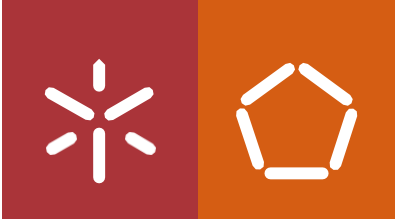




Univ Minho, 2025 | Guilherme Marques | A relação entre as variáveis operatórias e qualidade da peça



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Guilherme da Costa Marques

A relação entre as variáveis operatórias e qualidade da peça

Maio,2025



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Guilherme da Costa Marques

A relação entre as variáveis operatórias e a qualidade da peça.

Dissertação de Mestrado Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em

Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do:

Professor Doutor Júlio César Machado Viana

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição CC

BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declare que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Dedicatória

Dedico esta tese à minha MÃE
...que me ensinou e ensina os maiores ensinamentos da vida,
...que esteve sempre lá e continua a estar,
...que sempre me apoiou,
... que continua a acreditar em mim,
...que me incentivou e incentivará a ir mais longe que eu puder, enquanto ser humano e
profissional.

Agradecimentos

Esta tese resulta, antes demais, da minha iniciativa e vontade de a materializar. Mas a verdade é que a minha vontade foi impulsionada por figuras importantes, a quem presto, aqui, um agradecimento sincero e merecido.

Aos meus professores, ao longo do curso, me transmitiram importantes ensinamentos sem os quais esta tese não se tornaria uma realidade.

Aos meus colegas que, em muitas sessões de estudo, aprendemos muito, de uma forma séria, mas também alegre e bem-disposta.

Ao meu orientador e ao meu supervisor, agradeço a liberdade de movimentos e de pensamento para escrever este trabalho.

Aos meus pais que sempre me apoiaram ao longo da minha vida, me impulsionaram e me orientaram no sentido de ir mais além. A eles devo muito. Pais, obrigada por tudo.

À Joana por me acompanhar, já há algum tempo, na minha vida, pela paciência, pelo “empurrão” e pela alegria partilhada.

Aos meus queridos avós, que através do seu olhar silencioso e orgulhoso, me deram energia para prosseguir.

A todos, o meu obrigado!

Resumo

A presente dissertação surge no âmbito de Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho. Hoje em dia, é praticamente impossível, na indústria, não termos produtos que não tenham componentes termoplásticos injetados. Atualmente, a grande meta é dominar a complexidade deste processo, de tal forma que o ciclo produtivo seja o mais eficiente e rápido possível. Com efeito, a necessidade de produzir cada vez mais e melhor, utilizando menos recursos, e com tempos de produção mais curtos é e continuará a ser uma das grandes preocupações das empresas na atualidade. Em termos práticos, este trabalho, enquadrado num ambiente de produção fabril - empresa 3G-Resins, teve, como principal objetivo, analisar o ciclo produtivo do processo de moldação por injeção de 1 peça em PP (PoliPropileno), -CADEIRA BRAGA- destinada à indústria mobiliário de plástico, do lazer de interiores e exteriores. De uma forma genérica, o objetivo do estágio/projeto consiste na análise e melhoria do processo de injeção de plástico de cadeira Braga, recorrendo-se para isso a conceitos de melhoria contínua com aplicação adaptada da metodologia DMAIC.

Globalmente, os resultados demonstraram:

- a)** os principais efeitos visuais encontrados nesta investigação foram: manchas, peças incompletas, rebarbas e empenos;
- b)** os parâmetros com maior influência no peso são: 2ª pressão (83,14%), o tempo da 2ª pressão (6,20%), interação pressão de injeção com velocidade de injeção (1,54%) e a temperatura de injeção (1,20%).
- c)** através dos dados obtidos com base no Minitab verificou-se que a melhor combinação paramétrica é: temperatura de injeção 217°C, velocidade de injeção 60mm/s, 2ª pressão 95 Bar e uma pressão de injeção de 117 Bar. Esta é a combinação paramétrica que maximiza o quociente sinal-ruído e que permite obter uma melhor aproximação do peso desejado, com uma minimização dos defeitos visuais.

Apresentam-se, de seguida, recomendações para futuros trabalhos desta natureza:

- a)** continuidade da metodologia *DMAIC* à cadeira Braga, acompanhando a execução das propostas de melhoria e monitorização do processo após essas alterações; **b)** a execução do método de Taguchi utilizado a outros moldes da empresa, verificando a sua efetividade.

Palavras-Chave: ciclo produtivo; moldação; variáveis-operatórias; metodologia DMAIC; método de Taguchi; quociente S/N; Matriz L_9 e L_{12} ; combinação paramétrica, defeitos visuais e peso.

Abstract

This dissertation is part of the Integrated Master's Degree in Polymer Engineering at the University of Minho. Nowadays, it is practically impossible in industry not to have products that do not have injected thermoplastic components. Currently, the main goal is to master the complexity of this process in such a way that the production cycle is as efficient and fast as possible. In fact, the need to produce more and better, using fewer resources and with shorter production times is and will continue to be a major concern for companies today. In practical terms, this work, set in a factory production environment - company 3G-Resins, had as its main objective to analyse the production cycle of the injection moulding process of 1 piece in PP (Poly-Propylene), -BRAGA CHAIR- intended for the plastic furniture industry, interior and exterior leisure. In general terms, the aim of the internship/project is to analyse and improve the plastic injection moulding process for the Braga chair, using concepts of continuous improvement with adapted application of the DMAIC methodology.

Overall, the results showed:

- a)** the main visual effects found in this investigation were: blemishes, incompleteness, burrs and warping;
- b)** the parameters with the greatest influence on weight are: 2nd pressure (83.14%), 2nd pressure time (6.20%), injection pressure interaction with injection speed (1.54%) and injection temperature (1.20%);
- c)** using the data obtained from Minitab, it was found that the best parametric combination is: injection temperature 217°C, injection speed 60mm/s, 2nd pressure 95 Bar and an injection pressure of 117 Bar. This is the parametric combination that maximises the signal-to-noise ratio and gives the best approximation of the desired weight, while minimising visual defects.

As recommendations for future work of this nature, we suggest:

- a)** As future work, we propose continuing the DMAIC methodology for the Braga chair, following up the implementation of the improvement proposals and monitoring the process after these changes;
- b)** It is proposed that the Taguchi method used be applied to other moulds in the company, verifying its effectiveness.

Keywords: production cycle; moulding; operational variables; DMAIC methodology; Taguchi method; S/N ratio; L_9 and L_{12} matrix; parametric combination, visual defects and weight.

INDICE

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS	i
DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE	ii
Dedicatória	iii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I- REVISÃO DA LITERATURA.....	3
1.1. Materiais poliméricos.....	3
1.1.1.Compressibilidade	5
1.1.2. Efeito da Cristalinidade nos Termoplásticos	5
1.2.O ciclo de injeção	6
1.3.O molde de injeção	9
1.4. Máquina de injeção.....	12
1.5. Parâmetros chave.....	16
1.6 Principais defeitos visuais (reologia dos polímeros)	30
CAPÍTULO II- METODOLOGIA	34
2.1. A empresa.....	34
2.2. Natureza do estudo e objetivos	35
2.3. Metodologia DMAIC.....	36
2.4. Os materiais e recursos usados.....	37
2.4.1.A cadeira Braga.....	37
2.4.2.O Software Minitab	38
2.5. Procedimentos	39
CAPÍTULO III- APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	42
3.1. Definir	42
3.2. Medir	43
3.2.1.Apresentação dos dados no mês de Fevereiro/2023 da cadeira Braga.....	43
3.2.2.Dados da primeira produção de Março/23 relativos à cadeira Braga (08-15 mar/23) ...	45
3.3.Analisar	49

3.4. Melhorar	57
3.5. Controlar	59
3.5.1. Resultados relativos ao teste paramétrico- Anova sobre o Peso.....	61
3.5.2 Seleção de fatores e níveis – Matriz L ₉	64
3.6. Dados de Observação Do Fabrico Da Cadeira Braga: Período Pós-Teste.....	67
CONCLUSÃO E TRABALHO FUTUROS	68
Trabalhos Futuros.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela nº1. Elementos do molde

Tabela nº2. Revisão dos estudos empíricos que identificaram diferentes tipos de defeitos visuais e despectivas causa-efeito (diagramas), propondo medidas de melhoria

Tabela nº3. Quantidade de peças produzidas e rejeitadas durante os períodos de estudo

Tabela nº4. Avaliação da qualidade na primeira produção no período de fevereiro/23

Tabela nº5. Resultados relativo ao processo de injeção na primeira produção de fevereiro/23

Tabela nº 6. Dados relativos ao tempo do ciclo de produção e do peso da peça no período de produção de 20-23 de fev/23

Tabela nº 7. Avaliação da qualidade na primeira produção no período de março/23

Tabela nº 8. Resultados relativos ao processo de injeção na primeira produção de março/23

Tabela nº9. Avaliação da qualidade na segunda produção no período de março/23

Tabela nº 10. Processo de injeção na segunda produção no período de março/23

Tabela nº 11. Dados relativos ao tempo do ciclo de produção e do peso da peça no período de produção de 08-09 de março/23

Tabela nº 12. Dados relativos ao tempo do ciclo de produção e do peso no período de 09-14 março/23

Tabela nº 13. Dados relativos ao tempo do ciclo de produção e do peso no período de 14-15 março/23

Tabela nº 14. Possíveis causas relacionadas com o defeito-manchas

Tabela nº 15. Possíveis causas relacionadas com o defeito-Incompletos

Tabela nº 16. Possíveis causas relacionadas com o defeito- empenos

Tabela nº 17. Possíveis causas relacionadas com o defeito- rebarbas

Tabela nº 18. Resultados dos Níveis e Fatores utilizados na matriz L₁₂

Tabela nº 19. Resultados da MATRIZ L₁₂

Tabela nº 20. Resultados do peso da matriz L₁₂

Tabela nº 21. Resultado da aplicação do teste paramétrico -ANOVA para o peso da peça

Tabela nº 22. Níveis e Fatores utilizados na matriz L₉

Tabela nº23. Resultados da Matriz L₉

Tabela nº.24. Resultados do peso da matriz L₁₂

Tabela nº 25. Resultados relativos à resposta para Razões sinal-ruído

Tabela nº 26. Resultados relativos à Análise de Variância para razões S/N

ÍNDICE FIGURAS

Figura nº1 -Classificação dos polímeros

Figura nº2-Temperaturas de processamento para polímeros amorfos e cristalinos

Figura nº3-Fases do processo de moldação (Cruz,2002).

Figura nº4 - Estrutura genérica de um molde para injeção de plásticos

Figura nº5 -Principais constituintes de uma máquina de injeção (Rutland, 2018

Figura nº6-Tremonha (Bryce, 1996).

Figura nº7- Evolução do estado do material ao longo das zonas do parafuso (Kulkarmi, 2010)

Figura nº8 - Funcionamento da válvula de não-retorno (a) plasticização (b) injeção (Kulkarmi, 2010)

Figura nº9 - Fases da DMAIC

Figura nº10 -Cadeira Braga

Figura nº11- Estrutura experimental do método.

Figura nº12 - Diagrama Ishikawa para o defeito: manchas

Figura nº13 - Diagrama Ishikawa para o defeito: incompletos

Figura nº14- Diagrama Ishikawa para o defeito: empenos

Figura nº15- Diagrama Ishikawa para o defeito: rebarbas

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico nº 1. Resultados da ANOVA para o peso da peça

Gráfico nº 2. Efeitos Principais para o peso

INTRODUÇÃO

A produção industrial, em larga escala, da maior parte das peças de plástico é feita através do processo de moldação por injeção de termoplásticos. Esse processo é amplamente utilizado, devido à sua qualidade dimensional e geométrica, além de ser considerado flexível e produtivo.

Hoje em dia, é praticamente impossível, na sociedade, não termos produtos que não tenham componentes termoplásticos injetados. Encontramos os termoplásticos em eletrodomésticos, equipamentos médicos, brinquedos, utensílios domésticos, eletrônicos, peças de automóveis e equipamentos para agricultura, equipamentos de lazer, entre outros. Trata-se de um processo que tem evoluído em termos de complexidade e sofisticação. Atualmente, a grande meta é dominar a complexidade deste processo, de tal forma que o ciclo produtivo seja o mais eficiente e rápido possível. Com efeito, a necessidade de produzir cada vez mais e melhor, utilizando menos recursos, e com tempos de produção mais curtos é e continuará a ser uma das grandes preocupações das empresas na atualidade. A redução do ciclo de injeção possibilita aumentar a produtividade da operação de injeção de plásticos, uma vez que permite a produção de mais peças num período menor de tempo.

Este projeto surge da constatação da necessidade de se compreender, sistematizar e controlar o impacto que as diversas variáveis operatórias inerentes ao processo de injeção (máquina, molde, material, operador) têm na qualidade final da peça, tendo em vista a sua melhoria e consequente redução do desperdício.

Em última instância, procura-se reduzir a taxa de rejeição das peças defeituosas ao mínimo possível, tomando ações no sentido de atingir a meta dos “Zero Defeitos”. Em termos práticos, este trabalho, enquadrado num ambiente de produção fabril - empresa 3G-Resins, cuja apresentação se fará de seguida - teve, como principal objetivo, analisar o ciclo produtivo do processo de moldação por injeção de 1 peças em PP Polipropileno, destinadas à indústria mobiliário de plástico, do lazer de interiores e exteriores, de forma a compreender especificamente como poderíamos reduzir os tempos de ciclo de injeção de cadeira Braga.

Esta dissertação está organizada em diferentes partes, distintas, mas complementares. Num primeiro momento, efetuamos uma revisão de literatura relativa às fases do ciclo da injeção e apresentação de variáveis que possibilitam a redução dos tempos do ciclo de injeção,

dando particular destaque aos defeitos visuais e às causas dos mesmos já tipificadas na literatura especializada nesta área. Em segundo lugar, segue-se o esclarecimento do procedimento metodológico, utilizado no âmbito deste projeto. Em terceiro lugar, serão apresentados e discutidos os resultados. Por último, teceremos algumas sugestões para futuros trabalhos.

CAPÍTULO I- REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo passaremos em revista um conjunto de conceitos abordados ao longo da nossa formação e aprofundados a partir de leituras específicas, elencadas na fase final desta dissertação, que serviram de sustentação teórica para a elaboração do estudo empírico descrito, em detalhe, nos capítulos 2 e 3 desta dissertação.

1.1. Materiais poliméricos

Um polímero é uma substância macromolecular constituída por unidades estruturais repetitivas, unidas entre si por ligações covalentes. Em alguns casos, as ligações conduzem a cadeias linear, com ou sem ramificações, e noutros, a cadeias ligadas entre si, formando estruturas tridimensionais. Frequentemente o número dessas unidades repetitivas atinge os milhares.

Os polímeros são materiais compostos por várias moléculas que resultam em longas cadeias. As moléculas maiores, são chamadas macromoléculas. As propriedades únicas dos polímeros assim como a versatilidade de métodos de conformação a que podem ser sujeitos são devidas à sua estrutura molecular. Propriedades como a baixa densidade, bom isolamento térmico e elétrico, e capacidade para serem conformados e moldados a temperaturas relativamente baixas comparativamente a outros materiais como o aço, faz com que os polímeros sejam materiais cada vez mais utilizados nos mais diversos campos de aplicação [14].

Dada a diversidade de estruturas que as macromoléculas podem apresentar, a divisão dos polímeros em grupos não é fácil, no entanto, uma classificação muito usual para os polímeros é a apresentada na figura nº1.

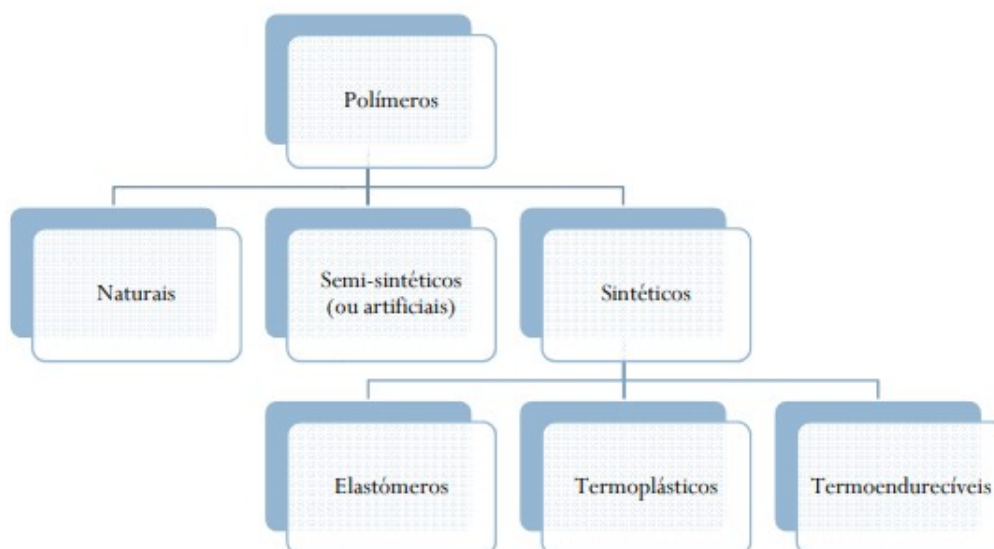


Figura 1- Classificação dos polímeros

Tal como os materiais que se obtêm diretamente da natureza são designados por materiais naturais, os polímeros que pode designados por *polímeros naturais*. São exemplo de polímeros naturais o látex extraído da árvore *hévea brasiliensis* (seringueira), a celulose extraída do algodão ou da madeira.

Muitos polímeros como a caseína, etanoato de celulose e o nitrato de celulose são semisintéticos ou artificiais, tal como acontece com outros materiais artificiais, são produzidos a partir da transformação de substâncias naturais. Os *polímeros semisintéticos* são obtidos por reações químicas a partir de polímero.

Os *polímeros sintéticos* são produzidos por ação do homem através de processos de transformação, como reações químicas os polímeros podem ser divididos em elastómeros, termoplásticos e termoendurecíveis.

Os polímeros sintéticos dividem-se em três categorias:

- ❖ termoplásticos,
- ❖ termoendurecíveis
- ❖ elastómeros

Os *termoplásticos* solidificam à medida que arrefecem, não permitindo que a sua longa cadeia de moléculas se mova livremente. Caso seja reaquecido, os materiais pertencentes a esta categoria readquirem a capacidade para “fluir” e de se reorganizar.

❖ Os termoplásticos dividem-se em dois subgrupos:

- amorfos

- semicristalinos.

Os primeiros, ao arrefecerem, têm a sua cadeia molecular desordenada, ao passo que os semicristalinos adquirem arranjo cristalino em certas zonas.

❖ Os termoendurecíveis solidificam através de uma reação química. Durante a cura, as macromoléculas formam ligações cruzadas entre elas, impedindo-as de fluir mesmo depois de aquecidas. As fortes ligações desenvolvidas tornam o material rígido, que contrariamente aos termoplásticos não podem ser refundidos, uma vez que se degradam.

❖ Os elastómeros comparativamente aos termoendurecíveis têm ligações cruzadas menos fortes, o que permite a quase extensão total das suas moléculas, e que deformações consideráveis sejam revertíveis.

Dado que a Cadeira Braga é um polímero termoplástico iremos brevemente dar atenção a este tipo de polímero, nomeadamente à sua *compressibilidade e cristalinidade*.

1.1.1.Compressibilidade

Quando o polímero está exposto a uma fonte de calor, o espaço entre moléculas aumenta, assim como o seu volume específico. Caso lhe seja aplicada uma pressão o material irá comprimir. Ou seja, o volume que o material irá ocupar na cavidade do molde depende da temperatura e da pressão a que está sujeito.

1.1.2. Efeito da Cristalinidade nos Termoplásticos

As características de moldação de termoplásticos dependem da sua morfologia; se é cristalino ou amorfo. A cristalinidade é formada por elevadas forças de atração intermoleculares que terão que ser quebradas e dissolvidas por forma a reduzir a viscosidade, permitindo a injeção do fluido no molde.

Um dos efeitos em que terá impacto é na contração volumétrica. Entende-se por contração volumétrica a diferença de volume registada entre a fase em que o material se encontra fundido e a vítrea. Com o aumento da temperatura, as moléculas ganham energia, movendo-se em torno de umas das outras, como consequência, o volume do material aumenta. No arrefecimento, dá-se o oposto, levando à contração do material. Nos polímeros semicristalinos o movimento livre das moléculas é maior do que nos amorfos, e quando

arrefecem tendem a organizar-se e a formar ligações próximas e fortes, contribuindo para uma maior contração.

Uma outra característica que diferencia as duas morfologias é a temperatura de processamento (Figura nº 2). Os polímeros com estrutura semicristalina, possuem uma temperatura de fusão, correspondente a uma quantidade de energia mais ou menos exata que deve ser fornecida para que este funda; quanto maior for o grau de cristalinidade mais estreito é o intervalo. No caso dos polímeros amorfos, não há uma temperatura de fusão, mas sim uma gama de temperaturas em que o material se torna suficientemente fluído e processável.

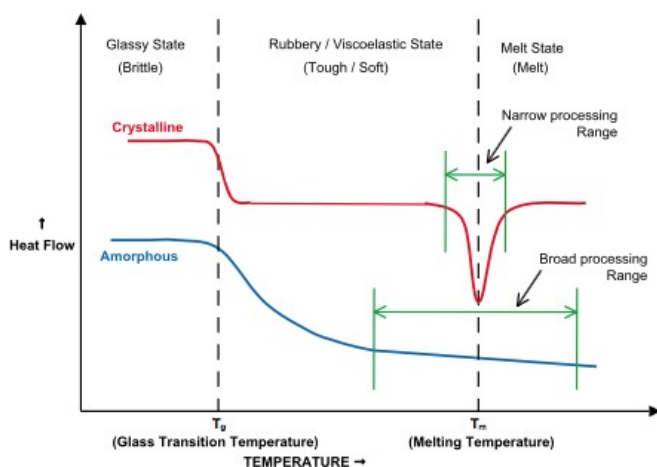


Figura nº2 - Temperaturas de processamento para polímeros amorfos e semicristalinos

1.2.O ciclo de injeção

Um dos métodos mais utilizados na conformação de materiais plásticos é a transformação sob pressão, ou seja, *injeção em moldes*. Como referido anteriormente, hoje é muito comum a utilização do plástico em produtos do quotidiano, todavia, o surgimento do processo por injeção data ao final do século XIX, devendo-se tal feito aos irmãos Hyatt que construíram a primeira máquina de injeção, nos Estados Unidos, dando origem ao processo de injeção. Progressivamente, assistiram-se a notáveis evoluções na tipologia das máquinas, passando o regime das operações de manual para automático, com controlos elétricos. Doravante, as máquinas de injeção não pararam de evoluir em complexidade e sofisticação, tal como as conhecemos hoje [42].

Em termos gerais, e de forma simples, a moldação por injeção pode ser concebida como um processo que consiste na transformação de material plástico, originalmente no estado

sólido, numa peça com dimensões e características previamente estipuladas. A máquina é alimentada pelo material sólido, usualmente sob a forma de granulado, que é posteriormente aquecido com vista ao seu amolecimento e depois forçado, sob pressão, para dentro de um molde. Já dentro do molde, o material fundido replica os contornos presentes no mesmo até que, eventualmente, arrefece e recupera a sua rigidez.

A injeção de materiais termoplásticos é um processo cíclico, tendo por objetivo produzir peças conformes e de acordo com o especificado em projeto, no mais curto intervalo de tempo possível. Para se produzir uma peça plástica, através do processo de moldação por injeção, existe uma *sequência de eventos/procedimentos* que deve ser respeitada pelo operador e pela máquina. A essa sequência é dado o nome de “*ciclo de injeção*”, que é composto por fases que passaremos a descrever de seguida: *fecho, injeção, compactação, arrefecimento, abertura e extração e tempo de pausa* (ver figura 3)



Figura nº 3. Fases do processo de moldação [12]

Convém, não esquecer que o processo de moldação inicia-se com a preparação da matéria-prima, devendo o material polimérico ser previamente seco e desumidificado de acordo com

a temperatura e a duração estipulados na ficha técnica. Ultrapassada esta fase preliminar, o ciclo de injeção propriamente dito inicia-se com as fases anteriormente identificadas.

A passagem pelas etapas deste ciclo pode ser *manual*, com o operador a determinar a sequência e o tempo de cada operação (situações essas que atualmente são excepcionais), *semiautomática*, quando o operador apenas acompanha o processo e só interfere em caso de problemas, interrompendo a produção ou *automática*, existindo uma sequência de procedimentos pré-definidos, sendo este regime aquele que contribui para a otimização e fiabilidade do processo de injeção. Não há a intervenção do operador. Passamos a descrever as seis fases que compõem o “*ciclo de injeção*”:

1.Fase de fecho. Esta fase representa o início de todo o ciclo, quer seja em regime automático ou semiautomático. Convém salientar, que no que respeita à velocidade de fecho do molde, há que considerar que o encosto deve ser suave para evitar a danificação do molde e após isso ser garantido, poderá ser possível aumentar a velocidade no sentido de evitar desperdícios de tempo processo [50]

2. Fase de injeção. Depois do bico de injeção encostar no molde, o fuso presente no interior do cilindro, é empurrado para a frente (bloqueando uma válvula anti-retorno presente na extremidade do mesmo), o que obriga o material fundido a fluir para o interior do molde. A velocidade de injeção deverá ser cuidadosamente inserida na máquina, pois esta deverá corresponder a um equilíbrio entre a rapidez de enchimento da cavidade e a replicação correta dos contornos do molde.

3.Fase de compactação. Posteriormente à fase de injeção, é necessário continuar a exercer pressão no material fundido, a fim de diminuir o efeito da contração do material no molde (por arrefecimento) e evitar que o mesmo volte novamente para o cilindro. Contudo, tanto a pressão exercida, como o tempo em que a mesma está a ser aplicada, não devem ser demasiado elevados para evitar danos posteriores na peça, assim como problemas na extração processo [50]

4.Fase de arrefecimento. Após o enchimento total da moldação, o fuso começa o movimento de rotação (iniciando a plasticização de mais material), sendo assim obrigado a recuar sob o efeito da pressão causada pelo fundido no mesmo. Paralelamente a este mecanismo, a moldação está a arrefecer no molde; assim que a plasticização esteja concluída (quando atinge o volume de dosagem pretendido), o movimento de rotação do fuso termina e poderá ser sujeito a um movimento adicional de recuo linear

(descompressão), no sentido de aliviar a pressão no material fundido. A etapa de arrefecimento termina quando a moldação atinge uma temperatura tal que permite a extração da mesma sem causar danos. Esta fase é basicamente um processo de dissipação de calor que depende das dimensões da peça.

5.Fase de abertura e extração. A abertura do molde ocorre assim que o tempo de arrefecimento chega ao fim. A velocidade e o curso de abertura devem ser selecionados tendo em conta as dimensões gerais do molde e da peça; é uma operação crítica a nível produtivo, pois, por vezes, sob a atuação de mecanismos apropriados, poderá ser necessário a separação dos canais de alimentação [50].

6. Tempo de pausa. Este tempo ocorre num intervalo que vai desde que a peça está pronta a ser retirada do molde até ao início de um novo ciclo. Se a máquina se encontra em regime automático, este tempo é substancialmente curto, mas quando a remoção da peça é feita manualmente, este tempo já é mais elevado; a situação ideal passa, naturalmente, por tempos mortos reduzidos, aumentando assim a reprodutibilidade do processo [50].

Por último, recomenda-se a necessidade de interpretar corretamente cada variável que constitui este ciclo, pois tal conhecimento permitirá o ajustamento, que for necessário operar no processo, de acordo com as propriedades do material (comportamento reológico e térmico), assim como as especificações do produto final.

1.3.O molde de injeção

Grosso modo, entende-se por *molde de injeção* a unidade completa capaz de reproduzir formas geométricas desejadas, através de cavidades, que possuem os formatos e dimensões do produto desejado. Outra definição complementar de molde de injeção: uma unidade completa com condições de produzir peças moldadas, onde as suas cavidades possuem as formas e as dimensões da peça desejada [43].

Molde de injeção para termoplástico é um conjunto de placas de aço, paralelas entre si dispostas de forma ordenada e lógica, formando assim uma estrutura que chamamos de porta molde. No seu interior serão alojadas, em local previamente estudado, de forma balanceada as partes ativas (macho e fêmea) que serão preenchidas pelo material fundido que flui pelos canais de alimentação, sofrerá refrigeração e após a abertura da máquina extrairá o produto final.

Os moldes para injeção cumprem *várias funções*:

- A primeira função do molde é *conseguir conter o material polimérico fundido na sua cavidade*, preenchendo-a na sua totalidade de modo a que a peça produzida seja uma réplica fiel.
- A segunda função é que este seja capaz *de transferir calor de uma forma eficiente e uniforme do material quente para o exterior, através do sistema de arrefecimento*, garantindo que a peça não tenha empenos ou distorções.
- A terceira função do molde é que este seja capaz *de ejetar a peça de uma forma rápida e fiável*. Em síntese, o molde, pelo que acabamos de expor, é um componente fulcral na máquina injetora. É responsável pela distribuição do polímero fundido no interior da cavidade, atribuindo forma às peças. É também responsável pelo arrefecimento e pela ejeção do produto final [12]

O molde deverá produzir peças de qualidade num tempo de ciclo mais curto possível, possuir o mínimo de manutenção durante o tempo de serviço, definir os volumes com a forma das peças a produzir e simultaneamente assegurar a reprodutibilidade dimensional de ciclo para ciclo, permitir o enchimento desses volumes com o polímero fundido, facilitar o arrefecimento do polímero e promover a extração das peças.

O molde é fabricado sob medida e, é composto elementos que se identificam na tabela nº 1

Tabela nº1. Elementos do molde

Elementos do molde
1. Jito e canais de alimentação
2. Ataque
3. Guias
4. Sistema de escape de gases
5. Cavidade
6. Bucha
7. Sistema de arrefecimento
8. Sistema ejetor
9. Extração

Os sistemas funcionais de um molde incluem:

- *a zona moldante*, espaço definido pela conjugação da cavidade e da bucha, que serão responsáveis pela forma das peças a produzir;

- O *sistema de centragem e guiamento* é o sistema que permite, por um lado, montar o molde na máquina, e por outro, ajustar as partes do molde, assegurando a reprodutibilidade dimensional das peças;
- O *sistema de alimentação* é o sistema que permite a passagem do polímero desde o cilindro da máquina de injeção até às zonas moldantes, por forma a efetuar o seu enchimento;
- O *sistema de escape de gases* é o sistema que permite que o ar existente nas zonas moldantes possa sair;
- O *sistema de controlo* da temperatura ou de arrefecimento é o que contribui para o arrefecimento das peças;
- O *sistema de extração* é aquele que permite a ejeção das peças.

A estrutura de um molde é constituída pelo conjunto de *placas e calços*, cujo número depende do tipo de molde [43].

Um molde mais simples é constituído por *duas partes principais*:

- por uma *parte fixa ou lado da injeção*;
- e por uma *parte móvel ou lado da extração*.

A parte fixa é constituída pelas chapas de aperto da injeção e chapa das cavidades.

A parte móvel é composta pela chapa da bucha, chapa de reforço da bucha, calços e chapa de aperto da extração. Nas chapas das cavidades é maquinada a cavidade, denominada de gravação direta ou monobloco, contudo, a cavidade pode ser separada da bucha se a nível de conceção e desenvolvimento o justificar, assim como o processo produtivo também pode definir este princípio. Na chapa das buchas também se pode maquinar a bucha na própria chapa ou um bloco separado da mesma [12].

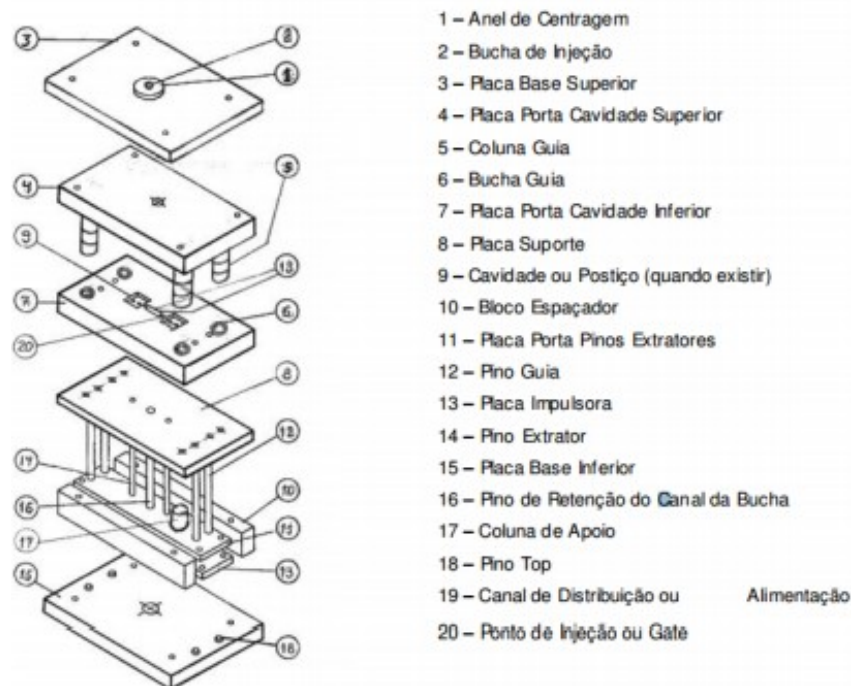


Figura nº4 – Estrutura genérica de um molde para injeção de plásticos

Os *calços* permitem definir o espaço necessário aos movimentos do sistema de extração e podem contribuir para a altura mínima do molde, exigível pela máquina onde vai ser instalado o molde. Se o molde tiver extração mecânica ou hidráulica a altura poderá ser alterada, e se os cursos dos movimentos forem muito grandes. Para dar rigidez ao conjunto, as chapas têm que ser aparafusadas e encavilhadas entre si, de forma a criar tantas partes quantas as necessárias ao tipo de molde em questão.

1.4. Máquina de injeção

Não obstante, as máquinas injetoras possam ser classificadas de diferentes formas¹, consoante vários aspetos a ter em conta no processamento do material injetável, estas são constituídas por 4 unidades funcionais: **i)** unidade de potência; **ii)** unidade de injeção; **iii)** unidade de fecho, e **iv)** unidade de comando .

A *unidade de potência* fornece energia aos atuadores, lineares e rotativos da máquina. Normalmente, é composta por um sistema de pressão óleo-hidráulico, no qual a bomba é acionada por um motor elétrico.

A *unidade de injeção* é constituída por um parafuso sem-fim, envolto num cilindro com

¹ As máquinas são classificadas principalmente pelo tipo de sistemas de direção que usam: hidráulico, elétrico ou híbrido. Também podem ser classificadas de acordo como tipo de orientação (horizontal ou vertical)

resistências elétricas, com o propósito de promover o transporte, aquecimento, plasticização e homogeneização do material, desde a base da tremonha, até ao bico de injeção.

A *unidade de fecho*, basicamente, corresponde a uma prensa, assegura a movimentação e fecho do molde. Tem como função contrariar a força imposta na injeção e compactação do material.

A *unidade de comando* faz a ligação entre a máquina e o operador, sendo possível controlar e monitorizar os parâmetros do processo através da sua interface. Assegura igualmente a comunicação com periféricos ou sistemas de gestão de manutenção [14].

Na figura nº5 pode-se observar as diferentes unidades de uma máquina injetora, acima descritas de forma sumária.

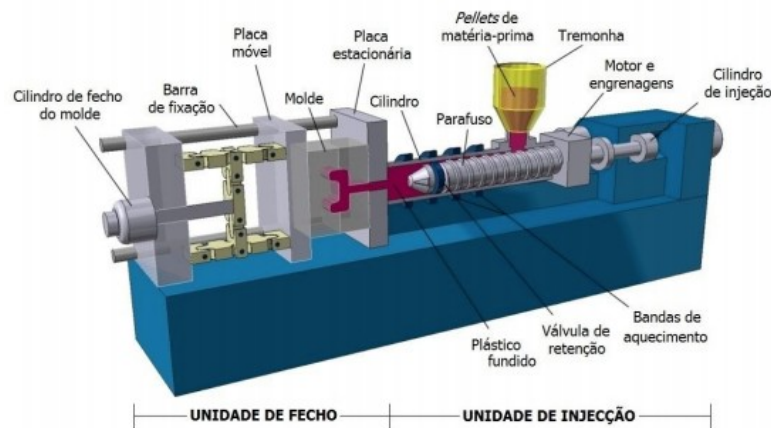


Figura nº5 - Principais constituintes de uma máquina de injeção [41]

Consideraremos alguns dos principais constituintes da máquina de injeção. A saber:

-Tremonha

Na tremonha o equipamento é guardado antes de entrar no cilindro aquecido e ser processado. Apresenta uma configuração afunilada, facilitando assim o escoamento da matéria-prima (ver figura nº 6). O seu volume é projetado de maneira a que tenha capacidade para abastecer em média duas horas de produção. A base da tremonha deve estar equipada por um íman que retenha qualquer partícula metálica que possa afetar nocivamente o processamento do material. Estas partículas podem ser provenientes de uma contaminação accidental no armazenamento da matéria ou na sua produção, através das pás

metálicas dos misturadores, soltando limalhas. A presença de metal no sistema, ainda que de partículas de reduzida dimensão, poderá provocar enormes danos no parafuso, cilindro ou molde, pelo que é necessário uma limpeza sistemática do íman para que a sua função seja garantida [5]. Da mesma forma, a tremonha deverá também impedir a contaminação do material de outros agentes como poeiras ou humidade, permitindo uma fácil limpeza [12]

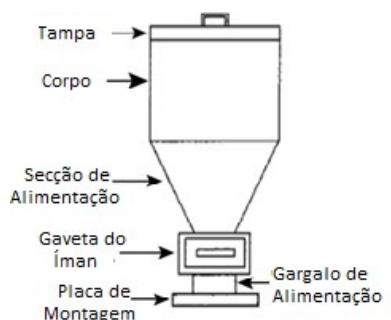


Figura nº 6 - Tremonha [5].

-Cilindro de Plasticização

O cilindro de plasticização é um tubo metálico de elevada espessura; no seu interior trabalha o parafuso sem-fim. Encontra-se ligado aos sistemas de acionamento do fuso na sua zona anterior, e na zona posterior ao molde [12]. A superfície em contacto com o parafuso encontra-se revestida com um aço de elevada dureza, capaz de suportar os esforços abrasivos a que está sujeito. No seu exterior é abraçado por resistências elétricas com o mínimo espaçamento entre si, divididas e controladas separadamente em três zonas distintas. Termopares instalados informam a unidade de controlo acerca da temperatura em cada zona, tomando esta a decisão de ligar ou desligar as resistências por ciclos, por forma a manter a temperatura no seu interior o mais estável possível em relação ao valor pretendido [5].

-Parafuso Sem-Fim

O parafuso sem-fim encontra-se instalado no cilindro de plasticização, tendo a finalidade de transportar o material fundido para a cavidade com a qualidade exigida. Resistências elétricas envolvem o cilindro fornecendo calor por energia radiante ao material, mantendo-o fluidificado. No entanto, o componente que desempenha um papel fundamental no processo de obtenção do fluido homogeneizado é o parafuso sem-fim. O parafuso sem-fim emprega uma tensão de corte ao material, ao mesmo tempo que o mistura e homogeneiza. É também um elemento fundamental no doseamento do volume empregue em cada injeção

[20]

Convirá, de forma breve, salientar a evolução do estado do material ao longo das zonas do parafuso:

.Zona de alimentação: O material que saí da base da tremonha entra no parafuso por esta zona. Nesta secção o diâmetro do parafuso é menor, iniciando o “amaciamento” do granulado com o seu movimento rotativo. O material não deve ser totalmente fundido, o que dificultaria a entrada de mais material.

.Zona de transição: Nesta zona, o diâmetro começa gradualmente a aumentar, diminuindo a profundidade do canal. Com a rotação do parafuso e a diminuição da profundidade do canal, o material é comprimido contra as paredes do cilindro levando à supressão do ar existente. As tensões de corte criadas no material e com o auxílio das resistências elétricas envolventes ao cilindro, levam a que o material chegue ao final da zona de transição totalmente fluído.

.Zona de medição: Esta é a zona mais próxima ao bico da máquina. A profundidade dos canais é mínima e constante. Uma vez que a alimentação é feita por recuo do parafuso até à posição de curso definida, a profundidade dos canais na zona de medição deverá ser mínima possível de modo a reduzir variações na quantidade de material na alimentação.

Observe-se a figura nº 7, a qual evidencia a progressão do material à medida que este percorre cada secção do parafuso. Como se pode verificar, na zona de alimentação os granulados da matéria-prima começam a ficar mais suaves e a aderir uns aos outros. Na zona de transição há evidências do material ter sido comprimido, sendo a matéria uma mistura entre material fundido e não fundido. Próximo ao bico, o material encontra-se totalmente fundido. Nos parafusos comuns, a comprimento da zona de alimentação é o dobro de cada uma das restantes zonas [20]

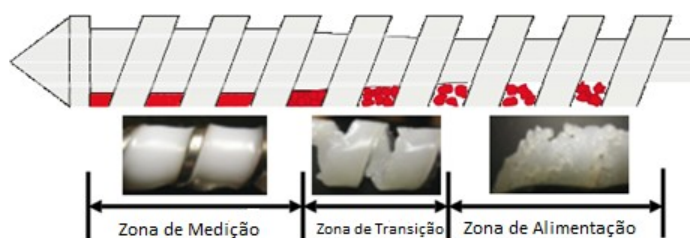


Figura nº 7- Evolução do estado do material ao longo das zonas do parafuso [20]

-Válvula de Não-Retorno

Na extremidade do parafuso junto ao bico encontra-se instalada uma válvula de não-retorno. Durante a fase de alimentação o parafuso é alimentado por um movimento combinado, linear e rotativo, recuando até a um ponto definido que depende da quantidade de material pretendido. Nesta fase, a válvula encontra-se na posição de avanço, encostada à ponteira, permitindo a passagem do material através dos rasgos desta para a frente do parafuso. Na fase de injeção, em que o parafuso avança linearmente empurrando o material para a cavidade do molde, a válvula encosta ao corpo do parafuso, impedindo o recuo do material fundido (Ver figura 8). Este componente necessita de ser verificado e substituído periodicamente, uma vez que ao sofrer desgaste, vai perdendo a capacidade de estancar o material, levando a que o processo sofra variação em cada injeção, podendo ser de material em excesso ou em falta. [20]

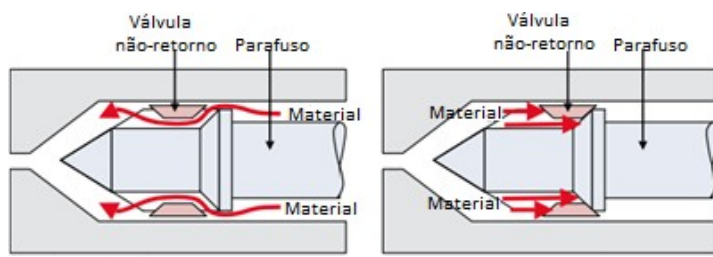


Figura nº 8 - Funcionamento da válvula de não-retorno (a) plasticização (b) injeção [20]

1.5. Parâmetros chave

Uma revisão da literatura científica sobre o processo de moldação por injeção de polímeros envolve a análise de estudos empíricos que investigam os parâmetros críticos do processo. Esses parâmetros incluem a *velocidade de injeção*, *temperatura de injeção*, *temperatura do*

molde, tempo de ciclo, segunda pressão (também conhecida como pressão de compactação), *contrapressão, rotação do fuso*, além do *uso de sensores de pressão e temperatura na cavidade do molde*. A seguir, apresentamos uma revisão das principais conclusões científicas e tendências recentes na literatura sobre esses tópicos.

1.Velocidade de Injeção

A velocidade de injeção é um parâmetro crítico no processo de moldação por injeção de polímeros, influenciando diretamente a qualidade das peças moldadas. Estudos recentes têm investigado os efeitos dessa variável em diferentes aspectos do processo e do produto final, como a orientação molecular, a distribuição de tensões, a formação de defeitos superficiais e a eficiência do enchimento da cavidade do molde. A seguir, são apresentados alguns dos estudos e investigações mais recentes sobre o impacto da velocidade de injeção no processo de moldação por injeção.

a. Influência da Velocidade de Injeção na Orientação Molecular e Propriedades Mecânicas

Um estudo publicado na *Polymer Engineering and Science*, investigou a influência da velocidade de injeção na orientação molecular e nas propriedades mecânicas de peças moldadas em polímeros semicristalinos. Os investigadores descobriram que velocidades de injeção mais altas resulta numa maior orientação das cadeias poliméricas na direção do fluxo, o que pode aumentar a resistência à tração, mas também introduzir tensões internas. Esses efeitos foram mais pronunciados em peças de geometria complexa, onde a orientação do fluxo varia ao longo da cavidade[45].

b. Efeito na Formação de Defeitos Superficiais e Estética das Peças

Num outro estudo explorou-se o impacto da velocidade de injeção na formação de defeitos superficiais, como linhas de soldadura e queimaduras. A investigação mostrou que velocidades de injeção muito altas podem causar o sobreaquecimento do material na entrada da cavidade, resultando em queimaduras superficiais. Por outro lado, velocidades muito baixas podem causar o congelamento prematuro do material, levando à formação de linhas de soldadura fracas e defeitos estéticos. Os autores recomendaram o uso de perfis de injeção variáveis para minimizar esses defeitos, onde a velocidade de injeção é ajustada dinamicamente ao longo do ciclo [35].

c. Otimização do Enchimento da Cavidade em Geometrias Complexas

Dois investigadores estudaram o efeito da velocidade de injeção no enchimento de cavidades complexas. A investigação utilizou simulações computacionais e experiências empíricas para mostrar que velocidades de injeção mais altas melhoram significativamente a capacidade de enchimento em peças com geometrias intrincadas e paredes finas. No entanto, foi observado que, em certas condições, a alta velocidade de injeção pode levar ao aprisionamento de ar e à formação de bolhas, especialmente em zonas de difícil acesso da cavidade. A conclusão foi que um equilíbrio entre a velocidade de injeção e a ventilação do molde é crucial para otimizar o enchimento sem comprometer a qualidade da peça[26].

d. Velocidade de Injeção e Distribuição de Tensões Residual

Numa investigação publicada em 2021, no *Journal of Manufacturing Processes*, analisou o impacto da velocidade de injeção na distribuição de tensões residuais em peças moldadas. O estudo utilizou técnicas de análise de tensões, como a birefringência óptica, para identificar como diferentes velocidades de injeção influenciam as tensões residuais dentro das peças. Os resultados indicaram que velocidades de injeção mais altas tendem a gerar tensões residuais mais elevadas, especialmente em regiões próximas à entrada da cavidade, o que pode comprometer a durabilidade e a estabilidade dimensional das peças ao longo do tempo [15].

e. Impacto na Homogeneidade e Microestrutura das Peças

Num artigo científico publicado no *Materials Science and Engineering*, investigaram o impacto da velocidade de injeção na microestrutura de peças moldadas em polímeros reforçados com fibras. O estudo revelou que a velocidade de injeção afeta significativamente a orientação das fibras e a homogeneidade da distribuição do reforço dentro do polímero. Velocidades de injeção mais altas favoreceram uma orientação mais alinhada das fibras na direção do fluxo, o que resultou em propriedades mecânicas anisotrópicas. Essas descobertas são particularmente relevantes para a indústria automóvel e aeroespacial, onde a otimização das propriedades mecânicas é crucial [46].

Conclusão

A velocidade de injeção é um dos parâmetros mais críticos no processo de moldação por injeção, com efeitos significativos na qualidade das peças moldadas, na eficiência do processo e nas propriedades finais dos produtos. Estudos recentes mostram que, enquanto

velocidades de injeção mais altas podem melhorar o enchimento de cavidades complexas e a orientação molecular, também podem introduzir defeitos, aumentar as tensões residuais e comprometer a homogeneidade das peças. A investigação contínua neste campo sugere que a otimização da velocidade de injeção deve ser realizada em conjunto com outros parâmetros de processo, utilizando tecnologias avançadas de monitoração e controlo para garantir a produção de peças de alta qualidade.

Os estudos supramencionados indicam que a velocidade de injeção impacta significativamente a orientação das cadeias poliméricas, a formação de linhas de soldadura e a ocorrência de defeitos, como bolhas e queimaduras. Além disso, a velocidade de injeção precisa ser cuidadosamente controlada para evitar a formação de vácuos e falhas na compactação do material. Velocidades mais altas tendem a melhorar o enchimento de peças complexas, mas podem aumentar o risco de defeitos superficiais.

2. Temperatura de Injeção

A temperatura de injeção é um parâmetro essencial no processo de moldação por injeção de polímeros, influenciando a viscosidade do material fundido, o preenchimento da cavidade do molde, a qualidade superficial das peças, e a integridade estrutural do produto final. Abaixo, são apresentados estudos e investigações recentes que exploram o impacto da temperatura de injeção.

a. Influência da Temperatura de Injeção na Viscosidade do Material e Preenchimento de Cavidades

Dois investigadores levaram a efeito um estudo publicado na *Polymer Testing*, investigaram como a temperatura de injeção afeta a viscosidade do polímero durante o processo de moldação. Os autores demonstraram que temperaturas de injeção mais elevadas reduzem a viscosidade do material, facilitando o preenchimento de cavidades complexas e minimizando o risco de defeitos, como vazios e linhas de soldadura. No entanto, o estudo também destacou que temperaturas excessivamente altas podem causar degradação térmica do material, resultando em mudanças indesejadas nas propriedades mecânicas e na aparência superficial das peças [56].

b. Efeitos da Temperatura de Injeção na Qualidade Superficial e na Cristalinidade

Um grupo de investigadores publicaram um artigo, no *Journal of Applied Polymer Science*, focado no impacto da temperatura de injeção na qualidade superficial e na cristalinidade de

polímeros semicristalinos. O estudo revelou que temperaturas de injeção mais altas resultam num melhor acabamento superficial, reduzindo a rugosidade e melhorando a estética da peça. Além disso, a investigação mostrou que uma temperatura de injeção elevada favorece a cristalinidade em polímeros semi-cristalinos, o que pode melhorar as propriedades mecânicas e a estabilidade dimensional das peças. Entretanto, os autores alertaram que um controlo preciso da temperatura é necessário para evitar a recristalização indesejada ou a deformação das peças [10].

c. Impacto da Temperatura de Injeção na Integridade Estrutural das Peças

Outro estudo publicado no *Materials & Design*, investigaram como a temperatura de injeção influencia a integridade estrutural de peças moldadas em polímeros reforçados com fibras de vidro. A investigação mostrou que temperaturas de injeção mais altas promovem uma melhor impregnação das fibras pelo polímero fundido, resultando em peças com maior resistência mecânica. Contudo, foi observado que temperaturas muito elevadas podem levar ao enfraquecimento das fibras, comprometendo a integridade estrutural das peças. O estudo concluiu que uma temperatura de injeção otimizada é crucial para equilibrar a impregnação das fibras e a preservação das propriedades mecânicas [22].

d. Influência da Temperatura de Injeção na Distribuição de Tensões e Defeitos Internos

Num artigo publicado no *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, exploraram como a temperatura de injeção afeta a distribuição de tensões internas e a ocorrência de defeitos, como porosidades e delaminações, em peças moldadas. O estudo utilizou análises por tomografia computadorizada e simulações numéricas para mostrar que temperaturas de injeção mais altas tendem a reduzir a formação de tensões residuais e minimizar os defeitos internos. Contudo, os autores notaram que a otimização da temperatura de injeção deve ser feita em conjunto com a gestão da temperatura do molde e da velocidade de injeção para evitar a degradação do material e garantir a integridade do produto [21].

e. Efeitos da Temperatura de Injeção na Vida Útil do Molde

Vários investigadores chineses conduziram uma investigação publicada no *Journal of Manufacturing Processes* sobre o impacto da temperatura de injeção na vida útil do molde. Os autores investigaram como diferentes temperaturas de injeção afetam o desgaste do molde ao longo de ciclos repetidos de injeção. A investigação concluiu que temperaturas de injeção mais elevadas podem acelerar o desgaste do molde, especialmente em áreas de alta

pressão e contato contínuo com o polímero fundido. Os autores sugeriram o uso de materiais de alta resistência térmica para o molde e o desenvolvimento de técnicas de monitorização do desgaste para prolongar a vida útil do molde em condições de alta temperatura [62].

Em síntese,

A temperatura de injeção é um fator determinante na qualidade e nas propriedades das peças moldadas por injeção, e estudos recentes demonstram que o controle preciso desse parâmetro é essencial para otimizar o processo. Investigações de destacam como a temperatura de injeção afeta desde a viscosidade do material e a qualidade superficial até a integridade estrutural das peças e a vida útil do molde. O equilíbrio entre uma temperatura de injeção adequada e outros parâmetros do processo é fundamental para garantir a produção eficiente e a alta qualidade das peças moldadas [56], [9],[23], [21], [62].

3. Temperatura do Molde

A temperatura do molde é um parâmetro crítico no processo de moldação por injeção de polímeros, influenciando a qualidade superficial, as propriedades mecânicas, a cristalinidade e a eficiência do ciclo de produção. A seguir, apresentamos uma revisão de estudos e investigações recentes sobre o impacto da temperatura do molde no processo de moldação por injeção.

a. Influência da Temperatura do Molde na Qualidade Superficial e Acabamento das Peças

Um estudo publicado, em 2022, no Journal of Applied Polymer Science explorou como a temperatura do molde afeta a qualidade superficial das peças moldadas. Os autores descobriram que temperaturas de molde mais elevadas resultam num melhor acabamento superficial, reduzindo a ocorrência de defeitos como linhas de soldadura e marcas de fluxo. Além disso, foi observado que a temperatura do molde tem um impacto significativo na rugosidade superficial, com temperaturas mais altas levando a superfícies mais lisas e brilhantes. O estudo sugere que o controle da temperatura do molde é essencial para produzir peças com alta qualidade estética [13].

b. Efeito da Temperatura do Molde na Cristalinidade e Propriedades Mecânicas

Num artigo publicado na Polymer Testing foi apresentado o impacto da temperatura do molde na cristalinidade e nas propriedades mecânicas de polímeros semicristalinos. O estudo demonstrou que uma temperatura de molde mais alta favorece a cristalização do polímero, resultando em peças com maior rigidez e estabilidade dimensional. No entanto, os autores notaram que temperaturas muito elevadas podem prolongar o tempo de ciclo, devido ao aumento do tempo de arrefecimento necessário, o que pode comprometer a eficiência da produção. O estudo concluiu que a temperatura do molde deve ser cuidadosamente otimizada para equilibrar a cristalinidade e a produtividade [60].

c. Impacto da Temperatura do Molde na Distribuição de Tensões e Deformações

Em 2021 uma investigação procurou averiguar como a temperatura do molde influencia a distribuição de tensões internas e as deformações nas peças moldadas. O estudo empírico utilizou simulações numéricas e experiências práticas para mostrar que temperaturas de molde mais baixas tendem a aumentar as tensões residuais, resultando em peças mais propensas a deformações e falhas estruturais. Em contraste, temperaturas mais altas do molde reduziram significativamente as tensões internas, melhorando a integridade dimensional das peças [18].

d. Influência da Temperatura do Molde no Ciclo de Produção e Eficiência Energética

Um estudo publicado no Journal of Manufacturing Processes, investigou o efeito da temperatura do molde na eficiência do ciclo de produção e no consumo de energia. O estudo revelou que temperaturas de molde mais altas podem aumentar o tempo de arrefecimento, prolongando o ciclo de produção. No entanto, temperaturas de molde mais baixas exigem maior energia para manter o molde aquecido durante o processo, o que pode aumentar o consumo de energia. Os autores concluíram que a otimização da temperatura do molde é essencial para equilibrar a eficiência energética e a produtividade, recomendando o uso de tecnologias de controlo térmico avançadas [26].

e. Impacto da Temperatura do Molde na Vida Útil do Molde e Desgaste

Um estudo realizado por Singh e colaboradores publicado na Materials & Design, analisou como a temperatura do molde afeta a vida útil do molde e o desgaste. O estudo empírico mostrou que temperaturas de molde muito altas aceleram o desgaste das superfícies do molde, especialmente em zonas de contato constante com o polímero fundido. Por outro lado, temperaturas mais baixas podem reduzir o desgaste, mas também podem levar a

problemas de qualidade nas peças. O estudo sugere o uso de revestimentos protetores e materiais de alta resistência térmica para prolongar a vida útil do molde em condições de operação com altas temperaturas [47].

Conclusão

A temperatura do molde é um parâmetro fundamental no processo de moldação por injeção, com impacto direto na qualidade das peças, nas propriedades mecânicas e na eficiência do ciclo de produção. Estudos recentes destacam que a temperatura do molde afeta desde a qualidade superficial e a cristalinidade até a distribuição de tensões internas e o desgaste do molde. Esses estudos sublinham a importância de otimizar a temperatura do molde para alcançar um equilíbrio entre a qualidade do produto, a eficiência energética e a durabilidade do molde, garantindo um processo de produção eficiente e sustentável [13], [60], [18], [26], 47].

4. Tempo de Ciclo e 2ª Pressão

O tempo de ciclo e a segunda pressão (ou pressão de compactação) são parâmetros críticos no processo de moldação por injeção de polímeros, afetando diretamente a eficiência da produção, a qualidade das peças moldadas e as propriedades mecânicas finais. A seguir, apresentamos uma revisão de estudos e investigações recentes sobre o impacto do tempo de ciclo e da segunda pressão no processo de moldação por injeção.

a. Impacto do Tempo de Ciclo na Eficiência de Produção e Qualidade das Peças

Um estudo realizado por Xu e cols., publicado na *Journal of Manufacturing Process*, mostrou a influência do tempo de ciclo na eficiência de produção e na qualidade das peças moldadas. Os autores analisaram como a redução do tempo de ciclo pode afetar a integridade das peças, observando que tempos de ciclo mais curtos aumentam a produtividade, mas podem comprometer a solidificação do polímero, levando a defeitos como empenamento e contração excessiva. O estudo concluiu que, para garantir peças de alta qualidade, o tempo de ciclo deve ser otimizado em relação às características específicas do material e à complexidade da peça [55]

b. Efeitos do Tempo de Ciclo na Cristalinidade e Propriedades Mecânicas

Kim e cols num artigo publicado na *Polymer Engineering and Science*, exploraram como o tempo de ciclo afeta a cristalinidade e as propriedades mecânicas de polímeros semi-

cristalinos. O estudo mostrou que tempos de ciclo mais longos permitem uma maior cristalização, o que resulta em peças com maior rigidez e estabilidade dimensional. No entanto, o prolongamento do tempo de ciclo também pode reduzir a produtividade e aumentar os custos de fabricação. Os autores sugeriram que o tempo de ciclo deve ser ajustado de forma a equilibrar as propriedades mecânicas desejadas com as exigências de produtividade [19].

c. Influência da Segunda Pressão na Redução de Defeitos e Melhorias na Qualidade das Peças

Um estudo conduzido por Li e cols. (2021), publicado na Journal of Applied Polymer Science, evidenciou o impacto da segunda pressão na redução de defeitos como porosidades, vazios e empenamentos nas peças moldadas. A investigação demonstrou que a aplicação adequada da segunda pressão, após a fase inicial de injeção, é crucial para compensar a contração volumétrica do material durante o arrefecimento, melhorando a densidade e a uniformidade das peças. Os autores destacaram que a segunda pressão deve ser ajustada com base nas características do material e na geometria da peça para minimizar defeitos e garantir uma alta qualidade final [22].

d. Estudo da Sinergia entre Tempo de Ciclo e Segunda Pressão

Em 2022, Zhao e cols publicaram um artigo no International Journal of Advanced Manufacturing Technology, no qual investigaram a sinergia entre o tempo de ciclo e a segunda pressão no processo de moldação por injeção. O estudo utilizou simulações numéricas e investigações práticas para analisar como a combinação desses dois parâmetros afeta a formação de tensões internas e a precisão dimensional das peças. Os resultados mostraram que um tempo de ciclo otimizado, combinado com uma segunda pressão adequada, pode reduzir significativamente as tensões residuais, resultando em peças com menor deformação e maior precisão dimensional [61].

e. Impacto da Segunda Pressão na Durabilidade e Desempenho das Peças

Chen e cols, num estudo empírico publicada na Materials & Design, examinaram como a segunda pressão influencia a durabilidade e o desempenho a longo prazo das peças moldadas. O estudo focou-se em componentes automotivos e de alta performance, mostrando que uma segunda pressão bem ajustada melhora a compactação do material, o que resulta em peças mais resistentes a fadiga e a falhas mecânicas. Todavia, os

investigadores também alertaram que pressões excessivas podem causar tensões internas elevadas, levando a uma redução na durabilidade das peças [10].

Conclusão

O tempo de ciclo e a segunda pressão são parâmetros essenciais no processo de moldação por injeção, com impactos significativos na qualidade das peças, na eficiência da produção e nas propriedades finais dos produtos. Estudos recentes demonstram a importância de otimizar esses parâmetros para alcançar um equilíbrio entre alta qualidade, eficiência produtiva e durabilidade das peças. As investigações destacam a necessidade de um ajuste mais preciso desses parâmetros, levando em consideração as características do material, a complexidade da peça e os requisitos específicos de aplicação para garantir resultados ótimos no processo de moldação por injeção [55], [19], [22], [61], [10].

5. Contrapressão e Rotação do Fuso

A contrapressão e a rotação do fuso são parâmetros críticos no processo de moldação por injeção de polímeros, afetando diretamente a homogeneidade do material, a qualidade das peças moldadas e a eficiência do processo. A seguir, apresenta-se uma revisão de estudos e investigações recentes sobre o impacto da contrapressão e da rotação do fuso no processo de moldação por injeção.

a. Impacto da Contrapressão na Homogeneidade do Material e Qualidade das Peças

Um estudo conduzido por Wang e cols publicado no Journal of Polymer Engineering, demonstrou a influência da contrapressão na homogeneidade do material fundido e na qualidade das peças moldadas. Os investigadores descobriram que o aumento da contrapressão durante a plasticização do polímero melhora a homogeneidade do material, eliminando bolhas de ar e garantindo uma mistura mais uniforme dos aditivos e pigmentos. Como resultado, as peças moldadas apresentaram uma qualidade superficial superior e uma redução nos defeitos internos, como vazios e linhas de soldadura. Porém, o estudo também apontou que uma contrapressão excessiva pode aumentar o desgaste do fuso e o consumo de energia [54].

b. Efeitos da Contrapressão nas Propriedades Mecânicas das Peças Moldadas

Chen e seus colaboradores (2023), num artigo publicado no Journal of Materials Processing Technology, exploraram como a contrapressão afeta as propriedades mecânicas das peças moldadas em polímeros reforçados com fibras. O estudo mostrou que uma contrapressão adequada melhora a impregnação das fibras pelo polímero fundido, resultando em peças com maior resistência mecânica e melhor performance em testes de tração e impacto. Os autores observaram que a contrapressão otimizada contribui para uma distribuição mais uniforme das fibras dentro da matriz polimérica, o que é crucial para aplicações de alta performance, como na indústria automível e aeroespacial [9].

c. Impacto da Rotação do Fuso na Plastificação e Viscosidade do Material

Uma investigação realizada por Zhang e cols (2021), publicada na International Polymer Processing, analisou como a rotação do fuso influencia a plastificação e a viscosidade do material durante o processo de moldação por injeção. A pesquisa demonstrou que a rotação do fuso tem um impacto direto na taxa de corte do polímero fundido, o que afeta a sua viscosidade e, conseqüentemente, o fluxo do material dentro da cavidade do molde. Os autores concluíram que uma rotação do fuso mais alta pode reduzir a viscosidade do material, melhorando o enchimento do molde e a qualidade final das peças, mas também pode gerar mais calor devido ao atrito, aumentando o risco de degradação do material [59].

d. Influência Combinada da Contrapressão e Rotação do Fuso na Qualidade e Produtividade

Liu e cols (2022) publicaram um estudo no Journal of Manufacturing Science and Engineering sobre a influência combinada da contrapressão e da rotação do fuso na qualidade das peças moldadas e na produtividade do processo. O estudo utilizou investigações controladas para investigar como a interação entre esses dois parâmetros afeta a estrutura interna das peças, como a orientação molecular e a cristalinidade. Os resultados indicaram que uma contrapressão e uma rotação do fuso otimizadas podem melhorar significativamente a qualidade das peças e a consistência do processo, mas que ajustes precisos são necessários para evitar o desgaste excessivo do fuso e o aumento do tempo de ciclo [26].

e. Estudo sobre o Impacto da Rotação do Fuso na Degradação Térmica e Qualidade do Produto

Yuan e cols. (2023), num artigo publicado na Materials & Design, investigaram o impacto da rotação do fuso na degradação térmica do material durante o processo de moldação por

injeção. O estudo incidiu em polímeros sensíveis ao calor, como o PVC e o POM, mostrando que uma rotação do fuso excessivamente alta pode gerar calor excessivo devido ao atrito, acelerando a degradação do material e resultando em mudanças indesejadas nas propriedades físicas e químicas do produto final. Os autores recomendaram o uso de uma rotação do fuso controlada para minimizar a degradação térmica e garantir a qualidade do produto, especialmente para materiais sensíveis [57].

Conclusão

A contrapressão e a rotação do fuso desempenham papéis cruciais no processo de moldação por injeção, influenciando a homogeneidade do material, a qualidade das peças moldadas e a eficiência do processo. Estudos atuais destacam a importância de otimizar esses parâmetros para alcançar um equilíbrio entre a qualidade do produto e a eficiência do processo. A investigação sugere que a personalização e o ajuste fino da contrapressão e da rotação do fuso, levando em consideração o tipo de material e as especificações da peça, são essenciais para o sucesso na moldação por injeção de polímeros [54], [9], [59], [26], [57].

6. Sensores de Pressão e Temperatura na Cavidade

Os sensores de pressão e temperatura na cavidade são ferramentas críticas no processo de moldação por injeção, fornecendo dados em tempo real que permitem a monitorização e o controlo precisos do processo. Esses sensores são fundamentais para otimizar a qualidade das peças, minimizar defeitos e aumentar a eficiência do processo. A seguir, apresento uma revisão de estudos e investigações recentes sobre o impacto dos sensores de pressão e temperatura na cavidade no processo de moldação por injeção.

a. Impacto dos Sensores de Pressão na Detecção e Redução de Defeitos

Müller e cols. (2022), num estudo publicado na Journal of Injection Molding Technology, investigaram como o uso de sensores de pressão na cavidade pode melhorar a detecção e a redução de defeitos em peças moldadas por injeção. Os resultados mostraram que os sensores de pressão instalados nas cavidades permitem a detecção precoce de anomalias durante o processo de preenchimento, como falhas de compactação e formação de vazios. Os autores demonstraram que a monitorização em tempo real da pressão ajuda a ajustar os

parâmetros de injeção de forma dinâmica, o que resultou em uma significativa redução de defeitos e aumento da qualidade final das peças [32].

b. Monitorização de Temperatura para Controlo de Cristalinidade e Qualidade Superficial

Um estudo de Zhang e cols (2023), publicado na *Polymer Engineering and Science* demonstrou o impacto da monitorização da temperatura na cavidade sobre a cristalinidade e a qualidade superficial das peças moldadas. Os sensores de temperatura instalados nas cavidades permitiram o controlo preciso da taxa de arrefecimento, o que é crucial para controlar a cristalinidade em polímeros semi-cristalinos. Os autores destacaram que um controlo térmico mais refinado, possibilitado pelos sensores, resultou em peças com melhor qualidade superficial e propriedades mecânicas otimizadas, especialmente em aplicações onde a aparência e a performance são críticas [60].

c. O Uso de Sensores para Otimização do Ciclo de Produção

Li e cols. (2021) publicaram um estudo, no *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, sobre como os sensores de pressão e temperatura na cavidade podem ser utilizados para otimizar o ciclo de produção em moldação por injeção. Os resultados do estudo demonstraram que a recolha contínua de dados permite ajustes automáticos no processo, como a modulação da pressão de compactação e o tempo de arrefecimento, em resposta às condições reais dentro da cavidade. Esse feedback, em tempo real, permitiu uma redução significativa no tempo de ciclo, sem comprometer a qualidade das peças, aumentando a eficiência global da produção [24].

d. Integração de Sensores para Análise de Dados e Prevenção de Defeitos

Schmidt e cols. (2022), num artigo que publicaram, na *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, exploraram a integração de sensores de pressão e temperatura com sistemas de análise de dados para a prevenção proativa de defeitos. Os autores utilizaram algoritmos de *machine learning* para analisar os dados recolhidos pelos sensores durante o processo de moldação, identificando padrões que precedem a formação de defeitos. A investigação concluiu que a análise preditiva, baseada nos dados dos sensores, pode prevenir a ocorrência de defeitos e garantir uma produção mais consistente e de alta qualidade [43].

e. Impacto dos Sensores na Monitorização de Processos Críticos e na Sustentabilidade

Chen e cols. (2023), num artigo publicado na *Journal of Cleaner Production*, investigaram como o uso de sensores de pressão e temperatura na cavidade pode contribuir para a

sustentabilidade no processo de moldação por injeção. O estudo tinha como objetivo perceber como os sensores permitem uma monitorização precisa de processos críticos, como a gestão do tempo de arrefecimento e a aplicação da pressão de compactação, o que resulta em menos desperdício de material e menor consumo de energia. Os autores também notaram que o uso eficiente de sensores pode reduzir o número de peças defeituosas, diminuindo a necessidade de retrabalho e, portanto, reduzindo o impacto ambiental da produção [10].

Conclusão

Os sensores de pressão e temperatura na cavidade desempenham um papel vital no aprimoramento do processo de moldação por injeção, oferecendo *insights* críticos que permitem o ajuste dinâmico e a otimização dos parâmetros do processo. Estudos recentes mostram que o uso desses sensores não só melhora a qualidade das peças e a eficiência do processo, como também contribui para práticas de fabricação mais sustentáveis. A integração de sensores com tecnologias de análise de dados avançadas está cada vez mais se tornando essencial para a produção inteligente e para a manutenção da competitividade na indústria de moldação por injeção[32], [60], [24], [43], [60], [24], [10].

Conclusão Geral

Os parâmetros de processo na moldação por injeção de polímeros são interdependentes e o seu controlo otimizado é essencial para garantir a qualidade das peças e a eficiência do processo. A literatura/investigação recente enfatiza a importância de uma abordagem holística para o ajuste desses parâmetros, utilizando ferramentas como sensores avançados e algoritmos de controlo adaptativo para otimizar o processo em tempo real. Investigações futuras devem continuar a explorar a integração dessas tecnologias para melhorar ainda mais a precisão e a repetibilidade na moldação por injeção.

Esta revisão destaca a necessidade de um equilíbrio cuidadoso entre os diferentes parâmetros para maximizar a qualidade e a produtividade, apontando para as inovações tecnológicas como chave para o avanço contínuo no campo.

1.6 Principais defeitos visuais

Nesta parte da tese faremos uma apresentação detalhada dos defeitos visuais mais comuns. Efetuaremos a revisão de estudos empíricos que não só detetaram os defeitos visuais das peças como apresentam as causas e formas de resolução/eliminação.

Tabela nº 2. Revisão dos estudos empíricos que identificaram diferentes tipos de defeitos visuais e respectivas causas-efeito (diagramas), propondo medidas de melhoria

Investigação/objetivo	Tipo de defeito visual	Causas-efeito	Medidas de melhoria
Alaa <i>et al</i> (2018) [1]	bolhas de ar, rebarba e manchas	---	-redução da percentagem de matéria-prima reciclada -limpeza periódica do molde e -otimização dos parâmetros
Vikash <i>et al</i> (2014) [52]	pontos pretos	-Desgaste da máquina -Falta de formação e conhecimento do operador no ajuste dos parâmetros	-melhoria a limpeza do cilindro, e do parafuso.
Randelovic (2015).[37]	linhas de soldaduradura, peça incompleta, rechupes e rebarba	---	-alteração de parâmetros, do material -alteração da própria localização do sistema de alimentação.
Srivastava (2005). [48]	bolhas de ar na produção	---	-ajuste na percentagem de material reciclado na mistura, no valor da temperatura e da pressão de injeção.
Mansur <i>et al</i> (2006) (princípio de Pareto). [29]	bolhas de ar, pintas, rebarba, incompletos e rechupes.	---	-diminuição da velocidade de injeção -limpeza do molde -alteração da matéria-prima -reparação do molde -melhoria das condições de trabalho dos operadores
Tayal <i>et al</i> (2012) [49]	raizados, queimados, incompletos e manchas	---	-diminuição da velocidade de injeção -aumento da dimensão dos canais de escape do molde -redução do tempo de permanência do material no cilindro, -impedir o contacto da matéria-prima com agentes exteriores.

Pavlicková et al (2016).[36]	defeitos pontos pretos e brilho não conforme,	---	-alteração no moinho que mistura a matéria-prima virgem com a reciclada -redefinição dos limites de brilho especificados
Pereira (2013) [34]	incompletos e raiados.	---	-aumentar a frequência de verificação de trabalho da máquina, -limpeza de todos os equipamentos, -melhorar a separação de materiais reciclados e de matérias virgens - aumentar a formação dos colaboradores, entre outras.
Kasia (2010) [16]	pontos e estrias negras	---	-maior controlo da matéria-prima, (viscosidade, humidade e limpeza) -criação de procedimentos de limpeza para os moinhos misturadores -maior cuidado a ter no manuseamento das peças rejeitadas, que poderão ser uma fonte de contaminação uma vez que serão recicladas posteriormente.
Lima,T., Auras, R., & Rubino, M. (2008), [25]	rebarbas	.Elevada temperatura no cilindro .Elevada temperatura do molde .Pressão de injeção muito elevada	-reduzir a temperatura de fundido -reduzir a velocidade do parafuso -reduzir a temperatura do molde -reduzir a velocidade de injeção
	peças incompletas	.Peças incompletas .Baixa temperatura do cilindro .Baixa temperatura do molde .Geometria do molde	-aumentar a velocidade/pressão de injeção -aumentar a temperatura de fundido -aumentar a temperatura do molde -mudar a geometria da peça posicionar os canais de alimentação relativamente à zona problema

Mourya <i>et al.</i> , (2023) [31]	manchas	---	-aumentar um pouco a temperatura do bico de injeção. -verificar a possibilidade de reduzir a velocidade de injeção ou usar um perfil de injeção iniciando a injeção a baixas velocidades e aumentando posteriormente. - reduzir temperatura do molde -reduzir a quantidade de material na tremonha e ainda, considerar que o canal de entrada pode ser pequeno
	empenos	Empenos dependem de parâmetros de processamento (por exemplo pressão e temperatura), do material (cargas de reforços, amorfas, parcialmente cristalinas), do molde (tolerâncias) e da geometria das peças.	-aumentar o tempo de arrefecimento -diminuir a temperatura do molde -diminuir a temperatura do cilindro. -diminuir a temperatura da massa. -diminuir a 2ª pressão -aumentar o tempo de 2ª pressão -modificar a temperatura no molde para uniformizar o arrefecimento da peça.
	incompletos	---	-ajustar alimentação e dosagem. -aumentar a pressão/Tempo de recalque -aumentar a velocidade de injeção. -aumentar a temperatura do cilindro, do bico/molde. -carga de material. -secagem do material. -Aumentar tempo e curso de comutação -Reposicionar canal perto de seções espessas.

CAPÍTULO II- METODOLOGIA

2.1. A empresa

A 3G Resins é uma empresa portuguesa, criada em 2008, cuja sede e unidade industrial se encontram localizadas em Vieira do Minho, distrito de Braga.

É uma empresa que se dedica à produção e comercialização de produtos em resinas termoplásticas para mobiliário de interior e exterior, utilitários e de lazer, que vem sendo amplamente reconhecida pela diversidade e qualidade dos seus produtos.

A empresa emergiu da capacidade empreendedora e proactiva do seu fundador, Gilberto Ribeiro, Eng.º de Polímeros, que desenvolveu ao longo de todo o seu percurso académico e profissional, um *know-how* alargado e um conjunto de competências que lhe permitiram um conhecimento profundo deste setor de atividade. Tendo passado por empresas de renome, o empresário colocou todo o seu saber ao serviço de um projeto empresarial focado, tentando conceber um modelo de negócio ágil, competitivo, eficiente e dinâmico. No início e durante os primeiros anos de atividade, a empresa mobilizou grande parte dos seus recursos para a forte capacitação da sua unidade industrial, quer em termos operacionais quer em termos tecnológicos.

Do ponto de vista das instalações, a empresa foi sendo alvo de mudanças significativas ao longo do tempo, dispondo atualmente de infraestruturas próprias que garantem a exequibilidade das tarefas que se propõe realizar, que vão desde a produção até ao exercício de todas as tarefas de logística e atendimento ao cliente.

No que toca à capacitação tecnológica, pode caracterizar-se como sendo uma empresa tecnologicamente evoluída, que sempre apostou na aquisição de novas tecnologias. De momento, possui um leque diversificado de equipamentos, desde os produtivos, acessórios e os equipamentos de medição e monitorização que lhe vêm permitindo ganhos de eficiência elevados bem como lhe permitem ter um relacionamento célere e objetivo com todas as partes interessadas, desde os seus colaboradores, clientes e fornecedores.

Assim, alicerçada num negócio com bases técnicas e tecnológicas sólidas, com um fluxo de trabalho produtivo e otimizado e na posse de um portfólio de produtos diversificado, a

estratégia da empresa passa pela continuidade de crescimento, apostando na diferenciação e na internacionalização para novos mercados.

2.2. Natureza do estudo e objetivos

De uma forma genérica, o objetivo do estágio/projeto consiste na análise e melhoria do processo de injeção de plástico de cadeira Braga, recorrendo-se para isso a conceitos de melhoria contínua com aplicação adaptada da metodologia *DMAIC*.

Identificar, com base na metodologia *DMAIC*, as causas específicas que provoquem perturbação ao processo de injeção, propondo ações de melhoria que as eliminem ou mitiguem, tendo em vista a **redução de desperdício** é, pois, a grande **finalidade deste projeto**.

Dada a natureza da finalidade deste projeto, trata-se de um ***estudo de investigação-ação***, assente na ***metodologia DMAIC***

.Objetivos Específicos do Estudo:

Subjacente à finalidade geral, o projeto compreende ainda os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os defeitos visuais de materiais direccionados para mobiliário de lazer exterior (i.é, Cadeira Braga);
- Identificar as possíveis causas dos defeitos visuais de material para lazer exterior;
- Apresentar soluções a operar no sentido de eliminar ou reduzir os defeitos visuais do material para exterior de lazer;
- Introduzir mudanças nas variáveis operatórias de injeção, de forma eliminar ou reduzir os defeitos visuais da peça.

2.3. Metodologia DMAIC

Neste estudo, utilizamos a metodologia DMAIC com adaptações que nos pareceram importantes, dado o tempo disponível e o nosso domínio técnico sobre a mesma. Contudo vamos, aqui, brevemente caracteriza-la.

A metodologia DMAIC é essencialmente utilizada em processos, produtos ou serviços que já existem, tendo como objetivo principal, a sua melhoria. Os projetos que consistem nesta metodologia, visam ajudar a eficácia de processos, sem que haja grandes alterações na organização.

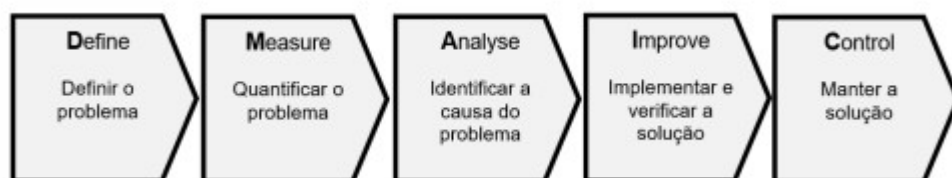


Figura nº 9 – Fases da DMAIC

DEFINIR| Nesta fase, é importante definir quais os processos cuja melhoria faria com que se obtivessem mais ganhos, que carecem de alterações.

MEDIR| Esta fase tem como objetivo, estabelecer a *baseline*, ou seja, a capacidade atual do processo. Esta fase pode seguir os passos seguintes:

- 1** - Selecionar uma ou mais variáveis críticas para melhorar;
- 2** -Definir as amostras a serem recolhidas;
- 3** -Desenvolver um plano de recolha das amostras;
- 4**-Validar as amostras recolhidas através das Cartas de Controlo (envolve o produto selecionado e a amostra recolhida ao longo do tempo. Através destes gráficos podemos encontrar algumas tendências, se o processo está sob controlo, se tem muita ou pouca variação);
- 5- Diagrama de Ishikawa:** é uma ferramenta de gestão da qualidade que encontra as possíveis causas-raízes de algum problema.

6- Estatística descritiva é a etapa inicial de análise de dados, que é utilizada para avaliar e compreender as informações do processo.

ANALISAR | Nesta fase, os dados adquiridos na fase anterior, são analisados estatisticamente e tem como objetivos identificar desperdícios, selecionar e classificar as variáveis dos processos-chave, e estimar os pontos fracos do processo atual.

MELHORAR | Esta etapa, iremos apresentar estatisticamente qual a solução de otimização.

2.4. Os materiais e recursos usados

2.4.1.A cadeira Braga.

O polipropileno homopolímero é um tipo de polipropileno que consiste exclusivamente em unidades de monómero de propileno, sem a presença de outros monómeros. Este polímero termoplástico possui várias características distintivas:

- **Estrutura Química:** O polipropileno homopolímero é composto exclusivamente por unidades repetitivas do monómero de propileno, cuja fórmula química é $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$.
- **Cristalinidade:** Apresenta uma elevada cristalinidade, o que significa que tem uma estrutura molecular organizada e uma ordem atômica definida. Esta característica confere ao polipropileno homopolímero boas propriedades mecânicas, como resistência e rigidez.
- **Ponto de Fusão:** O ponto de fusão do polipropileno homopolímero situa-se geralmente entre os 160 e os 170 graus Celsius. Tal torna-o adequado para aplicações que exigem um material com boa estabilidade térmica.
- **Resistência Química:** É resistente a muitos produtos químicos, o que o torna apropriado para utilização em ambientes corrosivos.
- **Leveza:** O polipropileno homopolímero é um material leve, sendo vantajoso em aplicações onde a redução de peso é desejada.
- **Propriedades Dielétricas:** Possui boas propriedades dielétricas, o que o torna um isolador elétrico eficaz. Por este motivo, é frequentemente utilizado em aplicações elétricas e eletrónicas.
- **Transparência:** Pode ser transparente, uma característica desejável em aplicações de embalagem onde a visibilidade do conteúdo é importante.

- **Reciclabilidade:** É reciclável e pode ser reaproveitado em diversas aplicações
- **Baixa Absorção de Humidade:** O polipropileno homopolímero apresenta uma baixa absorção de humidade, o que contribui para a sua estabilidade dimensional em condições húmidas.
- **Resistência ao Impacto:** Apresenta uma boa resistência ao impacto, tornando-o adequado para uma variedade de aplicações industriais.

É importante salientar que as propriedades específicas podem variar consoante o processo de fabrico, os aditivos utilizados e as condições de processamento do polipropileno homopolímero. Estas características fazem do polipropileno homopolímero uma escolha versátil em diversas aplicações, incluindo embalagens, equipamentos médicos, peças automóveis, electrodomésticos, entre outros.



Figura nº 10 – Cadeira Braga

2.4.2.O Software Minitab

O Minitab foi desenvolvido nos anos 70 e é considerado um dos primeiros softwares criados para fins estatísticos, e surgiu para revolucionar o mercado e ajudar na tomada de decisões por meio de análises estatísticas.

Quando temos algum tipo de problema são infinitas as variáveis que interferem neste problema, no processo que ele está inserido e no resultado final. Para conseguir relacionar de uma forma eficiente essa quantidade gigante de dados e informações são aplicados

estudos estatísticos. Esses estudos têm como finalidade, otimizar o processo de tomada de decisão.

Isso porque, decisões tomadas com suporte científico são mais eficazes que as sem evidência científica, no sentido de obterem melhores resultados, melhor desempenho, qualidade e rentabilidade aumentadas.

As ferramentas mais usadas com recurso ao *software Minitab* são:

- Estatística básica: elabora estudos estatísticos descritivos, aplica testes de hipóteses, confere intervalos de confiança e testes de normalidade.
- Regressão e ANOVA: conheça as relações entre as variáveis de um problema e identifique as principais causas que o afetam. No nosso estudo apresentaremos mais à frente resultados decorrentes da aplicação do teste paramétrico ANOVA.
- Ferramentas de qualidade: confere a validade de seu sistema de medição com o **MSA**, define a capacidade de seu processo em atender seus limites de especificação com **CEP**.
- Planeamento de experiências científicas: ajusta e configura às várias possibilidades de operações que seu sistema possui com **DOE** e determina a forma mais rentável e produtiva de operá-lo.
- Cartas de controlo: controla a estabilidade de seu processo e atua de forma preventiva no combate as suas variações.
- Confiabilidade e sobrevivência: examina a durabilidade de um novo produto com análise de distribuição e realiza o teste de vida acelerado. E ainda conheça as principais características que resultam nesta projeção.

2.5. Procedimentos

Este trabalho resulta de um conjunto de procedimento e tomadas de decisão.

A *primeira fase* consistiu no levantamento do estado arte. Depois de consulta do acervo bibliográfico, procuramos dar um arranjo às ideias que se encontra materializada no índice. No retrato do estado da arte, o nosso foco orientou-se para o levantamento dos defeitos visuais dos polímeros, especialmente.

Na segunda fase, procuramos identificar o problema de partida desta tese, eliminar no limite, os defeitos visuais da cadeira Braga, tendo em conta a característica crítica de qualidade - o peso.

Na terceira fase, procuramos medir o problema sobre o qual recaiu posteriormente a nossa intervenção. Nesse sentido, selecionamos a variável crítica a melhorar: o peso. A escolha da variável crítica peso foi feita de forma intencional, considerando 3 preocupações:

- a) A escolha final do consumidor (preferência por matérias de mobiliário exterior leves e de fácil manuseamento);
- b) Relação entre o gasto de material (quanto menor o peso menor necessidade tem de utilização de material polimérico, garantindo sempre um bom acabamento final do produto);
- c) No departamento de qualidade da empresa onde estagiei (3G-Resins) era um imperativo da qualidade a medição frequente do peso final de cada peça.

Nesta fase utilizamos o *Diagrama de Ishikawa* (diagrama de causa e efeito), enquanto ferramenta para encontrar as possíveis causas-raízes do problema previamente identificado. Recorremos à *estatística descritiva* como etapa inicial de análise de dados.

Na quarta fase, recorremos ao *Desenho de Experiências*, pretendendo-se que seja uma ferramenta aplicável à produção da cadeira Braga.

Segue-se a explicação da estrutura sequencial, figura 9 10 em que cada etapa tem os seus objetivos pré-definidos, e o seu avanço está dependente da análise dos resultados obtidos na fase anterior.

Numa primeira etapa, escolhido o caso de estudo, selecionam-se as respostas do processo de injeção que se pretendem melhorar, podendo ser de resposta simples ou múltipla. As respostas devem ser variáveis contínuas, como por exemplo: peso, como é o caso desta tese.

Na segunda etapa, identificamos os fatores controláveis que consideramos ter um maior impacto nas respostas em estudo. Recomenda-se a seleção de seis parâmetros chave, sendo que a escolha decorre do levantamento feito no estudo da arte desta tese. Os fatores irão integrar uma matriz ortogonal L_{12} a dois níveis cada. A definição do valor dos níveis *baixo* e *alto* deve ser tal que provoque um efeito observável na resposta.

Na terceira etapa, utilizando o resultado obtido da matriz de experiências L_{12} procede-se a “varredura” das variáveis. Ou seja, dos seis fatores escolhidos inicialmente, identificam-se os

quatro que têm um maior impacto na resposta fazendo uso de uma análise ANOVA. Devem ser consideradas e analisadas relações de interação entre fatores.

A *quarta etapa* é de otimização. Nesta experiência consideram-se os quatro fatores anteriormente identificados a três níveis cada com três repetições. A matriz ortogonal utilizada nesta fase é L₉.

Na *quinta etapa*, analisamos as razões sinal-ruído para a característica de qualidade obtida para cada resposta. A combinação paramétrica ótima, que poderá ser nenhuma das experimentadas, é aquela que maximiza os quocientes sinal-ruído.

Na *sexta etapa* do método, o molde deverá ser ensaiado com a combinação de parâmetros de injeção obtida, atestando se tal alteração provoca uma melhoria no processo (ver figura nº11).

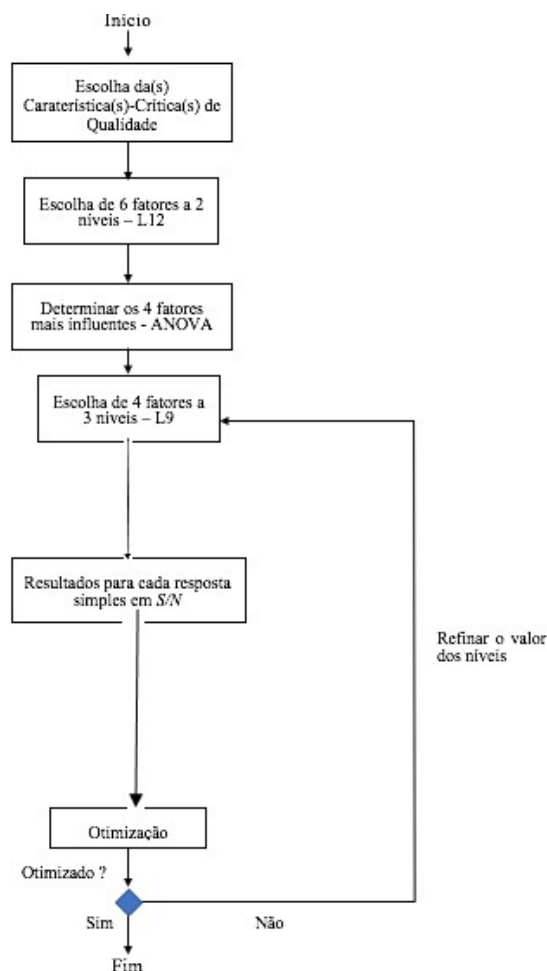


Figura 11. Estrutura experimental do método.

CAPÍTULO III- APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

3.1. Definir

A primeira etapa do projeto consiste na identificação da oportunidade de melhoria, assim como na delineação das metas a atingir. Para esse efeito é necessário ter sensibilidade e conhecimento relativamente aos processos desenvolvidos na empresa. A definição do problema deverá ter em conta a vontade e os requisitos do cliente cujas expectativas devem ser totalmente satisfeitas.

Faz parte da cultura e dos valores da 3G-Resins o conceito de gestão da qualidade “Zero Defeitos”. Este princípio pressupõe a inexistência de qualquer desperdício num processo. Os elementos não produtivos do processo sejam, ferramentas, operadores, ou outros, devem ser identificados e corrigidos. A empresa ao alcançar o nível de zero defeitos no seu processo produtivo reduz os custos e aumenta a satisfação do cliente.

Conseguir que o processo não tenha qualquer não-conformidade é uma tarefa difícil de atingir. No entanto, é o objetivo que qualquer colaborador deve ter em mente.

Tabela nº3. Quantidade de peças produzidas e rejeitadas durante os períodos de estudo

Data	Quantidade de peças – Cadeira Braga -produzidas	Peças Conformes	Peças não Conformes	Taxa de Rejeição
20-23 fev/23	4454	4198	256	5,75%
08-10/mar/23	1923	1837	86	4,77%
13-15 mar/23	2385	2285	100	4,19%

O período em análise correspondeu a 3 momentos, conforme tabela anterior. Os dados constantes na tabela permitem-nos concluir que o valor mais alto da taxa de rejeição foi atingido na produção de 20-23 fev/23.

Partindo dos requisitos percecionados pelo cliente definiram-se as características críticas de qualidade. Estas são as características que associam as métricas que devem ser acompanhadas ao longo do projeto, procurando melhorá-las. A identificação dessas características fundamentais teve por base o trabalho que é desenvolvido no Controlo

Estatístico do Processo (CEP). Diariamente e em cada produção são monitorizadas pelo departamento de Qualidade a seguinte características: o peso da peça.

Este projeto tem como foco a melhoria da qualidade das peças produzidas. Essa qualidade será garantida caso os valores do peso flutuem o mínimo possível, assim como, em simultâneo seja conseguido um aspeto visual perfeito, tendo que haver um equilíbrio “perfeito”.

3.2. Medir

Nesta fase, é importante quantificar, identificar e explorar cada fonte de variação detetada realizando uma estimava, da qual será o impacto pode ser causado através da execução de melhoria. Para o feito recorreu-se a análise descritiva exposta nas tabelas que seguem.

3.2.1. Apresentação dos dados no mês de Fevereiro/2023 da cadeira Braga

Tabela nº4. Avaliação da qualidade na primeira produção no período de fevereiro/23

Data	Início	Fim	Obs.	Nome de Operador
20.02.2023	7h30	8h23	Montagem do molde na máquina 855T	Filipe Vieira
23.02.2023	8h28	8h49	Afinação a máquina	Filipe Vieira

Tabela nº5. Resultados relativo ao processo de injeção na primeira produção de fevereiro/23

Data	Início	Fim	Tipo Defeito*	Não *conforme s	Conformes	Total	Lote	Operador
20.02.2023	8h49	16h50	Setup (44) Empenados (12)	56	304	360	PP-54400 Carga- 0502027133	Miguel
20.02.2023	16h50	00h00	Rebarbas (17) Empenados (8)	25	457	482	PP-54400 Carga- 0502027133	Yam
21.02.2023	00h00	08h00	Incompletas (4) Manchas (17)	21	471	492	PP-54400 Carga- 0502027133	Sangat
21.02.2023	08h00	17h00	Rebarbas (25)	25	459	484	PP-54400 Carga- 0502027133	Om
21.02.2023	17h00	00h00	Empenados (24) Incompletas (5)	29	325	354	PP-54400 Carga- 0502027133	Yam
22.02.2023	00h00	08h00	Riscados (4) Incompletas (12)	12	334	246	PP-54400 Carga-7133	Sangat
22.02.2023	08h00	16h00	Rebarbas (37)	37	444	481	PP-54400 Carga-7133	Sangat
22.02.2023	16h00	00h00	...	...	320	320	PP-54400 Carga-7133	Yam
23.02.2023	00h00	08h00	Manchas (15) Rebarbas (8)	23	312	335	PP-54400 Carga-7133	Sangat
23.02.2023	08h00	16h00	Rebarbas (14) Empenados (4)	18	465	483	PP-54400 Carga-7133	Caio
23.02.2023	16h00	08h17	Manchas (10)	10	307	317	PP-54400 Carga-7133	Yam
Totais				256	4198	4454		

Taxa de rejeição: 5,75%

Ver em anexo nº 1 exemplos de defeitos visuais da Cadeira Braga

Tabela nº6. Dados relativos ao tempo do ciclo de produção e do peso da peça no período de produção de 20-23 de fev/23

Dados Gerais													
Máquina		855T			Ordem de fabrico Nº			2300823.00					
Designação da peça:		Cadeira Braga Branca*											
Tempo de ciclo (seg)	59.2	59.2	59.1	59.2	59.2	59.1	58.8	58.7	58.7	57.6	57.6	57.6	57.8
Peso da peça (kgs)	2.850	2.950	2.570	2.760	2.860	2.620	2.645	2.660	2.675	2.460	2.670	2.650	2.890
Data	20.2.23	20.02.23	20.02.23	20.02.23	20.02.23	21.02.23	21.02.23	21.02.23	21.02.23	22.02.23	22.02.23	22.02.23	23.02.23
Hora	11h00	12h45	14h50	15h20	16h30	16h35	10h15	11h35	14h45	15h46	11h15	14h15	10h20
Responsável	Carla	Carla	Carla	Carla	Carla	Carla	Carla	Carla	Carla	Carla	Carla	Carla	Carla

3.2.2.Dados da primeira produção de Março/23 relativos à cadeira Braga (08-15 mar/23)

Tabela nº 7. Avaliação da qualidade na primeira produção no período de março/23

Data	Início	Fim	Obs.	Nome de Operador
08.03.2023	8h	9h40	Montagem do molde na máquina 855T	Filipe Vieira
08.03.2023	10h	10h20	Afinação a máquina	Filipe Vieira

Tabela nº 8. Resultados relativos ao processo de injeção na primeira produção de março/23

Data	Início	Fim	Tipo Defeito	Não conformes	Conformes	Total	Lote	Operador
08.03.23	10h15	17h00	Setup (21) Rebarbas (8)	29	319	348	PP-HP210621 CORANTE 0502021090	Kalu
09.03.23	00h00	08h00	Empenos (12)	12	320	332	PP-HP210621 CORANTE 0502021090	Sandip
09.03.23	08h00	10h00	Manchas (17) Riscados (10)	27	293	320	PP-HP210621 CORANTE 0502021090	Kalu
10.03.23	08h10	17h00	Empenos (7) Queimaduras (5)	12	480	492	PP-HP210621 CORANTE 0502021090	Miguel
10.03.23	17h00	00h00	Chupados (6)	6	325	331	PP-HP210621 CORANTE 0502021090	Anantha
Totais				86	1837	1923		

Taxa de rejeição: 4,47%

Tabela nº 9. Avaliação da qualidade na segunda produção no período de março/23

Data	Início	Fim	Obs.	Nome de Operador
13.03.2023	8h	9h47	Montagem do molde na máquina 855T	Filipe Vieira
13.03.2023	10h	10h29	Afinação da máquina de Injeção	Filipe Vieira

Tabela nº 10. Processo de injeção na segunda produção no período de março/23

Data	Início	Fim	Tipo Defeito	Não conformes	Conformes	Total	Lote	Operador
13.03.2023	10h29	17h00	Setup (27) Riscados (11) Empenos (4)	42	395	437	PP- HP22061120 CORANTE 0502028902	Miguel
13.03.2023	17h00	00h00	Rebarbas (13)	13	320	333	PP- HP22061120 CORANTE 0502028902	Anantha
14.03.2023	00h00	08h00	Manchas (12)	12	302	314	PP- HP22061120 CORANTE 0502028902	Saugat
14.03.2023	08h00	17h00	Peças incompletas (9) Rebarbas (11)	20	375	395	PP- HP22061120 CORANTE 0502028902	Miguel
14.03.2023	17h00	00h00	Chupados (8)	8	326	334	PP- HP22061120 CORANTE 0502028902	Anantha
15.03.2023	00h00	08h00	.....	0	338	338	PP- HP22061120 CORANTE 0502028902	Saugat
15.03.2023	08h00	12h05	Peças Incompletas (5)	5	229	234	PP- HP22061120 CORANTE 0502028902	OM
Totais				100	2285	2385		

Taxa de rejeição: 4,19%

Tabela nº11. Dados relativos ao tempo do ciclo de produção e do peso da peça no período de produção de 08-09 de março/23

Dados Gerais										
Máquina		855T			Ordem de fabrico Nº		2300523.00			
Designação da peça:		Cadeira Braga Verde								
Tempo de ciclo (seg)	62.7	62.7	62.6	62.4	62.4	62.4	62.4	62.5	63.1	62.7
Peso da peça (kgs)	2.165	2.155	2.160	2.160	2.165	2.165	2.135	2.130	2.165	2.155
Data	8/3/23	8/3/23	8/3/23	8/3/23	8/3/23	8/3/23	9/3/23	9/3/23	9/3/23	9/3/23
Hora	10h15	11h45	12h10	14h40	16h00	16h35	10h05	10h40	12h20	14h40
Responsável	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C

Tabela nº12. Dados relativos ao tempo do ciclo de produção e do peso no período de 09-14 março/23

Dados Gerais										
Máquina		855T		Ordem de fabrico Nº		2300523.00				
Designação da peça:		Cadeira Braga Verde								
Tempo de ciclo (seg)	62.8	61.3	61.8	61.3	62.6	57.9	57.7	57.5	56.6	59.3
Peso da peça (kgs)	2.160	2.175	2.200	2.165	2.170	2.165	2.165	2.160	2.180	2.195
Data	9/3/23	10/3/23	10/3/23	10/3/23	10/3/23	13/3/23	13/3/23	13/3/23	13/3/23	14/3/23
Hora	16h35	9h45	10h55	14h00	15h30	9h50	11h10	14h40	16h00	09h45
Responsável	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C

Tabela nº13. Dados relativos ao tempo do ciclo de produção e do peso no período de 14-15 março/23

Dados Gerais										
Máquina		855T		Ordem de fabrico Nº		2300523.00				
Designação da peça:		Cadeira Braga Verde								
Tempo de ciclo (seg)	57.6	59.6	58.1	57.8	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Peso da peça (kgs)	2.160	2.155	2.175	2.175	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Data	14/3/2023	14/3/2023	14/3/2023	15/3/2023	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Hora	11h10	14h20	16h05	10h45	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Responsável	Maria.C	Maria.C	Maria.C	Maria.C	.....	.....	.....	.....	.....	.....

3.3. Analisar

Ficou evidente que os defeitos mais recorrentes ao longo do período de análise foram:

As rebarbas, as manchas, os incompletos e os empenados.

Identificados os defeitos mais frequentes, procurou-se determinar os fatores que lhes deram origem, para que posteriormente pudessem ser tomadas medidas que os eliminassem.

A análise às produções do molde iniciou-se no final de fevereiro até meados de março/23 pelo que, o mais urgente será procurar dar resposta ao desperdício desse período.

Construímos ainda os diagramas Ishikawa para uma melhor visualização das relações de causa efeito. As intenções deste estudo recaem sobre os efeitos que têm maior impacto no desperdício total durante a produção

Manchas

Na figura nº12 apresenta-se o diagrama causa-efeito para este tipo de defeito, seguido de uma breve explicação e análise de cada possível origem.

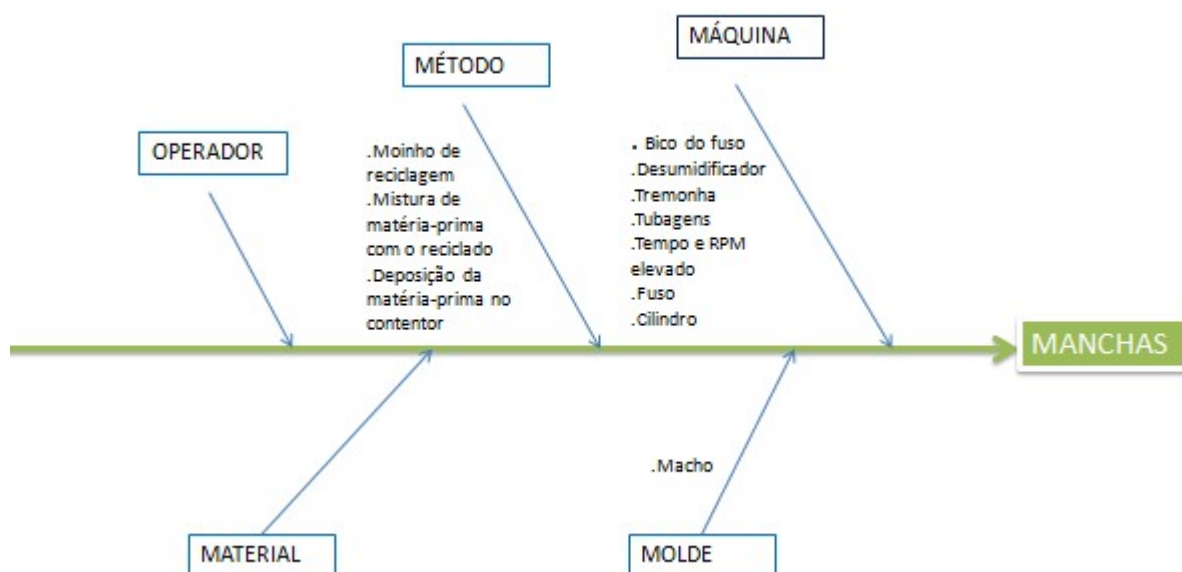


Figura12- Diagrama Ishikawa para o defeito: manchas

Tabela nº14. Possíveis causas relacionadas com o defeito-manchas

MÉTODO	○ Moinho de reciclagem: com a entrada de material vindo do exterior ao moinho é inevitável que haja contaminação do equipamento. ○ Mistura da matéria-prima com material reciclado: na operação de misturar o material reciclado com o material virgem poderá haver contaminação do contentor caso esta ação não seja efetuada num ambiente limpo, ou o próprio material reciclado trazer impurezas consigo ○ Deposição da matéria-prima no contentor de transporte: poderá haver entrada de elementos exteriores no momento em que o material é despejado no contentor.
MÁQUINA	○ Desumidificador, Tremonha, Tubagens: o material até ser injetado terá que passar pelo desumidificador, tremonha e respetivos tubos de ligação. Permanecendo por vezes durante várias horas nesses componentes. Com o tempo existe a possibilidade de se acumular sujidade. ○ Temperatura e velocidade de rotação do fuso elevada: o material ao ser processado a temperaturas demasiado elevadas, ou mesmo estando dentro dos limites de processamento permitidos pelo material, mas sendo

	exposto durante um longo período de tempo, este degradar-se-á. O mesmo sucede caso a velocidade de rotação do fuso seja demasiado elevada (calor de fricção). ○ Fuso, Cilindro, Válvula de não-retorno: a superfície do fuso e do cilindro são cromadas, no entanto com o desgaste pode gerar-se alguma rugosidade onde se irá acumular material degradado. Este irá contaminar a peça final em posteriores injeções. O mesmo pode suceder caso a válvula de não-retorno se encontre danificada. ○ Bico do fuso: caso o bico do fuso contenha algum tipo de sujidade, esta poderá ser arrastada para a cavidade no enchimento.
MATERIAL	---
MOLDE	<u>Macho</u> : existência de gorduras no molde, sujidade, ou a excessiva utilização de desmoldante para facilitar a extração contamina o aspeto final da peça.
OPERADOR	---

Incompletos

De momento irá se fazer análise das possíveis causas que dão origem ao defeito visual-incompletos. Na figura nº 13 apresentamos assim o diagrama causa-efeito para o defeito em causa.

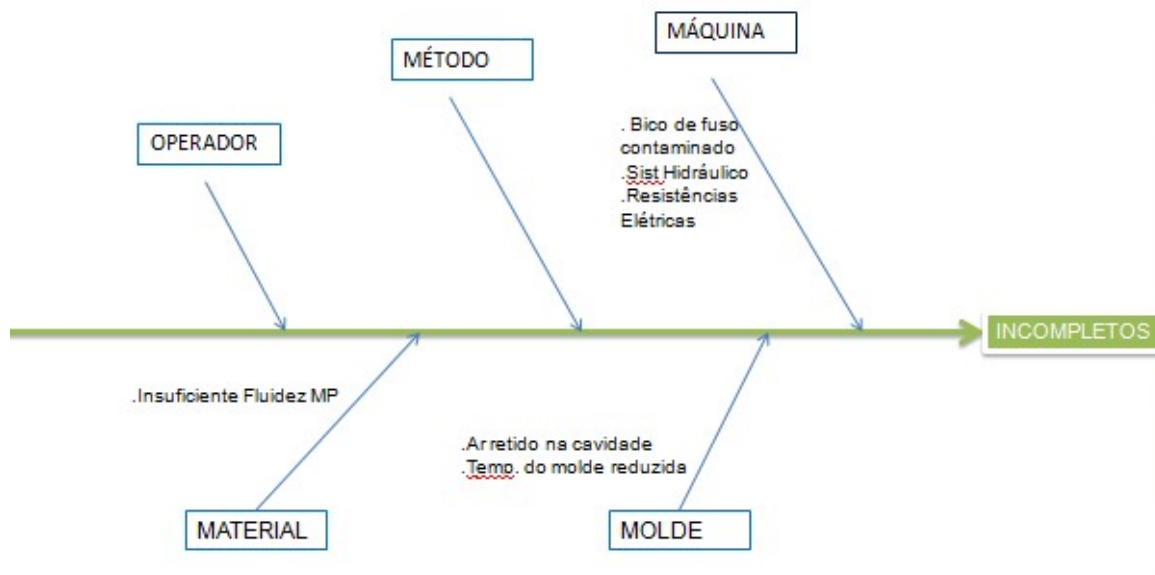


Figura nº 13- Diagrama Ishikawa para o defeito: Incompletos

Tabela nº15. Possíveis causas relacionadas com o defeito-Incompletos

MÉTODO	
MÁQUINA	○ Contaminação no bico do fuso: a sujidade existente no bico do fuso é arrastada para a cavidade no enchimento da cavidade, não permitindo o seu enchimento ○ Insuficiência no sistema hidráulico: vedantes e sistema de bombagem hidráulica sofrem desgaste com o passar do tempo, podendo provocar variação acrescida ao processo ○ Válvula de não-retorno danificada: o dano existente na válvula de não-retorno poderá ser impeditivo que a almofada do processo esteja estável, provocando incompletos ou marcas de extração.
MATERIAL	○ Insuficiente fluidez do material: caso a matéria-prima adquirida apresente uma composição desadequada comparativamente à requerida, ou tenha um Índice de Fluidez inferior ao especificado, o fluido não conseguirá preencher o molde na sua totalidade para iguais condições de processamento.
MOLDE	○ Ar retido na cavidade: Os canais de escape do molde devem permitir a evacuação do ar à medida que a cavidade é preenchida. A resistência do ar ao ser comprimido pode provocar o preenchimento incompleto da peça.

	○ Temperatura do molde insuficiente: O material ao entrar no molde "frio", arrefece antes do total enchimento da cavidade.
OPERADOR	_____

Da análise efetuada identificam-se as seguintes causas que podem ser preponderantes na origem de incompletos: **ar retido no molde, deficiência no sistema de aquecimento, variação no índice de fluidez do material, insuficiência do sistema hidráulico e da válvula de não-retorno.**

Os incompletos surgiram com forte expressão no mês de abril, embora não se tenha acompanhado esse período em proximidade, por conversas informais foi possível obter a informação de que a origem do problema estaria na insuficiência do sistema hidráulico, entretanto corrigida. Pelo que foi possível apurar, a anomalia não foi facilmente identificada, tendo o desperdício sido prolongado no tempo. Foi também possível saber que durante o período de instabilidade tanto se produziam peças incompletas como peças com marcas de extração (não registadas), ou seja, o sistema tanto injetava material a mais como a menos para dentro da cavidade. A maior dispersão dos valores do peso identificada na fase anterior nas cartas de controlo referentes a esta característica no mês de abril aparentemente poderá estar correlacionada com este fato descrito. Até haver uma intervenção no sistema hidráulico da máquina, o ajuste do processo foi feito por alteração dos parâmetros de injeção, no caso, aumentando a contrapressão, para que se conseguisse absorver alguma da instabilidade.

Contrariamente ao que os resultados do ensaio de capacidade efetuados à máquina indicavam, durante o mês de abril esta não esteve capaz. Tal leva a julgar que dado o espaçamento temporal dos ensaios ser longo, não se podem retirar conclusões para além da sua capacidade momentânea. Ou seja, ainda que os parâmetros de capacidade da máquina. Estejam dentro dos limites estipulados, a capacidade para produzir continuamente peças com qualidade a longo prazo poderá não estar garantida.

Empenos

Vamos agora conduzir uma análise das potenciais causas e efeitos relacionados ao defeito de empenos no processo de moldação por injeção

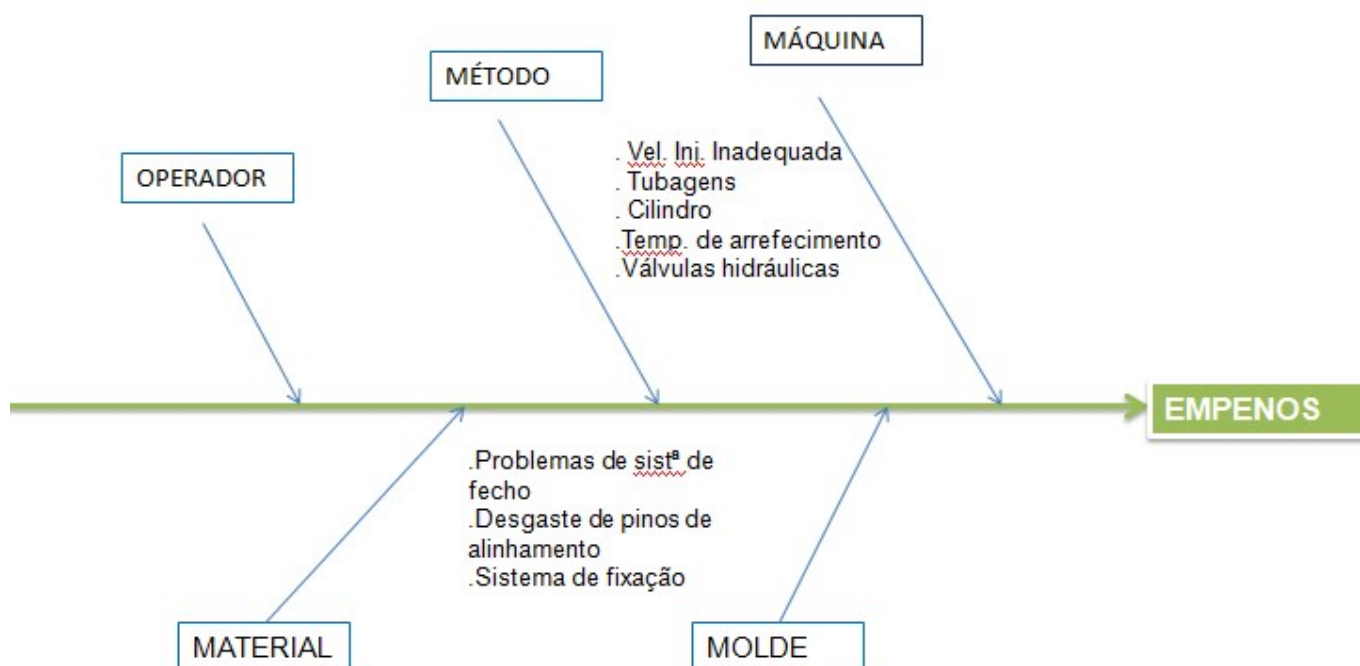


Figura nº14- Diagrama Ishikawa para o defeito: empenos

Tabela nº16. Possíveis causas relacionadas com o defeito empenos

MÉTODO	_____
MÁQUINA	○ Velocidade injeção inadequada: A velocidade com que o material é injetado na cavidade do molde pode influenciar a formação de empenos. Os possíveis problemas podem ser configurações de velocidade inadequadas ou falhas nos sistemas de controlo de velocidade ○ Temperatura de Arrefecimento: O tempo de arrefecimento inadequado pode resultar em empenos, pois o produto pode não ter tempo suficiente para se solidificar completamente. Este problema pode estar possivelmente relacionado com as configurações de tempo de arrefecimento incorretas, ○ Tubagens, Cilindro e Válvulas Hidráulicas: A possibilidade de mangueiras danificadas e problemas das válvulas hidráulicas podem levar a fugas de óleo ou fluído hidráulico, o que leva a falhas no sistema hidráulico da maquina.
MATERIAL	_____
MOLDE	○ Problemas no sistema de fecho: As falhas no sistema de fecho do molde

	podem levar a irregularidades na peça moldada. O desgaste do sistema de fecho pode ser um dos problemas possíveis relacionados com o surgimento de empenos. ○ Mau alinhamento: O mau alinhamento das cavidades do molde pode resultar em distorções nas peças moldadas. Os Possíveis problemas podem ser o desgaste nos pinos de alinhamento e o sistema de fixação desalinhado. ○ Cavidades desalinhadas: As cavidades desalinhadas podem resultar em diferenças na espessura do material e, conseqüentemente, empenos. Pode estar relacionado com desgaste ou falhas no sistema de fixação, ajuste inadequado das cavidades.
OPERADOR	_____

Rebarbas

Na figura 15 apresenta-se o diagrama causa-efeito para este tipo de defeito, seguido de uma breve explicação e análise de cada possível origem.

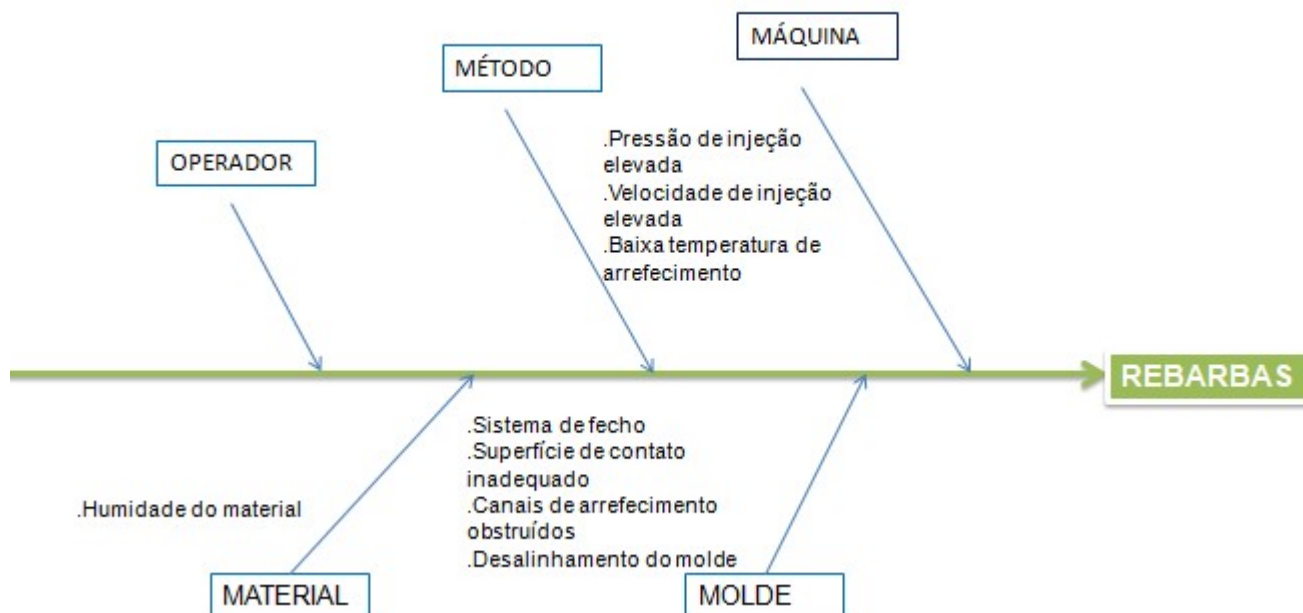


Figura nº 15- Diagrama Ishikawa para o defeito: Rebarbas

Tabela nº17. Possíveis causas relacionadas com o defeito- rebarbas

MÉTODO	
MÁQUINA	○ Pressão de injeção elevada: Uma pressão de injeção excessivamente alta pode forçar o material plástico a se espalhar para além dos limites do molde, resultando em rebarbas. Ajustar a pressão de injeção para níveis apropriados é essencial. ○ Velocidade de Injeção elevada: Uma velocidade de injeção muito rápida pode levar à má distribuição do material no molde. Ajustar a velocidade de injeção pode ajudar a evitar esse problema. ○ Baixo Tempo de Arrefecimento: Se as peças não tiverem tempo suficiente para arrefecer e solidificar no molde antes de serem removidas, isso pode resultar em rebarbas. O tempo de arrefecimento deve ser mais elevado, de forma a que a peça solidifique no interior do molde antes de ser extraída.
MATERIAL	○ Humidade do Material: A presença de humidade no material plástico pode levar à formação de bolhas durante o processo de injeção, resultando em áreas mal preenchidas e rebarbas nas peças.
MOLDE	○ Canais de arrefecimento obstruídos: Se os canais de arrefecimento do molde estiverem obstruídos, a dissipação de calor pode ser prejudicada. Isso pode levar a um arrefecimento desigual do material plástico e à formação de rebarbas. ○ Superfícies de contacto inadequadas: Se as superfícies de contato do molde não estiverem devidamente alinhadas ou não estiverem em bom estado, o material plástico pode se difundir para áreas indesejadas, causando rebarbas. ○ Desalinhamento do molde: Desalinhamento entre as metades do molde pode resultar em saída de material plástico para zonas indesejadas ○ Sistema de fecho: Caso o sistema de fecho esteja danificado ou desgastado leva à saída de material para o exterior do molde. Pode haver também a necessidade de ajustar a força de fecho de molde, de forma que

	não haja difusão de material para fora do mesmo.
OPERADOR	_____

3.4. Melhorar

Nesta fase, partindo das fontes de perturbação do processo identificadas e analisadas na etapa anterior, expõem-se uma série de propostas que visam a melhoria da qualidade das peças produzidas. Algumas das medidas sugeridas são vocacionadas para este caso de estudo, enquanto que outras têm um carácter mais generalizado.

Manchas

Para a eliminação dos defeitos manchas existentes sugerem-se as seguintes medidas:

- Rever os procedimentos e o local de deposição da matéria-prima no contentor de transporte;
- Criação de procedimentos de limpeza para os contentores de transporte;
- Limpeza em detalhe do desumidificar, tremonha e dos tubos de ligação;
- Inspeção ao estado do fuso, do cilindro e da válvula de não-retorno, substituindo-os ou corrigindo-os, caso seja necessário.

Incompletos

Para tratar o problema das peças incompletas propõem-se as seguintes ações:

- Estudar o aumento da capacidade de escape, por via de um alargamento da dimensão dos canais de evacuação;
- Limpeza dos canais de escape;
- Avaliar a capacidade do sistema de aquecimento (resistências), procedendo-se à sua substituição caso seja necessário;
- Avaliar a capacidade do sistema hidráulico e da válvula não-retorno, procedendo-se à sua substituição caso seja necessário.

Rebarbas

As rebarbas são defeitos comuns na moldação por injeção de plásticos, onde material em excesso escapa da cavidade do molde, formando uma camada fina ou excesso de material indesejado ao longo das bordas da peça moldada. Para minimizar esse defeito, as seguintes melhorias podem ser implementadas:

- Ajuste da Pressão de Injeção:
 - Redução da pressão de injeção pode ajudar a evitar que o material escape pelas bordas do molde, especialmente em moldes com pequenas folgas.
- Manutenção e Verificação do Molde:
 - Desgaste ou dano no molde pode aumentar as folgas, permitindo a formação de rebarbas. A manutenção regular e a verificação das condições do molde são cruciais para evitar esse problema;
 - Ajuste da força de fecho do molde para garantir que o molde esteja bem fechado durante o processo de injeção, minimizando a possibilidade de fuga de material.
- Temperatura de Injeção e do Molde:
 - Controle adequado da temperatura do material e do molde pode evitar a formação de rebarbas, já que materiais mais quentes tendem a ser mais fluidos e podem vazar mais facilmente.

Empenos

O defeito de empenamento na moldação por injeção ocorre quando a peça moldada não mantém a sua forma desejada, apresentando deformações ou curvaturas indesejadas após a injeção. Para minimizar este defeito, as seguintes melhorias podem ser implementadas:

- Controle da Temperatura do Molde e do Material:
 - Uniformidade na temperatura do molde é essencial para evitar contrações irregulares que possam levar ao empenamento. Manter uma temperatura constante em todas as partes do molde ajuda a garantir que a peça esfrie de forma uniforme;
 - Ajuste da temperatura de injeção do material plástico para evitar que o material fique demasiado quente, o que pode causar contração desigual à medida que esfria.

- Otimização da Geometria do Molde:

- Design do molde deve ser otimizado para distribuir a pressão de maneira uniforme durante a injeção e o arrefecimento. O molde deve ser projetado para minimizar tensões internas que podem resultar em empenos.

- Ajuste da Pressão e Velocidade de Injeção:

- Redução da velocidade de injeção pode ajudar a evitar a criação de tensões internas que causam empenamento. A injeção muito rápida pode resultar em fluxo irregular do material;

- Pressão de compactação otimizada durante o ciclo de injeção para assegurar que o material preencha completamente o molde, evitando áreas com menor densidade que possam levar ao empenamento.

- Controlo de Arrefecimento:

- Sistema de arrefecimento eficiente no molde para assegurar que a peça arrefeça de maneira uniforme. Arrefecimento inadequado ou desigual é uma das principais causas de empenamento;

- Tempo de arrefecimento suficiente deve ser dado para garantir que a peça solidifique completamente antes de ser desmoldada.

3.5. Controlar

A fase final foca na manutenção das melhorias alcançadas, garantindo que o processo continue a operar dentro dos parâmetros desejados. Ferramentas como planos de controlo, gráficos de controlo contínuo e auditorias regulares são usadas para monitorar o processo e assegurar que as mudanças implementadas sejam sustentáveis a longo prazo.

Como foi referido anteriormente, seleccionou-se as características críticas de qualidade que se pretendem melhorar, assim como os seis fatores e interações consideradas que integrarão a matriz L_{12} . Construída a matriz, o efeito que esses fatores provocam nas respostas será analisado. A escolha da característica-crítica de qualidade foi feita anteriormente: **peso**. A escolha dos fatores a serem analisados teve por base a avaliação que foi feita anteriormente, quanto ao impacto que os parâmetro-chave têm na qualidade da peça.

Dos parâmetros avaliados escolheram-se seis: **velocidade, pressão e temperatura de injeção, tempo de 2ª pressão, 2ª pressão e compactação**. A escolha destes fatores

pretendeu-se dar uma maior relevância à fase de enchimento, seguida da fase de compactação e um pouco menos à de plasticização. Uma vez que o molde trabalha à temperatura da rede ($\approx 14^\circ\text{C}$) foi dada uma menor importância à fase de arrefecimento uma vez que haveria menos fatores que pudessem ser alterados. No entanto, outros parâmetros poderiam ter sido incluídos, nomeadamente, o tempo de arrefecimento. Foi incluído no estudo a análise da possibilidade da existência de interação entre dois pares de fatores: temperatura com pressão de injeção e pressão com velocidade de injeção. Nesta fase, apenas pretende-se fazer o *screening* às variáveis. Ou seja, tem-se como objetivo identificar entre os parâmetros selecionados quais são os que têm um maior impacto nas respostas. Assim sendo, apenas dois níveis por fator serão suficientes. O valor dos níveis escolhidos, alto e baixo, deve abranger um intervalo alargado por forma a garantir que provoquem uma alteração à resposta. A escolha dos níveis foi baseada no molde que foi usado para produção da peça-Cadeira Braga somando e subtraindo ao valor nominal estipulado o valor da sua tolerância. Na tabela nº18 apresentam-se os fatores e os valores dos níveis utilizados na construção da matriz L_{12} .

Tabela nº18. Resultados dos Níveis e Fatores utilizados na matriz L_{12}

	Temperatura de Injeção ($^\circ\text{C}$)	Pressão de Injeção (bar)	Velocidade de Injeção (mm/s)	2ª Pressão (bar)	Tempo da 2ª Pressão (seg)	Contra Pressão (bar)
Nominal	220	120	95	60	5	5
Tolerância	+/- 10	+/- 10	+/- 5	+/- 5	+/- 1	+/- 1
Inferior	210	110	90	55	4	4
Superior	230	130	100	65	6	6

Expõe-se na tabela 19 a sequência experimental seguida para a identificação dos fatores com maior impacto. Embora não fosse absolutamente necessário, cada experiência foi repetida três vezes, considerando o resultado final as médias dos valores obtidos. Esta opção foi tomada com o objetivo de minimizar o efeito da variabilidade no processo, aumentando a fiabilidade da análise. Registou-se em cada experiência os defeitos visuais obtidos. Os resultados da análise de variância foram gerados com recurso ao *software* de estatística Minitab.

Tabela nº 19. Resultados da MATRIZ L₁₂

Ensaio	Temp. Inj (°C)	Contrapressão (bar)	Pr. Inj (bar)	Velocidade Inj. (mm/s)	2ºP (bar)	Tempo da 2ºP (seg)
1	210	4	110	90	55	4
2	210	4	110	90	65	6
3	210	4	130	100	55	4
4	210	6	130	100	65	6
5	210	6	110	100	55	6
6	210	6	130	90	65	4
7	230	4	130	90	65	6
8	230	4	110	100	65	4
9	230	4	130	100	55	6
10	230	6	110	90	55	6
11	230	6	130	90	55	4
12	230	6	110	100	65	4

3.5.1. Resultados relativos ao teste paramétrico- Anova sobre o Peso

Nesta fase analisam-se os resultados obtidos dos ensaios da matriz L₁₂, quantificando o efeito que cada fator provoca na característica-crítica de qualidade peso.

Na tabela nº20 apresenta-se os resultados das medições do peso para os ensaios realizados com a matriz L₁₂, juntamente com os defeitos visuais apresentados em cada ensaio.

Tabela nº 20. Resultados do peso da matriz L₁₂

RESULTADOS				
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
1	i	2.146	2.156	OK
	ii	2.157		OK
	iii	2.165		INCOMPLETO
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
2	I	2.208	2.215	OK
	ii	2.227		OK
	iii	2.210		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
3	i	2.151	2.147	OK
	ii	2.145		OK
	iii	2.146		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
4	i	2.218	2.236	OK
	ii	2.253		REBARBA
	iii	2.236		REBARBA
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
5	I	2.146	2.149	OK
	ii	2.153		OK
	iii	2.149		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
6	i	2.163	2.177	REBARBA
	ii	2.196		REBARBA
	iii	2.172		REBARBA
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
7	i	2.198	2.218	REBARBA
	ii	2.243		REBARBA
	iii	2.214		REBARBA
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
8	i	2.187	2.202	REBARBA
	ii	2.220		REBARBA
	iii	2.198		REBARBA
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
9	i	2.150	2.151	OK
	ii	2.157		OK
	iii	2.147		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
10	i	2.150	2.148	OK
	ii	2.148		OK
	iii	2.145		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
11	i	2.140	2.133	OK
	ii	2.130		OK
	iii	2.130		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
12	I	2.189	2.202	REBARBA
	ii	2.222		REBARBA
	iii	2.195		REBARBA

Com base nas medições para o peso da cavidade, expostas na tabela 21, de variância com o objetivo de identificar os parâmetros que mais impactam essa resposta. Na tabela 21 apresentam-se os resultados

Tabela nº 21. Resultado da aplicação do teste paramétrico -ANOVA para o peso da peça

Análise de Variância – Peso							
FATOR	GL	SQ (Aj)	QM(Aj)	SQT(Aj)	Z	α	Contribuição
Temp. Inj	1	0.5633	0.5633	134.26	0.042	0.841	1.20%
Contrapressão	1	1.61	1.61	134.26	0.122	0.735	0.42%
Pr. Inj	1	0.083	0.083	134.26	0.006	0.939	0.06%
Vel. Inj	1	1.333	1.333	134.26	0.100	0.758	0.99%
2ªP	1	111.63	111.63	134.26	49.336	0.001	83.14%
Tempo 2ªP	1	8.33	8.33	134.26	0.662	0.435	6.20%
Temp. Inj* Vel. Inj	3	1.01	0.34	134.26	0.020	0.996	0.75%
Pr. Inj * Vel. Inj	3	2.07	0.69	134.26	0.042	0.988	1.54%
Erro							5.7%

Os parâmetros que têm mais influência no peso das peças produzidas são: 2ª pressão (83,14%), o tempo da 2ª pressão (6.20%), interação pressão de injeção com velocidade de injeção (1,54%) e a temperatura de injeção (1,20%).

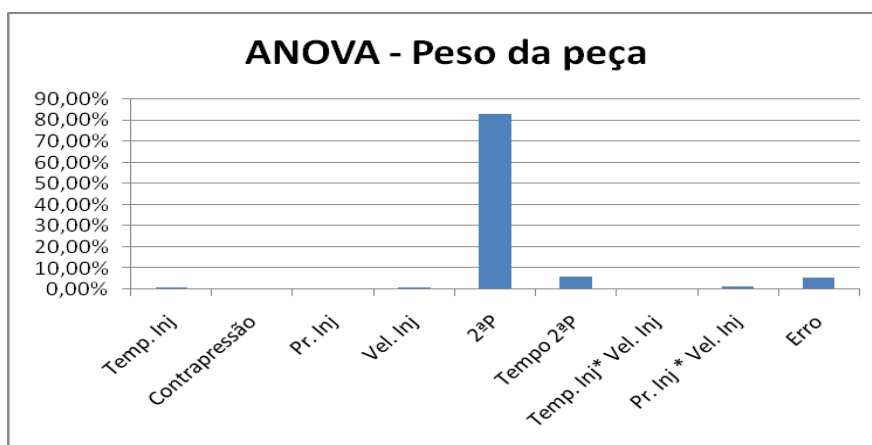


Gráfico nº 1- Resultados da ANOVA para o peso da peça

O parâmetro 2ª pressão é claramente o mais influente na resposta peso para a peça.

Os quatro parâmetros selecionados como sendo aqueles que têm uma maior importância relativamente à resposta peso são: 2ª pressão, temperatura de injeção, velocidade de

injeção e pressão de injeção

3.5.2 Seleção de fatores e níveis – Matriz L₉

Nesta fase, procedeu-se à seleção dos fatores e do valor dos níveis que constituem a matriz L₉. A escolha pela dimensão desta matriz resultou do facto de ela permitir acomodar uma quantidade razoável de fatores (quatro) a três níveis cada, o que aumenta a possibilidade de se encontrar os valores que melhor satisfaçam a condição desejada. Os quatro fatores que mais influenciam o peso são: 2ª pressão, temperatura de injeção, velocidade de injeção e pressão de injeção.

Esta é uma fase de otimização, pelo que a tolerância dos valores dos parâmetros face ao definido poderá e deverá ser encurtada relativamente à que foi utilizada na matriz L₁₂.

Tabela nº 22. Níveis e Fatores utilizados na matriz L₉

	Temperatura de Injeção (°C)	Pressão de Injeção (bar)	Velocidade de Injeção (mm/s)	2ª Pressão (bar)
Nominal	220	120	95	60
Tolerância	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/- 3
Inferior	217	117	92	57
Superior	223	123	98	63

Como foi referido anteriormente, o objetivo da aplicação deste método é encontrar a combinação paramétrica que leve a que os valores do peso sejam o mais ajustados possível, por forma haver a máxima redução de defeitos visuais.

Na tabela nº 23 expõe-se a matriz L₉. Cada uma das experiências foi repetidas três vezes.

Tabela nº23. Resultados da Matriz L₉

ENSAIO	TEMPERATURA INJEÇÃO (°C)	PRESSÃO INJEÇÃO (Bar)	2ª PRESSÃO (Bar)	VELOCIDADE INJEÇÃO (mm/s)
1	217	117	92	57
2	217	120	95	60
3	217	123	98	63
4	220	117	95	63
5	220	120	98	57
6	220	123	92	60
7	223	117	98	60
8	223	120	92	63
9	223	123	95	57

Tabela nº.24. Resultados do peso da matriz L₁₂

RESULTADOS				
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
1	I	2.141	2.142	OK
	ii	2.127		OK
	iii	2.158		INCOMPLETO
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
2	i	2.154	2.153	OK
	ii	2.153		OK
	iii	2.153		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
3	i	2.168	2.191	OK
	ii	2.225		OK
	iii	2.180		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
4	i	2.191	2.182	OK
	ii	2.180		REBARBA
	iii	2.176		REBARBA
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
5	i	2.153	2.157	OK
	ii	2.164		OK
	iii	2.155		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
6	i	2.146	2.146	OK
	ii	2.146		OK
	iii	2.145		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
7	i	2.189	2.188	REBARBA
	ii	2.192		REBARBA
	iii			REBARBA
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
8	i	2.161	2.160	OK
	ii	2.164		OK
	iii	2.155		OK
ENSAIO	REPETIÇÃO	PESO (KGS)		DEFEITO VISUAL
9	i	2.140	2.139	OK
	ii	2.139		OK
	iii	2.138		OK

De seguida recorrendo ao software Minitab, seleccionamos os níveis que maximizam o quociente S/N. Constata-se que as melhores combinações testadas possuem S/N mais elevado são: temperatura de injeção 217°C, velocidade de injeção 60mm/s, 2ª pressão 95 Bar e uma pressão de injeção de 117 Bar. Esta é a combinação paramétrica que maximiza o quociente sinal-ruído e que permite obter uma **melhor aproximação do peso desejado, com uma minimização dos defeitos visuais.**

Tabela nº 25. Resultados relativos à resposta para Razões Sinal-Ruído

Análise Taguchi: Média Peso versus Temp. Injeção; Pr. Injeção; 2ª Pressão; Vel. Injeção

Análise Linear do Modelo: Razões S/N versus Temp. Injeção; Pr. Injeção; 2ª Pressão; Vel. Injeção

Coeficientes de Modelo Estimados para Razões S/N

Termo	Coef
Constante	66,6968
Temp. In 217	-0,0001
Temp. In 220	-0,0012
Pr. Inje 117	0,0347
Pr. Inje 120	-0,0211
2ª Press 92	-0,0508
2ª Press 95	-0,0161
Vel. Inj 57	-0,0642
Vel. Inj 60	0,0014

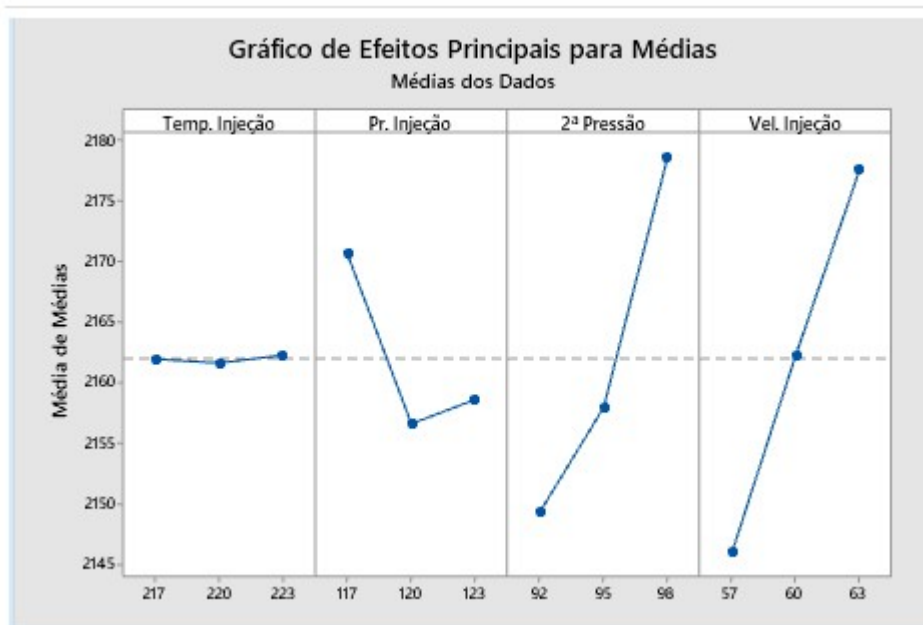


Gráfico nº 2. Efeitos Principais para o peso

Através da análise dos dados do gráfico anterior é possível concluir que o peso da Cadeira Braga deriva da melhor solução paramétrica que é de 2162.5g

Tabela nº 26. Resultados relativos à Análise de Variância para razões S/N

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)
*	100,00%	*

Análise de Variância para Razões S/N

Fonte	GL	SQ Seq	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	F	P
Temp. Injeção	2	0,000010	0,000010	0,000005	*	*
Pr. Injeção	2	0,005502	0,005502	0,002751	*	*
2ª Pressão	2	0,021897	0,021897	0,010948	*	*
Vel. Injeção	2	0,024254	0,024254	0,012127	*	*
Erro de Resíduos	0	*	*	*		
Total	8	0,051663				

3.6. Dados de Observação Do Fabrico Da Cadeira Braga: Período Pós-Teste

Nesta fase era nossa intenção apresentar um conjunto de testes com a melhor solução paramétrica, encontrada anteriormente, com a finalidade de perceber se a *baseline* apresenta alterações relativamente ao período pré-teste. Dada a implementação desta combinação de variáveis paramétricas era expectável que ocorresse uma diminuição dos defeitos visuais encontrados, com impacto nas taxas de rejeição das peças produzida. Em última instância e consequentemente, vislumbrava-se que a peça apresenta-se um peso mais aproximado aos valores estimados pelo departamento de qualidades desta empresa e uma redução do tempo de ciclo da produção da Cadeira Braga. A meta final, seria encontrar um equilíbrio entre os fatores anteriormente enunciados, sendo que o primordial é a cadeira apresentar uma boa resistência mecânica e sem defeitos visuais, e modo a que o cliente fique satisfeito com a encomenda.

Não obstante, esta fase do projeto, previamente planeada, não foi concretizada por razões externas a nossa vontade, nomeadamente pelo facto da produção da cadeira Braga passar a ser descontinuada.

CONCLUSÃO E TRABALHO FUTUROS

Chegados a esta fase, procuraremos neste espaço, pôr em evidência as principais conclusões, quer da revisão da literatura, quer do estudo empírico que levamos a cabo.

Grosso modo, a elaboração deste projeto permitiu perceber a influência que as principais variáveis do processo de injeção têm na qualidade da peça -CADEIRA BRAGA.

Na revisão da literatura procuramos trazer à luz o estado da arte sobre o processo de injeção, identificando as principais variáveis envolvidas: máquina, molde e material. Nessa fase inicial foram também identificados os parâmetros-chave do processo que devem ser controlados afim de garantir a produção de peças com a qualidade desejada. Tivemos a preocupação de identificar e explorar os defeitos visuais mais recorrentes neste processo com base noutros em estudos nacionais e internacionais. Este manancial de informações permitiu-nos a segurança e a base necessárias para projetar o estudo empírico.

Do ponto de vista metodológico, privilegiámos a metodologia *DMAIC* (com as adaptações que entendemos que foram necessárias), dando relevância ao método de desenho de experiências, utilizado em injeção de plástico. Resultando daí uma proposta de estrutura sequencial que melhor se aplica ao objetivo de diminuir a variação natural do processo e das suas características-críticas de qualidade através da otimização dos parâmetros de injeção. Identificaram-se os defeitos que contribuíram para o desperdício da produção em estudo, sendo eles: manchas, incompletos, rebarbas e empenos. Estabeleceram-se relações causa-efeito para identificar a origem de cada defeito, descartando as possibilidades menos prováveis.

As causas identificadas como sendo as mais prováveis para o aparecimento *manchas*:

No que respeita ao MÉTODO: Moinho de reciclagem; Mistura da matéria-prima com material reciclado; Deposição da matéria-prima no contentor de transporte:

Relativamente à MÁQUINA: Desumidificador, Tremonha, Tubagens; Temperatura e velocidade de rotação do fuso elevada: Fuso, Cilindro, Válvula de não-retorno; Bico do fuso.

No que concerne ao MOLDE: Macho.

Para a eliminação dos defeitos manchas existentes sugerem-se as seguintes medidas: Rever os procedimentos e o local de deposição da matéria-prima no contentor de transporte; Criação de procedimentos de limpeza para os contentores de transporte; Limpeza em detalhe do desumidificar, tremonha e dos tubos de ligação; Inspeção ao estado do fuso, do cilindro e da válvula de não-retorno, substituindo-os ou corrigindo-os, caso seja necessário.

As causas identificadas como podendo estar na origem do aparecimento de *rebarbas*:

Relativamente à MÁQUINA: Pressão de injeção elevada; Velocidade de Injeção elevada; Baixo Tempo de Arrefecimento.

Em termos do MATERIAL: Humidade do Material;

No que respeita ao MOLDE: Canais de arrefecimento obstruídos; Superfícies de contacto inadequadas; Desalinhamento do molde; Sistema de fecho.

Para minimizar esse defeito, as seguintes melhorias podem ser implementadas: Ajuste da Pressão de Injeção; Manutenção e Verificação do Molde; Temperatura de Injeção e do Molde:

As causas identificadas como sendo prováveis para o aparecimento de *empenos*:

No que respeita à MÁQUINA: Velocidade injeção inadequada; Temperatura de Arrefecimento; Tubagens, Cilindro e Válvulas Hidráulicas;

No que concerne ao MOLDE: Problemas no sistema de fecho; Mau alinhamento; Cavidades desalinhadas;

Para eliminar empenos da produção propuseram-se as seguintes medidas: Controlo da Temperatura do Molde e do Material; Otimização da Geometria do Molde; Ajuste da Pressão e Velocidade de Injeção; Controlo de Arrefecimento

As causas identificadas como sendo as mais prováveis para o aparecimento *incompletos*:

Relativamente à MÁQUINA: Contaminação no bico do fuso; Insuficiência no sistema hidráulico; Válvula de não-retorno danificada;

Em termos do MATERIAL: Insuficiente fluidez do material;

No atinente ao MOLDE: Ar retido na cavidade; Temperatura do molde insuficiente.

Para tratar o problema das peças incompletas propõem-se as seguintes ações: Estudar o aumento da capacidade de escape, por via de um alargamento da dimensão dos canais de evacuação; Limpeza dos canais de escape; Avaliar a capacidade do sistema de aquecimento (resistências), procedendo-se à sua substituição caso seja necessário; Avaliar a capacidade do sistema hidráulico e da válvula não-retorno, procedendo-se à sua substituição caso seja necessário.

Nesta fase, analisaram-se os resultados dos ensaios gerados da matriz L_{12} , quantificando o quais os parâmetros com maior impacto no peso. Constatamos que os parâmetros com maior influência são: 2ª pressão (83,14%), o tempo da 2ª pressão (6.20%), interação pressão de injeção com velocidade de injeção (1,54%) e a temperatura de injeção (1,20%).

Na seguinte fase, o objetivo da aplicação da Matriz L_9 foi encontrar a combinação paramétrica que leve os valores do peso se aproximem o mais possível do valor pretendido pelo Departamento de Qualidade. Os níveis e os valores utilizados na Matriz L_9 foram as variáveis que tiveram maior influência na variável peso (temperatura de injeção, pressão de injeção, velocidade de injeção e 2ª pressão).

Efetua-se um conjunto de nove ensaios para que fosse possível calcular os valores dos quocientes Sinal-Ruído (S/N). Segundo o método Taguchi, o nível de cada fator (variáveis operatórias) é escolhido, atendendo ao que maximiza o quociente S/N. Através dos dados obtidos com base no Minitab verificou-se que a melhor combinação paramétrica é: temperatura de injeção 217°C, velocidade de injeção 60mm/s, 2ª pressão 95 Bar e uma pressão de injeção de 117 Bar. Esta é a combinação paramétrica que maximiza o quociente sinal-ruído e que permite obter uma melhor aproximação do peso desejado, com uma minimização dos defeitos visuais.

Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro propõe-se a continuidade da metodologia *DMAIC* à cadeia Braga, acompanhando a execução das propostas de melhoria e monitorização do processo após essas alterações.

Propõe-se a execução do método de Taguchi utilizado a outros moldes da empresa verificando a sua efetividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alaa *et al.* (2018). Quality Improvement in Plastic Injection Molding Industry Applying Lean
- [2] Allen, T. (2006). *Introduction to Engineering Statistics and Six Sigma*, Edições Springer.
- [3] Bayeux, C. (2001). *Banas Qualidade – Análise da Capabilidade de Processos*, Centro Federal de Educação Tecnológica. Rio de Janeiro, Brasil.
- [4] Beamont, J. (2004). *Runner and Gating Design Handbooks*, Edições Hanser. Munique, Alemanha. ISBN: 978-1569904213
- [5] Bryce, D. M. (1996). *Plastic Injection Molding: Manufacturing Process Fundamentals*. SME. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2093-7>
- [6] Centimfe. 2004, “Ação de Formação: Moldação por Injeção Avançado”, Edições Centimfe. Marinha Grande, Portugal.
- [7] Chen, Y., Li, J., Wang, S., Zhang, H., & Liu, Y. (2023). Enhancing the mechanical properties of polymer composites through advanced processing techniques. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(5), e52942. <https://doi.org/10.1002/app.52942>
- [8] Chen, Y., Li, X., & Zhang, L. (2023). "A multi-physics CFD study to investigate the impact of laser beam shaping on metal mixing and molten pool dynamics during laser welding of copper to steel for battery terminal-to-casing connections." *Journal of Materials Processing Technology*, 322, 118202. DOI: [10.1016/j.jmatprotec.2023.118202](<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.118202>).
- [9] Chen, Y., Liu, H., & Wang, Q. (2023). "Empirical study on advanced materials for sustainable design." *Materials & Design*, 230, 111920. DOI: [10.1016/j.matdes.2023.111920](<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.111920>).
- [10] Chen, Y., Wang, M., & Zhao, L. (2023). "Sustainable production planning using AI in the manufacturing process." *Journal of Cleaner Production*, 390, 136244. DOI: [10.1016/j.jclepro.2023.136244](<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136244>).
- [11] Cruz, S. (2002). *Moldes de Injeção*, 2nd Edição”, Edições Hemus. São Paulo, Brasil. ISBN:85-2890-311-7.
- [12] Cunha, A.M. 2004. Manual do Projetista para Moldes de Injeção de Plásticos, Vol2. – *Moldação por injeção e materiais plásticos*, Edições Centimfe. Marinha Grande, Portugal.
- [13] Gao, Y., Zhang, L., Li, X., Wang, J., & Chen, H. (2022). Enhanced mechanical and thermal properties of epoxy composites reinforced with functionalized graphene oxide. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(23), e 52260. <https://doi.org/10.1002/app.52260>
- [14] Gomes, A. (2018=). Análise do Processo de Injeção Verificando a Relação entre a Capabilidade das Variáveis e a Qualidade da Peça. Tese de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [15] Ji, M. et al (2021). Influence of sintering temperatures on material properties and corresponding milling machinability of zirconia ceramics. *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 68, pp.646-656, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.05.012>.
- [16] Kasia, M. 2010, “Industrial Investigation of Dark Spots and Dark Streaks in TPO Injection

- [17]Kazmer, D.(2007). *Injection Mold Design Engineering*, Edições Hanser. Munique, Alemanha. ISBN: 978-1569904176
- [18]Kim, J., Lee, S., Park, H., & Choi, Y. (2021). Investigation of surface roughness and dimensional accuracy in additive manufacturing using optimized process parameters. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114, 1279–1290. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07234-x>
- [19]Kim, J., Park, S., & Lee, Y. (2023). "Advanced polymer engineering for sustainable applications." *Polymer Engineering and Science*, 63(8), 4321-4330. DOI: [10.1002/pen.26041](<https://doi.org/10.1002/pen.26041>).
- [20]Kulkarni, S. (2010). *Robust Process Development and Scientific Molding*, Edições Hanser. Munique, Alemanha. ISBN: 978-1569905012.
- [21]Kumar, A., Singh, R., & Gupta, A. (2022). Optimization of process parameters in additive manufacturing using hybrid techniques: A comprehensive review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119, 395–417. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08111-4>
- [22]Li, H., Liu, J., & Zhao, Q. (2021). "Polymer science advancements and applications." *Journal of Applied Polymer Science*, 138(32), e50456. DOI: [10.1002/app.50456](<https://doi.org/10.1002/app.50456>).
- [23]Li, H., Wang, X., & Zhang, Y. (2021). Investigation on manufacturing science and engineering processes. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 143(7), 071012. DOI: [10.1115/1.4049329] (<https://doi.org/10.1115/1.4049329>).
- [24]Li, S., Zhang, Y., Zhang, X., Liu, H., Wang, Y., & Chen, G. (2021). High-performance thermally conductive polymer composites with aligned boron nitride nanosheets. *Materials & Design*, 202, 109564. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109564>
- [25]Lima, L.-T., Auras, R., Rubino, M. (2008) Processing technologies for poly(lactic acid), *Progress in Polymer Science*, 33, 830-832.
- [26]Liu, H., Yan F. & M, Chao. (2023) Manufacturing Technologies of Polymer Composites-A Review, *Polymers* 2023, 15(3),712; <https://doi.org/10.3390/polym15030712>
- [27]Liu, Q., Wang, Z., & Zhao, H. (2022). "Manufacturing science study on advanced materials." *Journal of Manufacturing Science and Engineering*", 144(4), 041008. DOI: [10.1115/1.4051291](<https://doi.org/10.1115/1.4051291>).
- [28]Liu, Y., Zhang, W., Chen, X., Li, H., & Wang, Y. (2022). Investigation on the influence of laser parameters on the microstructure and mechanical properties of 3D printed titanium alloys. *Journal of Manufacturing Processes*, 79, 478-489. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.04.023>
- [29]Mansur, A. et al. 2006, "Plastic Injection Quality Controlling Using the Lean Six Sigma and FMEA Method", Universitas Islam Indonesia, Faculty of Industrial Technology. Sleman, Indonésia.
- [30]Montgomery, D. (2009) *Introduction to Statistical Quality Control*, Edições Wiley. Nova Jérсия, Estados Unidos. ISBN: 978-0470169926.
- [31]Mourya, A., et al., (2023). An explanatory study on defects in plastic molding parts caused by machine parameters in injection molding process. *Materials Today: Proceedings*, Volume 78, Part 3, pp 56-661, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.070>.

- [32]Müller, A., Schmidt, J., & Weber, P. (2022). "Injection molding technology advances." *Journal of Injection Molding Technology*, 26(3), 341-350. DOI: [10.3139/217.350000](<https://doi.org/10.3139/217.350000>).
- [33]Osswald, M. (2012). *Material Science of Polymers for Engineers..* Edições Hanser. Munique, Alemanha. ISBN: 978-1-56990-514-2.
- [34]Pereira, A. (2013), *Implementação de um Programa de Melhoria da Qualidade num Processo Produtivo de Peças de Injeção*, Universidade do Minho, Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial. Guimarães, Portugal.
- [35]Pereira, M. T., & Silva, R. F. (2023). *Effect on Surface Defect Formation and Aesthetics of Parts.* *Journal of Injection Molding Technology*, 17(2), 45-58. <https://doi.org/10.1007/pen.12345>
- [36]Pinto, R. (2012). *Injeção e Caracterização do Comportamento Mecânico de Polímeros Termoplásticos*. Instituto Superior de Engenharia. Coimbra, Portugal.
- [37]Randelovic, S. 2015, "Risk Assessment in Injection Molding Process", University of Nis, Faculty of Mechanical Engineering. Nis, Sérvia.
- [38]Roderick, A. et al. (2015), *The Certified Six Sigma Green Belt Handbook* , Edições American Society for Quality. Milwaukee, Estados Unidos. ISBN: 978-0873896986.
- [39]Rodrigues, F (2010). *Estudo Teórico-Experimental do Fabrico de Peças Poliméricas por Injecção*. Universidade Técnica de Lisboa.
- [40]Rosli, A. et al (2021). Review on effect of heat input for wire arc additive manufacturing process,*Journal of Materials Research and Technology*,Volume 11,Pages 2127-2145,
- [41]Rutland, P. L. (2018). *Plastic: Injection Moulding Machine*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-76541-5>
- [42]Santos, F. (2021). Desenvolvimento da camada solidificada na moldagem por injeção: uma abordagem simplificada para escoamento sobre um plano arrefecido. *Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Nova de Lisboa*. <https://run.unl.pt/handle/10362/126644>
- [43]Saraiva, P. (2016). *Projeto de um molde de injeção*. Mestrado em Engenharia da Conceção e Desenvolvimento do Produto. Instituto Politécnico de leiria
- [44]Shoemaker, J. (2006), *Moldflow Design Guide*, Edições Hanser. Munique, Alemanha. ISBN: 978-3-446-41854-7.
- [45]Silva, A. B., & Costa, J. P. (2022). *Influence of Injection Speed on Molecular Orientation and Mechanical Properties.* *Polymer Engineering and Science*, 62(4), 123-134. <https://doi.org/10.1002/pen.12345>
- [46]Silva, A., & Santos, B. (2022). Impacto na Homogeneidade e Microestrutura das Peças Moldadas por Injeção. *Materials Science and Engineering*, 145(2), 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.110012>
- [47]Singh, R., Gupta, A., & Kumar, S. (2023). "Design innovations in sustainable materials." *Materials & Design*, 225, 110957. DOI: [10.1016/j.matdes.2023.110957](<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.110957>).
- [48]Srivastava, P. 2005, "Value Stream Mapping on Foam Injection Moulding Process – The Starting Point of a Six Sigma Project", University of Wisconsin-Stout, Management Technology. Wisconsin, Estados Unidos.

- [49]Tayal, V. *et al.* 2012, "Improvement in Production Rate by Reducing the Defects of InjectionMoulding", M. Tech Scholar in Deptt. of Mechanical Engineering. Haryana, India
- [50]Teixeira, F.(2017) Moldação científica – Estudo da otimização de processos de injeção.
- [51]Tomás, S. M. (2018). Aplicação da metodologia Lean Six Sigma (DMAIC) em Laboratórios de Metrologia acreditados ISO/IEC 17025:2005. O caso do Instituto de Soldadura e Qualidade, ISQ. *Dissertação de Mestrado para obtenção do Grau de Mestre em: Engenharia e Gestão Industrial*: Universidade de Lisboa
- [52]Vikash *et al.* 2014, "Six Sigma; As applied in Quality Improvement for Injection Moulding Process", Integral University. Lucknow, India.
- [53]Voehl, F. (2014), *The Lean Six Sigma Black Belt Handbook*, Edições Productivity Press. Nova Iorque, Estados Unidos. ISBN: 978-1466554689.
- [54]Wang, T., Liu, J., & Li, X. (2022). "Polymer engineering advancements in smart materials." *Journal of Polymer Engineering*, 42(7), 547-555. DOI: [10.1515/polyeng-2022-0035](https://doi.org/10.1515/polyeng-2022-0035).
- [55]Xu, Y., Zhao, L., & Li, Z. (2022). "Manufacturing processes for next-gen materials." *Journal of Manufacturing Processes*, 76, 558-568. DOI: [10.1016/j.jmapro.2022.07.011](https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.07.011).
- [56]Yang, X., Zhang, L., Zhang, J., Lin, Z., Xu, Z., & Zhang, W. (2022). Flexural properties and failure mechanism of carbon fiber reinforced thermoplastic composite under impact loading. *Polymer Testing*, 110, 107570. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107570
- [57]Yuan, X., Zhang, Y., & Wang, H. (2023). "Innovative approaches in material design." *Materials & Design*, 236, 112256. DOI: [10.1016/j.matdes.2023.112256](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112256).
- [58]Zhang, L., Liu, Q., & Wang, J. (2023). "Polymer engineering innovations for future applications." *Polymer Engineering and Science*, 63(9), 4400-4410. DOI: [10.1002/pen.26065](https://doi.org/10.1002/pen.26065).
- [59]Zhang, L., Wang, M., & Chen, Y.(2021). "International advancements in polymer processing." *International Polymer Processing*, 36(5), 527-536. DOI: [10.3139/217.3597](https://doi.org/10.3139/217.3597).
- [60]Zhang, Y., Li, Q., Wang, X., Chen, Z., & Liu, J. (2023). Evaluation of the mechanical properties of biodegradable polymer blends under various environmental conditions. *Polymer Testing*, 119, 107991. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.107991
- [61]Zhao, H., Wang, L., & Li, Y. (2022). "Advanced manufacturing technologies in practice." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(7-8), 3745-3757. DOI: [10.1007/s00170-022-09022-7](https://doi.org/10.1007/s00170-022-09022-7).
- [62]Zhao, Y., Wang, L., Chen, H., Zhang, X., & Liu, P. (2023). Multi-objective optimization of process parameters in laser additive manufacturing of metal components using machine learning approaches. *Journal of Manufacturing Processes*, 92, 18-30. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.02.01

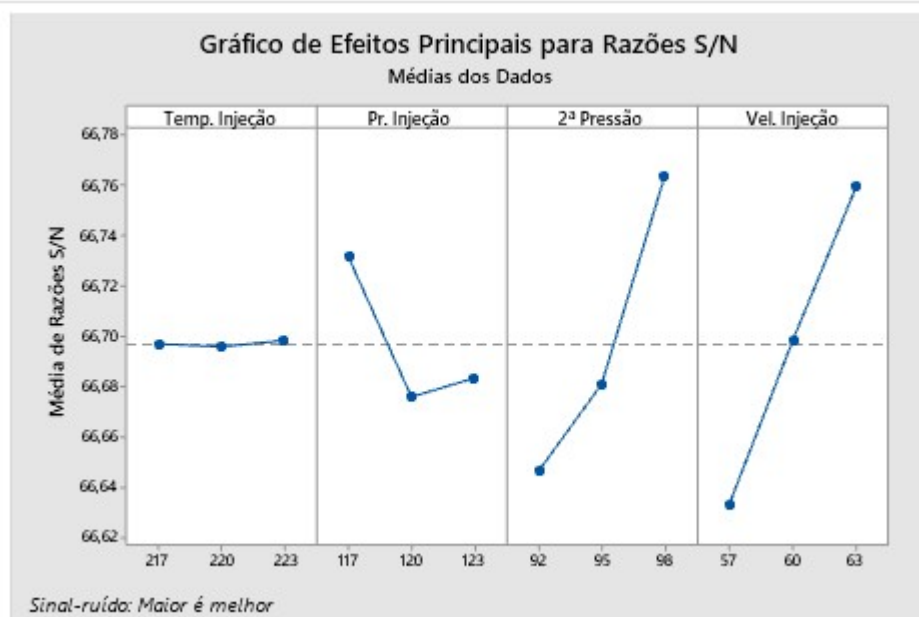
ANEXOS

ANEXO A: Imagens dos defeitos visuais da cadeira Braga





ANEXO B. Resultados Obtidos com base no Minitab referentes ao teste estatístico ANOVA



Coeficientes de Modelo Estimados para Médias

Termo	Coef
Constante	2162,00
Temp. In 217	-0,00
Temp. In 220	-0,33
Pr. Inje 117	8,67
Pr. Inje 120	-5,33
2ª Press 92	-12,67
2ª Press 95	-4,00
Vel. Inj 57	-16,00
Vel. Inj 60	0,33

Tabela de Resposta para Razões sinal-ruído

Maior é melhor

Nível	Temp. Injeção	Pr. Injeção	2ª Pressão	Vel. Injeção
1	66,70	66,73	66,65	66,63
2	66,70	66,68	66,68	66,70
3	66,70	66,68	66,76	66,76
Delta	0,00	0,06	0,12	0,13
Posto	4	3	2	1

Tabela de Resposta para Médias

Nível	Temp. Injeção	Pr. Injeção	2ª Pressão	Vel. Injeção
1	2162	2171	2149	2146
2	2162	2157	2158	2162
3	2162	2159	2179	2178
Delta	1	14	29	32
Posto	4	3	2	1

Resultados ANOVA para o peso da peça relacionados com a Temperatura de Injeção (Teste Anova)

ANOVA

pesopeca

	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Entre Grupos	56,333	1	56,333	,042	,841
Nos grupos	13369,333	10	1336,933		
Total	13425,667	11			

Resultados ANOVA para o peso da peça relacionados com a

ANOVA

pesopeca

	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Entre Grupos	161,333	1	161,333	,122	,735
Nos grupos	13264,333	10	1326,433		
Total	13425,667	11			

Resultados ANOVA para o peso da peça relacionados com a pressão de injeção (Teste Anova)

ANOVA

pesopeca	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Entre Grupos	8,333	1	8,333	,006	,939
Nos grupos	13417,333	10	1341,733		
Total	13425,667	11			

Resultados ANOVA para o peso da peça relacionados com a velocidade de injeção (Teste Anova)

ANOVA

pesopeca	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Entre Grupos	133,333	1	133,333	,100	,758
Nos grupos	13292,333	10	1329,233		
Total	13425,667	11			

Resultados ANOVA para o peso da peça relacionados com a 2ª Pressão (Teste Anova)

ANOVA

pesopeca	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Entre Grupos	11163,000	1	11163,000	49,336	<,001
Nos grupos	2262,667	10	226,267		
Total	13425,667	11			

Resultados ANOVA para o peso da peça relacionados com o Tempo da 2ª Pressão (Teste Anova)

ANOVA

pesopeca	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Entre Grupos	833,333	1	833,333	,662	,435
Nos grupos	12592,333	10	1259,233		
Total	13425,667	11			

Resultados ANOVA para o peso da peça relacionados com a Temperatura Injeção x Velocidade Injeção (Teste Anova)

ANOVA

pesopeca	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Entre Grupos	101,083	3	33,694	,020	,996
Nos grupos	13324,583	8	1665,573		
Total	13425,667	11			

Resultados ANOVA para o peso da peça relacionados com a Pressão Injeção x Velocidade Injeção (Teste Anova)

ANOVA

pesopeca	Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	Z	Sig.
Entre Grupos	207,000	3	69,000	,042	,988
Nos grupos	13218,667	8	1652,333		
Total	13425,667	11			