euros.

Posteriormente, foi realizada outra mudança de referência, desta vez da referência PE1C4 para PE2C3, sob as mesmas condições experimentais. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 16.

**Tabela 16:** Mudança de referência da linha B.

Linha B	Mudança	PE1C4 – PE2C3	
		Output	900 Kg/h
	Paragem da máquina (h)	10:03	
Processo	Arranque inicial (h)	10:53	
	Aparecimento da purga (h)	10:54	
	Purga Acabou (h)	10:57	
	<b>Total (min)</b>	3	



Processo	
Peso Purga	39 Kg
<b>Total (Kg)</b>	39

Neste caso como é possível verificar não foi feito um arranque de teste do reprocessado. A limpeza prévia feita antes de iniciar o processo foi algo relevante que levou algum tempo e que fez com que o *set up* fosse maior. Apesar de não ser uma mudança direta esta referência normalmente não apresenta grandes *set ups* mas existiu uma demora na adição dos aditivos mas foi pouco significativa. Neste caso, a não realização do teste de arranque deveu-se a um pequeno fator associado a esta linha nomeadamente a criva existente nesta linha. Basicamente, a criva de extrusão é uma placa perfurada ou uma tela que é colocada na saída da extrusora. A extrusora é uma máquina que empurra o material através de um molde ou matriz para criar a forma desejada.

A criva de extrusão é instalada na extremidade da extrusora para filtrar impurezas e garantir que o produto final tenha as dimensões e a textura desejadas [58]. Sendo assim, e tendo em conta que esta linha tem a capacidade para filtrar estas impurezas podemos concluir que não é necessário realizar um teste de arranque antes do arranque da referência. Como é possível perceber não perdemos cerca de 18 min como aconteceu acima, mas apenas 3 minutos que é algo significativo. Apesar dos 3 minutos perdidos algo significativo foi o peso da purga que foi de 39 kilos. Podemos retirar as mesmas conclusões, perder 39 kilos num dia é pouco significativo, mas num ano é extremamente relevante e é necessário encontrar condições para reprocessar a purga de modo a não existirem desperdícios ao longo do processo.

Uma das alterações estudadas na linha B está relacionada com as mudanças diretas das referências, e a partir da tabela abaixo podemos verificar os tempos que demoraram a aparecer a purga e, por sua vez, a mudança de referência de PE3C2 para PE4C1 (Tabela 17).

**Tabela 17:** Mudança direta referência de PE3C2 para PE4C1.

Linha B	Mudança	PE3C2 – PE4C1
	Output	1000 Kg/h
	Paragem da máquina (h)	14:56
	Apareceu Purga (s)	20
	Purga parou de sair (h)	14:57
Processo	Arranque inicial (h)	15:09
	Aparecimento da purga (s)	20
	Purga parou de sair (h)	15:11:16
	Aparecimento de esparguete (h)	15:11:39
	Aparecimento de purga (h)	15:12
	Purga parou/Grão apareceu (h)	15:12:30
	Grão Reprocessado (h)	15:16:35
	Confirmar Grão (h)	15:17:07
	Parou o Grão Reprocessado (h)	15:17:56
	<b>Total (min)</b>	21

Processo	
Peso Purga	45 Kg
<b>Total (Kg)</b>	45

Tendo em conta os resultados verificados podemos ver que apesar desta alteração ser uma mudança direta, ou seja, não envolve paragem da máquina o que leva a não libertação de purga no processo e a alteração nas componentes de referência para referência é pouco significativa porque só existem alterações nos aditivos e também no polímero a ser utilizado. Face as poucas que se perspetivam a mudança de referência é direta. O que é possível ver pelos dados é que se apurou que existiram algumas paragens. A primeira paragem que foi cerca de 1 minuto deveu-se a paragem da máquina e também ao término da referência anterior. Algo verificado no painel de controlo foi a velocidade do fuso estar relativamente elevada no dosificador 7. Apesar de não ser significativo a produção nestes casos opta-se por parar a máquina e realizar uma limpeza do fuso do doseador de modo a obter o resultado esperado. Com a paragem opta-se também por alterar os filtros de modo que a amostra seguinte não apresente impurezas. Devido a limpeza do fuso do dosificador 7 o tempo esperado para o começo da nova referência foi elevado porque sendo uma mudança direta esta alteração não podia demorar mais de 6 minutos.

Tendo em conta que demorou 4 minutos entre o aparecimento da purga e esta a parar de aparecer podemos ver que em relação as outras amostras acima que o tempo foi menor, porque não foram efetuadas grandes alterações e uma hipótese de melhoria contínua seria optar por mudanças diretas nos componentes que a amostra leva de modo a reduzir no tempo de paragem.

Em relação às quantidades apesar do tempo demorado na transição de amostra não é muito comum esta quantidade de 45 kilos porque estamos a falar de uma mudança direta. Mas como referi anteriormente a limpeza do fuso do dosificador 7 obrigou a um set up maior e uma maior quantidade de purga libertada.

Por fim, apesar de contabilizarmos como valor total 21 minutos podemos realçar que apenas 4 minutos foram entre o aparecimento e dissipação da purga e que todos os outros minutos se deveram a consequências da mudança de referência e problemas que o próprio equipamento podia apresentar.

Existem também referências no qual levam um maior tempo de paragem e a que apresento aqui é a mudança de referência de PPH4 para PE5C5 (Tabela 18).

**Tabela 18:** Mudança de referência de PPH4 para PE5C5.

Mudança		PPH4 – PE5C5
Output		1200 Kg/h
<b>Linha B</b>	Paragem da máquina (h)	9:24
	Apareceu Purga (h)	9:26
	Purga parou de sair (h)	9:30
<b>Processo de Limpeza</b>	Descarregamento dos dosificadores 3, 4 e 5	9:33
	Máquina arrancou (passar por material de limpeza PE de baixa densidade (h))	9:50
	Apareceu Purga (h)	9:52
	Purga parou de sair (h)	10:01
<b>Processo</b>	Arranque inicial (h)	14:41
	Aparecimento da purga (s)	14:43
	Purga parou de sair (h)	14:58
	Aparecimento de esparguete (h)	14:59
	Aparecimento de purga (h)	15:00
	Purga parou/Grão apareceu (h)	15:01
	Grão Reprocessado (h)	15:11
	Confirmar Grão (h)	15:22
	Parou o Grão Reprocessado (h)	15:35
	<b>Total (min)</b>	370

<b>Total: 37 min</b>	
----------------------	--

<b>Processo</b>	
Peso Purga / Limpeza	75 Kg

<b>Total (Kg)</b>	75
-------------------	----

<b>Total: 53 min</b>	
----------------------	--

Inicialmente, é necessário considerar que as mudanças de uma formulação para outra existem alterações a serem efetuadas, nomeadamente a mudança de polímeros e de alguns aditivos. Neste caso inicialmente a máquina parou devido a conclusão da formulação anterior. Para além disso, temos de considerar que sempre que acaba uma formulação existe purga que sai sempre no processo e durante 4 minutos a purga saiu. Em seguida, como a mudança é mais demorada existem sempre condições a serem alteradas nas referências. No caso estudado esta mudança envolve não só limpeza por parte da produção, mas também limpeza por parte da manutenção, ou seja, apesar da limpeza dos dosificadores 3, 4 e 5 serem efetuadas por parte da produção a limpeza do sem-fim que situa entre a tolva e o dosificador e a limpeza do filtro da centrifugação de arrefecimento é feita pela manutenção.

Contudo a limpeza do filtro da centrifugação deveria ser feita pela manutenção, mas esta foi efetuada pela produção porque existiram problemas no motor numa linha adjacente e isso levou a um atraso do processo de limpeza. Na limpeza do filtro da centrifugação temos de considerar que a limpeza envolve um arrefecimento da água e que para esta voltar a aquecer é necessária 1 hora para que esta volte as condições ideais do processo.

Primeiramente, a produção realiza um descarregamento dos dosificadores que continham os polímeros para baldes com ajuda de colunas de sucção. Os polímeros localizados nesses três dosificadores seguem para o mesmo balde e este não pode ser reaproveitado no processo e por isso serve para desperdício. No caso dos aditivos e da carga estes podem ser reaproveitados no processo porque nem sempre são alterados e isso é benéfico para esta referência. Também é necessário fazer a limpeza do fuso e para que não exista referência agarrada a este normalmente efetuam uma limpeza que é feita com polietileno de baixa densidade no qual sai purga. Durante 9 minutos esteve a sair purga porque foi necessário limpar o fuso e retirar a referência anterior. É necessário realçar que não é necessário abrir todos os elementos do fuso é só a retirada da amostra.

Em relação ao processo podemos referir que depois de 4 horas de paragem para limpeza seguiu o arranque do processo no qual perdeu-se uma grande quantidade de purga e foi necessária uma grande verificação, se o grão estava conforme ou não conforme. A nível de quantidades esta apresentou um total de 75 kilos. Esta grande quantidade estava relacionada com a limpeza efetuada no fuso. Tendo em conta a utilização de polietileno de baixa densidade, saiu uma grande quantidade de purga e que seria necessário implementar um processo de melhoria contínua que permita a utilização da purga. Por outro lado, parte da purga que saiu do processo é normal porque o objetivo é obter um grão uniforme e sem defeitos. Por vezes é necessário verificar e garantir que o grão está sempre conforme e daí existir algum desperdício. O grão não conforme pode ser reutilizado no processo de modo a não existir desperdício, mas é necessário implementar alternativas para a utilização da purga.

## **7.4 Análise das diferentes hipóteses para redução do tempo de *set up***

O processo de extrusão requer materiais fundidos livres de impurezas para garantir qualidade ao produto final. Para isso, existem diversas técnicas que foram sugeridas antes da implementação da melhoria contínua para redução da purga no processo de extrusão [59].

Um método comum é o uso de malhas ou filtros, posicionadas na linha de alimentação do material. Estes filtros são projetados para apreender impurezas sólidas de diferentes tamanhos, adaptando-se às necessidades específicas do processo. O grande problema deste método é que apesar de ser financeiramente vantajoso, existem sempre impurezas que ficam retidas no filtro e o objetivo é a eliminação das impurezas [59].

Existe outra possibilidade, mas neste caso é uma opção muito pouco vantajosa financeiramente e é útil para impurezas metálicas. Os dispositivos magnéticos podem ser integrados na linha de alimentação ou colocados em pontos estratégicos do sistema. Para além disso, os ímãs são incorporados nesses pontos do sistema para eliminar impurezas. O único problema desta técnica é custo associado a instalação do equipamento ser bastante elevado e só ser usado em partículas metálicas [59].

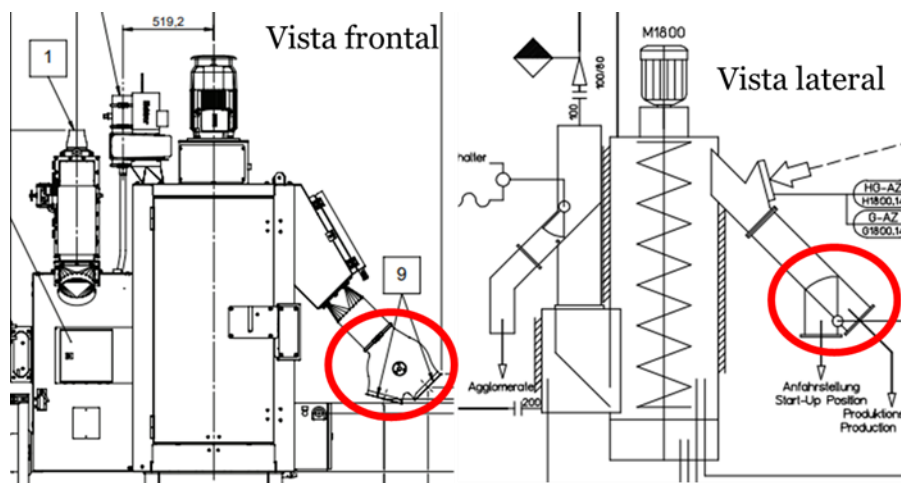
Outra prática utilizada são os separadores centrífugos, que exploram a força centrífuga para separar impurezas sólidas do material fundido. Estes dispositivos são instalados na linha de alimentação e são especialmente eficazes na eliminação de impurezas de alta densidade. O grande problema desta técnica é facto de apresentar muitos custos associados e não eliminar todas as impurezas completamente. Devido a essas consequências este método não foi implementado [59].

Por fim, alguns sistemas de extrusão também empregam dispositivos de filtração a vácuo. Estes dispositivos utilizam vácuo para atrair e remover impurezas sólidas do material antes que ele entre na extrusora de forma a garantir que antes do processo de extrusão entre material limpo. O grande problema é que o processo é caro porque exigiria a utilização de vários fluxos de vácuo. Para além disso, parte das referências seriam perdidas porque devido ao vácuo associado ao processo para lá da eliminação de impurezas este pode eliminar parte da referência e o objetivo é a eliminação de impurezas [59].

Tendo em conta as três mudanças mencionadas neste trabalho e as opções anteriormente descritas foi necessário implementar uma alternativa viável de modo que exista uma mudança eficiente de materiais durante o processo de extrusão e, por sua vez, a simplificação na limpeza. Para isso a ideia passaria pela implementação de uma válvula em forma de T.

## **7.5 Melhoria contínua – Válvula em forma de T**

A válvula em forma de T (Figura 50) usada na purga do processo de extrusão é uma componente essencial na configuração do processo de extrusão. Esta válvula é projetada para permitir a purga eficaz de resíduos ou materiais indesejados do sistema de extrusão, facilitando a transição entre diferentes materiais ou cores durante o processo de produção [59,60].



**Figura 50:** Válvula em forma de T (a válvula está destacada com um círculo vermelho).

A função principal da válvula em forma de T é fornecer um ponto de junção onde o material a ser purgado pode ser direcionado para fora do sistema de extrusão. Geralmente, essa válvula é conectada a um sistema de purga, como um dispositivo de ar comprimido ou uma extrusora de purga específico que neste caso é direcionado para a criva que está posicionada na linha B. Depois da válvula ser adicionada, esta desvia o fluxo de material extrudado para fora do sistema principal de extrusão, permitindo que o novo material seja alimentado e que a limpeza do sistema seja eficaz [57,61].

A forma em T da válvula é crucial, pois permite uma transição suave do fluxo de material entre o processo de extrusão normal e a purga. Isso minimiza o tempo e o material necessário para limpar o sistema entre as mudanças de produção [57].

Estas válvulas podem variar em design e especificações dependendo do tipo de extrusora e dos requisitos específicos do processo de produção. No entanto, a função é específica: facilitar a limpeza e a mudança eficientes de materiais durante o processo de extrusão [57].

### 7.5.1 Custo associado a válvula

Existem vários fatores que fazem variar o valor do custo associado a válvula em forma de T como é o caso do tipo de fabricante, do tamanho, o material de construção e o tipo de design associado a determinado tipo de extrusora.

Em geral, as válvulas simples podem ser relativamente acessíveis, enquanto válvulas mais sofisticadas, com recursos adicionais como controlo pneumático (é um método de controlo que utiliza ar comprimido para operar dispositivos mecânicos. Neste sistema, a pressão do ar é controlada para mover componentes como válvulas, cilindros, e

outros dispositivos pneumáticos para realizar uma variedade de tarefas, como mover peças numa linha de produção, abrir e fechar válvulas em sistemas industriais, entre outras aplicações) ou design personalizado, podem ser mais caras.

Para além disso, o preço pode variar com base na quantidade comprada, com descontos geralmente oferecidos para compras em maior volume [57].

Para podermos obter uma avaliação precisa do preço de uma válvula em forma de T específica para uso na purga do processo de extrusão, seria necessário consultar fornecedores ou fabricantes específicos para obter cotações de mercado associadas a este equipamento [57].

Em seguida foi necessário efetuar o estudo sobre a quantidade de purga libertada após a implementação da válvula em forma de T.

### 7.5.2 Alterações verificadas nas mudanças de referência

Sendo assim, fiz o acompanhamento das mesmas mudanças de referência e fui registando o tempo de arranque do processo até ao aparecimento da purga.

Com ajuda de um cronómetro registou-se a mudança de referência do PPH2 para PPH3 e isso é possível ver na Tabela 19.

**Tabela 19:** Mudança de PPH2 para PPH3 após a implementação da válvula em forma de T.

Linha B	Mudança	PPH2 – PPH3
		Output
	Paragem da máquina (h)	13:50
Teste 1	Arranque inicial (h)	14:37
	Aparecimento da purga (h)	14:38
	Máquina Parou (h)	14:42
	Purga Acabou (h)	14:45
Processo	Arranque inicial (h)	14:50
	Aparecimento da purga (h)	14:51
	Purga Acabou (h)	14:51
	<b>Total (min)</b>	9

Teste 1	
Peso Purga	18 Kg

Processo	
Peso Purga	22 Kg

<b>Total (Kg)</b>	40
-------------------	----


Segundo os resultados obtidos e realizando uma comparação com os resultados anteriormente verificados podemos referir que existiu uma redução no tempo desde o aparecimento da purga até ao arranque normal do processo. Apesar de inicialmente se perder algum tempo devido a limpeza do equipamento e tendo em conta que, o objetivo é reduzir a quantidade de purga do processo podemos referir que este objetivo foi alcançado. Em comparação com os resultados verificados anteriormente podemos ver que o tempo foi reduzido para metade, ou seja, passou a ser de apenas 9 minutos.

Apesar de ainda apresentar algumas paragens a melhoria contínua nesta mudança de referência foi verificada. Para além disso devemos destacar a quantidade de purga libertada no processo. Inicialmente realizou-se um teste de arranque da máquina para vermos se o processo avançava nas melhores condições possíveis. Sendo que apenas no teste 1 perdemos 18 kilos podemos referir que existiu uma melhoria. Para além disso, durante o processo perdemos 22 kilos que apesar de ter sido um pouco maior que o primeiro teste não é muito significativo. Também podemos referir que devido a válvula podemos reutilizar novamente o material não conforme de modo a reduzir o desperdício. Assim, os 40 kilos perdidos devido a purga é um número bastante significativo no qual se conseguiu reduzir desperdícios e custos.

Em seguida foi necessário verificar as outras mudanças devido ao facto de existirem mudanças diretas e não diretas de referência e isso pode influenciar nas quantidades de purga perdida e no tempo gasto durante o processo. Para isso procedeu-se a mudança de referência de PE1C4 para PE2C3 sendo que os resultados se encontram na Tabela 20.

**Tabela 20:** Mudança de PE1C4 para PE2C3 após a implementação da válvula em forma de T.

Linha B	Mudança	PE1C4 – PE2C3	
		Output	900 Kg/h
	Paragem da máquina (h)	10:03	
Processo	Arranque inicial (h)	10:53	
	Aparecimento da purga (h)	10:55	
	Purga Acabou (h)	10:57	
	<b>Total (min)</b>	2	



Processo	
Peso Purga	21 Kg
<b>Total (Kg)</b>	21

Esta mudança de referência não é direta e inicialmente devido a paragem da máquina e nomeadamente o facto de ser necessário efetuar a limpeza do equipamento levou a uma maior demora. Apesar dessa demora neste caso a mudança não foi muito significativa porque perdeu cerca de 2 minutos entre o aparecimento e o término da purga. Ainda assim, existiu uma melhoria substancial nesta mudança de referência. Esta redução de tempo apesar de ser pouco significativa pode estar relacionada com o grande fluxo de materiais não conformes que pode ter levado a um pequeno aumento de tempo. Não obstante deste pequeno aumento existiu uma melhoria. Para lá disso, a quantidade de purga reduziu o que significa que a implementação da válvula promove a melhoria do processo o que leva a que este objetivo esteja a ser concretizado com sucesso.

Em seguida analisamos uma mudança direta, a mudança de PE3C2 para PE4C1 (Tabela 21).

**Tabela 21:** Mudança de PE3C2 para PE4C1 após a implementação da válvula em forma de T.

Linha B	Mudança	PE3C2 – PE4C1
	Output	1000 Kg/h
	Paragem da máquina (h)	14:56
	Apareceu Purga (s)	20
	Purga parou de sair (h)	14:57
Processo	Arranque inicial (h)	14:58
	<b>Total (min)</b>	2

Processo	
Peso Purga	24 Kg
<b>Total (Kg)</b>	24

Fazendo a comparação com os resultados obtidos anteriormente, podemos verificar que antes da implementação da válvula em forma de T existiu um problema no dosificador 7 que levou a que existesse uma paragem na linha B. Mas temos de ter especial atenção que apesar de existir esta paragem não é comum acontecer visto que é uma mudança direta. Refletindo agora para os resultados obtidos podemos referir que desta vez não existiu um problema no dosificador que a mudança foi direta sem existir precedentes. Algo muito positivo nestas mudanças é quantidade de tempo que é utilizada para produção que é relativamente grande e que ajuda a implementar um maior número deste tipo de mudanças de modo a não promover paragens na linha. Apenas foram perdidos 2 minutos com o arranque da nova referência o que podemos referir que obtemos uma disponibilidade elevada e que promove uma boa mudança. Ainda assim, podemos destacar o facto de a quantidade de purga perdida não ser relativamente elevada o que é uma melhoria considerável no processo e que é bom para potenciar a melhoria contínua do processo. Sendo assim e por último também realizei um teste a uma mudança que leva um maior tempo de *set up* e podemos verificar os resultados a partir da Tabela 22.

**Tabela 22:** Mudança de PPH4 para PE5C5 após a implementação da válvula em forma de T.

Linha B	Mudança	PPH4 – PE5C5	
	Output	1200 Kg/h	
Linha B	Paragem da máquina (h)	9:24	
	Apareceu Purga (h)	9:26	
	Purga parou de sair (h)	9:28	
Processo de Limpeza	Descarregamento dos dosificadores 3, 4 e 5	9:33	
	Máquina arrancou (passar por material de limpeza PE de baixa densidade (h))	9:50	
	Apareceu Purga (h)	9:52	
	Purga parou de sair (h)	9:58	
Processo	Arranque inicial (h)	13:41	
	Aparecimento da purga (s)	13:43	
	Purga parou de sair (h)	13:53	
	Aparecimento de esparguete (h)	13:59	
	Aparecimento de purga (h)	14:00	
	Purga parou/Grão apareceu (h)	14:01	
	Grão Reprocessado (h)	14:11	
	Confirmar Grão (h)	14:22	
	Parou o Grão Reprocessado (h)	14:30	
	<b>Total (min)</b>	240	

<b>Total: 32 min</b>	
----------------------	--

<b>Total: 38 min</b>	
----------------------	--

Processo	
Peso Purga / Limpeza	40 Kg
<b>Total (Kg)</b>	40

Segundo os resultados podemos destacar que claramente esta mudança apresenta um maior *set up* do que todas as outras sendo que esta referência apresenta alguns preceitos. Em primeiro lugar sendo uma mudança não direta é necessário efetuar a limpeza do equipamento. Para além disso estas mudanças levam a que aditivos e polímeros sejam alterados o que leva muitas vezes a uma demora relativamente grande. Ainda assim, não obstante dos resultados obtidos ser positivos este tipo de mudanças não é o mais aconselhado porque leva a um tempo de paragem relativamente grande e esse *set up* influencia nos resultados da eficiência final do processo. Verificou-se que se perderam 4 horas no total sendo que o aparecimento da purga levou 18 minutos o que é significativo e promove a melhoria contínua. Por outro lado, o peso da purga foi mais baixo o que significa que houve menos desperdício com a implementação da válvula do que sem este elemento. Assim podemos referir que existiu uma clara melhoria no processo que é objetivo cumprido com a implementação da válvula.

De modo a termos uma visão geral das melhorias verificadas as tabelas, (Tabela 23, Tabela 24, Tabela 25, Tabela 26) permitem-nos ver o tempo gasto antes da implementação da válvula em forma de T e após a concretização. Também será possível ver as diferenças na quantidade de purga que sai do processo.

**Tabela 23:** Alterações verificadas antes e depois da introdução da válvula da referência PPH2 para PPH3.

Linha B	Mudança	PPH2 – PPH3
	Output	1100 Kg/h
	Sem válvula	Com válvula
Tempo em que a purga demorou a aparecer e a desaparecer (min)	18	9
Peso da Purga (Kg)	75	40

Um aspeto a referir deve-se a quantidade de purga que saiu do processo que reduziu em 35 Kg porque a válvula apresenta a capacidade de separar o material conforme do não conforme. Para além disso, o material não conforme pode ser reutilizado no processo o que leva a uma redução drástica na quantidade de purga que iria para desperdício. Com a introdução da válvula conseguimos reduzir tempo e desperdício de modo a melhorar financeiramente a produção desta referência reduzindo o tempo de *set up* do processo. Em seguida conseguimos ver uma tabela-resumo da alteração verificada na mudança de PE1C4 para PE2C3 (Tabela 24).

**Tabela 24:** Alterações verificadas antes e depois da introdução da válvula da referência PE1C4 para PE2C3.

Linha B	Mudança	PE1C4 – PE2C3
	Output	900 Kg/h
	Sem válvula	Com válvula
Tempo em que a purga demorou a aparecer e a desaparecer (min)	3	2
Peso da Purga (Kg)	39	21

Neste caso apesar do tempo não ser muito significativo por causa das limpezas efetuadas na linha o desperdício foi reduzido devido a introdução da válvula. Como foi referido anteriormente, a reutilização do material não conforme é importante de modo a reduzir desperdícios e a redução no peso de purga revela ser um grande marco na redução de *set up*. A redução do peso de purga foi de 18 Kg.

Em seguida, vemos a mudança de PE3C2 para PE4C1 (Tabela 25).

**Tabela 25:** Alterações verificadas antes e depois da introdução da válvula da referência PE3C2 para PE4C1.

Linha B	Mudança	PE3C2 - PE4C1
	Output	1000 Kg/h
	Sem válvula	Com válvula
Tempo em que a purga demorou a aparecer e a desaparecer (min)	3	1
Peso da Purga (Kg)	39	24

Em relação aos resultados obtidos estes coincidem com os resultados anteriormente obtidos. Sendo esta uma mudança direta de referência é importante referir que não existem paragens neste tipo de mudanças. Sendo assim, de facto a partir do tempo podemos verificar isso. Anteriormente existiu uma paragem para limpeza do doseador 7 mas esta paragem foi verificada antes da implementação da válvula. Após a implementação da válvula verificou-se uma redução nesse tempo. A nível de quantidade de purga esta reduziu em 15 Kg o que significa que é um valor bastante significativo. Como referido no comentário da primeira tabela-resumo a quantidade de purga é reduzida porque o material não conforme é reutilizado no processo. Por fim, podemos ver uma mudança não direta e que apresenta um maior *set up*, a mudança de PPH4 para PE5C5 (Tabela 26).

**Tabela 26:** Alterações verificadas antes e depois da introdução da válvula da referência PPH4 para PE5C5.

Linha B	Mudança	PPH4 – PE5C5
	Output	1200 Kg/h
	Sem válvula	Com válvula
Tempo em que a purga demorou a aparecer e a desaparecer (min)	28	18
Peso da Purga (Kg)	75	40

Neste caso algo que foi necessário considerar é que esta mudança precisa de mais tempo por causa da limpeza de equipamento e introdução de novo material o que leva a um maior *set up*. Apesar desta contrariedade o tempo foi reduzido em 10 minutos no qual podemos referir que é algo significativo. Sabendo que esta mudança não é direta a introdução da válvula é uma mais-valia para promover a redução de custos e promover

uma redução no desperdício. Ainda assim, a quantidade de purga foi reduzida em 35 Kg o que podemos referir que é uma clara melhoria contínua.

Após a realização do estudo, podem ser extraídas diversas conclusões significativas deste trabalho.

## 8 Conclusões

Ao longo do trabalho, inicialmente foi feito um estudo sobre as paragens da linha B de modo a entendermos dois pontos importantes:

- o parâmetro que apresenta maior tempo foi as paragens por *set up*;
- O estudo acerca do OEE de modo a percebermos se o equipamento funciona nas melhores condições possíveis.

A partir destes dois pontos verificou-se que a empresa ACI não considera o tempo não produtivo quando se encontra a determinar o OEE. Sabendo que o valor teórico a considerar varia entre os 90 e os 95% e tendo em conta que a empresa ACI não considera esse tempo não produtivo é de referir que o facto de não considerarem esse fator é relevante para os resultados finais, ou seja, se o tempo não produtivo fosse considerado, os resultados nunca chegariam aos 90% que é o objetivo mínimo, apenas chegariam aos 77% um valor muito abaixo do esperado e que podia desencadear uma série de questões, nomeadamente se o equipamento funciona nas melhores condições. Para além disso, sabendo que o OEE varia com a disponibilidade, a eficiência e o FTQ e tendo em conta que basta que um dos parâmetros seja menor para influenciar o resultado do OEE, foi possível verificar que a disponibilidade da linha é baixa devido precisamente dos *set ups*.

A análise detalhada das paragens por *set up* evidenciou que o material não conforme e a purga eram os principais fatores de impacto no processo. Para abordar esses desafios, foi realizado um estudo na linha B, com foco no tempo necessário para o ciclo de purga, desde o seu início até o desaparecimento das impurezas. Este estudo também quantificou o desperdício gerado ao longo da linha, revelando níveis consideravelmente altos, o que justificava a necessidade de implementar melhorias contínuas.

Entre as alternativas avaliadas para solucionar o problema - filtros ou peneiras, centrífugas e filtros a vácuo - a solução mais viável, considerando a relação qualidade/custo, foi a utilização de uma válvula em forma de T. Essa válvula permite separar eficientemente as impurezas do material não conforme e viabiliza a reutilização do material, reduzindo significativamente o desperdício.

Após a instalação da válvula em forma de T, realizou-se um estudo comparativo dos dados antes e depois da implementação. Observou-se uma redução aproximada de 50% no desperdício, demonstrando a eficácia da solução e reforçando a importância de melhorias contínuas no processo para atingir maior eficiência e sustentabilidade.

Um aspeto de destaque é a significativa redução no peso da purga após a implementação da melhoria no processo. Esta redução é especialmente relevante

porque o material não conforme, agora devidamente reprocessado, contribui para minimizar o desperdício. Isso reflete diretamente numa melhoria na qualidade do produto final e numa redução nos custos relacionados ao descarte e reposição de materiais.

Com a introdução da válvula em forma de T, a quantidade de purga foi drasticamente reduzida, alcançando uma ordem de grandeza em quilogramas. Este dado reforça o impacto positivo da melhoria implementada: a purga, que antes representava um volume considerável de desperdício, agora é tratada e embora ainda não seja reutilizada, promove uma maior eficiência no processo e um menor impacto ambiental. Assim, a redução no peso da purga não apenas otimiza o processo, mas também demonstra um avanço significativo em direção à sustentabilidade e ao controle de custos na operação.

Além do mais, podemos referir que os tempos de paragens reduziram muito de forma significativa o que nos leva a concluir que atingimos dois grandes objetivos:

- A redução no desperdício e aproveitamento de material não conforme no processo;
- A redução das paragens por *set up*.

Assim, a melhoria contínua é um tema muito abrangente e que todas as empresas procuram ter alternativas viáveis para ajudar o operador a criar meios, de modo a promover uma redução nos custos. Tudo o que proporcione um menor custo para as empresas é sempre melhor. Para trabalhos futuros poderíamos abordar melhor uma forma de aproveitar a purga para reprocessamento do processo de modo a reduzirmos desperdícios e custos relativos a matérias-primas.

## Referências bibliográficas

- [1] Fernandes Carina, “Coficab de pedra e cal no topo das maiores empresas do distrito da Guarda,” *O Interior - Diário das Beiras e Serra da Estrela*, Feb. 2023.
- [2] P. the F. Janssens Virgínia, “Plastics Europe: Association of Plastics Manufactures.,” accessed on 15 November 2023. Accessed: May 09, 2024. [Online]. Available: [https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/03/PE-PLASTICS-THE-FACTS\\_FINAL\\_DIGITAL-1.pdf](https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2023/03/PE-PLASTICS-THE-FACTS_FINAL_DIGITAL-1.pdf)
- [3] MURALISRINIVASAN, Natamai Subramanian. *Introduction to Polymer Compounding*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. 216 p.
- [4] M. S. Evans, “Tyre\_Compounding\_for\_Improved\_Performanc,” 2002.
- [5] M. Rabello, 213311157-Aditivos-de-Polimeros-Rabelo-Marcelo-Silveira, 1a. São Paulo, Brasil, 2000.
- [6] S. R. S. Banerjee Ritima, “Sustainable\_Poly lactide\_Based\_Composites,” Feb. 2022.
- [7] H. S. Kaufman, *Introduction to polymer science and technology: an SPE textbook*. New York, Wiley, 1992.
- [8] P. C. Painter, “Fundamentals Of Polymer Science,” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 14, p. 39, 1998, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:31964440>
- [9] Chen, Z., *Materials Science and Manufacturing Engineering*, Selected Papers from the 3rd International Conference on Materials Science and Manufacturing Engineering (MSME 2020), Trans Tech Publications, 2021. ISBN-13: 978-3-0357-1868-3. DOI: [10.4028/b-POzQg3](https://doi.org/10.4028/b-POzQg3).
- [10] A. Paesano, *Plastics Europe: Enabling a sustainable future*, 1a. Ferrara, Itália, 2022.
- [11] V. R. Sastri, *Plastics in Medical Devices (Third Edition) Properties, Requirements, and Applications*, Third Edition. Winovia LLC, Chicago, IL, United States, 2022.
- [12] K. 1952- Kohlgrüber, M. Bierdel, H. 1949-2021 Rust, and Hanser Publications, *Plastics Compounding and Polymer Processing Fundamentals, Machines, Equipment, Application Technology*. 2021.
- [13] Quieruga-Dios Araceli, “Calculus\_for\_Engineering\_Students,” Aug. 2020.
- [14] Morgan Richard, “Fluoropolymer\_Additives,” Dec. 2011.
- [15] W., George, “Handbook\_of\_Plasticizers,” Feb. 2023.
- [16] M., Lundbäck, “Long-term performance of polyolefins in different environments including chlorinated water: Antioxidant consumption and migration, and polymer degradation,” *Stockholm*, Jun. 2005. Accessed: May 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:8015/FULLTEXT01.pdf>
- [17] I., Christensen, “Developments\_in\_Colorants\_for\_Plastics,” 2003.
- [18] F. J., Maile, G., Pfaff, and P., Reynders, “Effect pigments - Past, present and future,” *Progress in Organic Coatings*, vol. 54, n<sup>o</sup>.3. pp. 150–163, Nov. 01, 2005. doi: [10.1016/j.porgcoat.2005.07.003](https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2005.07.003).

- [19] B., Muller, "Colorants for Thermoplastic Polymers," in *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials*, Elsevier, 2011, pp. 435–440. doi: 10.1016/B978-1-4377-3514-7.10043-1.
- [20] Wang Yeh, "Compounding\_in\_Co\_Rotating\_Twin\_Screw\_Ex," 2000.
- [21] K. K., Kefeni, J. O. Okonkwo, O. I., Olukunle, and B. M. Botha, "Brominated flame retardants: Sources, distribution, exposure pathways, and toxicity," *Environmental Reviews*, vol. 19, no. 1. National Research Council of Canada, pp. 238–253, 2011. doi: 10.1139/a11-010.
- [22] M., Sabet, H., Soleimani, and S., Hosseini, "Thermal stability and flame-retardant characteristic of irradiated LDPE and composites," *Bulletin of Materials Science*, vol. 43, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1007/s12034-019-2021-z.
- [23] R., Alagirusamy, *Flexible Towpregs and Their Thermoplastic Composites*, 1st Edition. 2022.
- [24] Mahmood Zia Khalid, "Polymer processing technology," *Processing Technology for Bio-Based Polymers Advanced Strategies and Practical Aspects*, pp. 29–61, 2021.
- [25] D. Heep, G. Winkhardt, and J. Reif, "Method and apparatus for filling a dense phase conveying line," 1996.[Online].Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:189088105>
- [26] Isayev Avraam, "Encyclopedia\_of\_Polymer\_Blends\_Volume\_2," Sep. 2016.
- [27] Palencia, Manuel, "Eco\_friendly\_Functional\_Polymers," Jul. 2021.
- [28] K., Kohlgrüber, "Der gleichläufige Doppelschneckenextruder," 2016. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:137811778>
- [29] P., Roberto, "Processing\_Structure\_Properties\_Relation," Dec. 2019.
- [30] H., Stamm, "Misch- und Knettechnik in der Buss AG," Jun., 1980.
- [31] B., Ronnie, "What Is a Wire Mesh Filter? (Definition, Benefits, and Cost)," Jun., 2021.
- [32] P., Eyerer and M.-A. Wolf, "Einführung in Polymer Engineering," in *Kunststoffe: Eigenschaften und Anwendungen*, H. Domininghaus, P. Elsner, P. Eyerer, and T. Hirth, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 1–114. doi: 10.1007/978-3-642-16173-5\_1.
- [33] G., Leuschner, "Verfahrenstechnische Kriterien bei der Auswahl von Flüssigkeitspumpen," *Chemie Ingenieur Technik*, vol. 53, pp. 507–518, 1981, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:110784363>
- [34] Technology Limited Rapra, "The\_Versatility\_of\_Extrusion," Apr. 1994.
- [35] D. C. ,Montgomery and J. Wiley, *Introduction to Statistical Quality Control*, 6th ed., vol. 6., 2020.
- [36] J. W., Dean and D. E., Bowen, "Management Theory and Total Quality: Improving Research and Practice through Theory Development," 1994. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/258933>
- [37] P. O., Monsanto, "KAIZEN, LEAN OU SEIS SIGMA? QUANDO E COMO USAR," Jun., 2018.
- [38] Rathi Rajeev, "Lean\_Six\_Sigma\_4\_o\_for\_Operational\_Excel," Oct. 2023.

- [39] Akpolat Hasan, “Six\_Sigma\_in\_Transactional\_and\_Service\_E,” Gower Publishing, 2004.
- [40] IBM, “What is OEE?,” Jan., 2024.
- [41] Rockwell Automation, “System availability,” Jan. 2024.
- [42] B., Caroline, “Efficiency: What It Means in Economics, the Formula To Measure It,” 2023.
- [43] Indeed, “What Is First-Time Quality? (Definition, Benefits and Tips),” Abr., 2022.
- [44] K., Natalia; S., Adebowale and O. B., Ivanka, “A Drilling Company’s Perspective on Non-Productive Time NPT Due to Well Stability Issues,” Nov. 2020.
- [45] Calculator Academy Team, “Non-Productive Hours Calculator,” Fev., 2023.
- [46] T., Baines, A., Ziaee Bigdeli, O. F., Bustinza, V. G., Shi, J., Baldwin, and K., Ridgway, “Servitization: revisiting the state-of-the-art and research priorities,” *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 37, no. 2, pp. 256–278, 2017, doi: 10.1108/IJOPM-06-2015-0312.
- [47] M. Jakubiec, “The importance of international communication for management of an organisation, ”*Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management*”,Series,2019,[Online].Available:<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:213499554>.
- [48] Ahire Sanjay, “Total quality management: A literature review and an agenda for future research,” *Production and Operations Management*, pp. 277–306, Jan. 2009.
- [49] Y., Trakulsunti, J., Antony, J. A., Garza-Reyes, G. L., Tortorella, W., Chuayjan, and M., Foster, “An exploration of operational excellence methodologies implementation in the logistics sectors: a global study,” *The TQM Journal*, vol. ahead-of-print, no. ahead-of-print, Jan. 2024, doi: 10.1108/TQM-10-2023- 0313.
- [50] M., Pagliosa, G. Tortorella, and J. C. E., Ferreira, “Industry 4.0 and Lean Manufacturing,” *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 32, no. 3, pp. 543–569, Jan. 2021, doi: 10.1108/JMTM-12- 2018-0446.
- [51] B., Tjahjono, “Six Sigma: a literature review,” *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 1, no. 3, pp. 216–233, Jan. 2010, doi: 10.1108/20401461011075017.
- [52] Alfonso, Jesús Gil López. *Techniques, Tools and Methodologies Applied*. Cham: Springer Nature, 2021.
- [53] Pradip; Mehta. *Quality Tools Implementation in Apparel*. Apparel Resources Pvt., 2020.
- [54] Wiley, John & Sons. *Processing of Polymers*. [S.l.]: Wiley, 2014.
- [55] Society of Manufacturing Engineers. *Tool and Manufacturing Engineers Handbook*. [S.l.]: Society of Manufacturing Engineers, 1984.
- [56] Rosato, D. V. *Extruding Plastics*. Cham: Springer Science & Business Media, 2013. Disponível em: [https://books.google.pt/books/about/Extruding\\_Plastics.html?id=t53qBwAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.pt/books/about/Extruding_Plastics.html?id=t53qBwAAQBAJ&redir_esc=y). Acesso em: 09 maio 2024.

- [57] Noriega E. and Chris Rauwendaal, Troubleshooting the extrusion process: a systematic approach to solving plastic extrusion problems. Hanser, 2010.
- [58] Krupa Igor, "Polyolefin\_Compounds\_and\_Materials," Dec. 2015.
- [59] Hancock Bryan, "How continuous improvement can build a competitive edge," McKinsey and Company, May 2024.
- [60] Gregory, "A Guide to Polyolefin Film Extrusion," 2009.
- [61] Chris Rauwendaal, Understanding extrusion. Hanser, 2010.

# Anexo 1

## OBJECTIVO GERAL

Descrição sumária	Desenvolver competências de análise e implementação de estratégias e ferramentas de melhoria continua com o objetivo de redução de desperdício, redução de produto não conforme e melhoria do sistema de controle produtivo alocado a uma linha de produção de compostos de PO.
-------------------	---

## METODOLOGIA DE TRABALHO

Elaboração atividades de acordo com procedimentos instituídos na empresa, em consonância com normativas aplicáveis ao sector em que integra (ISO 9001 / ISO 14001 /NP 4457 / IATF 16949)
--

## CRONOGRAMA DE TRABALHO

Outubro	Formação geral de integração na empresa Elaboração de plano de trabalhos
Novembro	Formação sobre matérias-primas, produtos e processos alocados à linha definida para o âmbito de estágio. Formação interna em ferramentas de análise de modo de segurança e qualidade do processo e do produto.
Dezembro	Análise e estudo de dados relativos ao processo produtivo definido e implementado por produto na linha de produção.
Janeiro	Elaboração e implementação de um plano de melhoria para o processo produtivo relativo a cada um dos produtos.
Fevereiro	Avaliação em continuo da eficácia e eficiência das melhorias implementadas.
Março	Avaliação em continuo da eficácia e eficiência das melhorias implementadas.
Abril	Definição/ revisão de ferramentas de controlo de processo produto que possam assegurar o cumprimento das melhorias implementadas.
Maiο	Revisão e avaliação do processo antes de depois das intervenções realizadas no âmbito do projeto.
Junho	Elaboração da tese inerente aos trabalhos realizados durante o estágio.