



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE / DEPARTMENT OF
ENGENHARIA QUÍMICA E BIOLÓGICA

Melhoria contínua na injeção de componentes elétricos e Impressão 3D

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em / to
fulfill the Master's degree in Engenharia e Gestão de Ativos Físicos

Autor / Author

Carlos Alexandre Santos Simões

Orientadores

Ana Carla Vicente Vieira

José Luis Ferreira Martinho

Supervisor na empresa EFAPEL S.A.

Sérgio Marques

Coimbra, junho de 2025



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Chega agora ao fim um percurso marcante e que durante os últimos anos foi o foco do meu trabalho. Com o finalizar deste relatório, sintetizam-se muitas aprendizagens, vivências e recordações! Este documento foi o coroar de um caminho que sempre se fez nesta direção!

E esta caminhada não se fez sozinha, mas sim na companhia e com o enorme suporte daqueles que mais me querem. Por isso os primeiros agradecimentos são justamente endereçados aos meus pais, a quem devo imenso, mais do que o que eles podem imaginar, ou alguma vez reclamar! A vós, um imenso obrigado.

Este percurso não teria certamente tido o mesmo brilho sem as amizades, e o companheirismo dos amigos de sempre, mas principalmente dos que o curso me deu e que pretendo levar comigo! Estiveram do meu lado do início ao fim e a eles devo muitas horas felizes e lembranças para a vida! Um agradecimento muito especial à Daniela, pelo amor, paciência e apoio incondicional em todos os momentos, mesmo nos mais exigentes. Agradecer também à Beatriz, pela amizade, pela ajuda e pelas inúmeras conversas que me deram força e clareza ao longo deste percurso. A vossa presença fez, sem dúvida, toda a diferença.

Não posso deixar de expressar também a minha profunda gratidão aos meus orientadores, pela disponibilidade, orientação e incentivo ao longo de todo o processo. O vosso acompanhamento foi fundamental para a concretização deste trabalho e para o meu crescimento académico e profissional.

Por fim, foi apenas graças à EFAPEL e aos seus profissionais que este relatório foi possível. Agradecer a toda a equipa da produção, em especial ao Luís Serra e ao Engenheiro Sérgio Marques, por toda a paciência que tiveram comigo e ensinamentos ao longo desta etapa. Ao longo deste documento estão espelhados todos os ensinamentos que adquiri ao passar por lá e que serão seguramente úteis no futuro!

A todos, que de alguma maneira intervieram neste capítulo, um grande e sincero obrigado!

RESUMO

A gestão eficiente da produção é um pilar fundamental para garantir a competitividade e sustentabilidade das empresas industriais, sendo particularmente relevante em setores com grande diversidade de produtos e exigência de prazos, como é o caso da EFAPEL - Empresa Fabril de Componentes Elétricos S.A. Neste contexto, a aplicação de boas práticas de planeamento, aliadas a iniciativas de melhoria contínua, pode ter um impacto significativo na produtividade, na redução de desperdícios e na capacidade de resposta ao mercado.

O estágio realizado na EFAPEL permitiu o contacto direto com o setor da injeção de plásticos, onde me foi possível compreender os principais desafios da produção e participar ativamente em tarefas operacionais e analíticas. Foram exploradas temáticas como o planeamento da produção e as suas condicionantes, assim como desenvolvimento de atividades com o objetivo da melhoria contínua e do apoio à decisão. Foi ainda conduzido um estudo comparativo sobre tecnologias de produção para pequenas séries, nomeadamente impressão 3D, injeção tradicional e *Babyplast*.

O estudo efetuado permitiu concluir que a impressão 3D poderá ser uma solução economicamente viável para a produção de pequenas séries, desde que enquadrada em casos específicos onde aspetos estéticos e mecânicos não sejam fulcrais. Além disso, a avaliação da tecnologia *Babyplast* demonstrou potencial para racionalizar recursos e reduzir custos em casos como o que foi alvo de estudo. No que diz respeito às atividades desenvolvidas no âmbito da melhoria contínua contribuíram diretamente para a melhoria da organização do trabalho, otimização e aumento da eficiência produtiva da área de injeção.

Palavras-chave: Injeção de plásticos; Impressão 3D; Melhoria contínua; Planeamento da Produção

ABSTRACT

Efficient production management is a fundamental pillar for guaranteeing the competitiveness and sustainability of industrial companies, and is particularly important in sectors with a great diversity of products and demanding deadlines, as is the case with EFAPEL - Empresa Fabril de Componentes Elétricos S.A. In this context, the application of good planning practices, combined with continuous improvement initiatives, can have a significant impact on productivity, waste reduction and the ability to respond to the market.

The internship at EFAPEL gave me direct contact with the plastics injection sector, where I was able to understand the main production challenges and actively participate in operational and analytical tasks. Topics such as production planning and its constraints were explored, as well as the development of activities aimed at continuous improvement and decision support. A comparative study was also carried out on production technologies for small series, namely 3D printing, traditional injection and Babyplast.

The study concluded that 3D printing could be an economically viable solution to produce small series, if it is used in specific cases where aesthetic and mechanical aspects are not crucial. In addition, the evaluation of Babyplast technology showed potential for rationalizing resources and reducing costs in cases such as the one studied. The activities carried out in the context of continuous improvement have contributed directly to improving work organization, optimizing and increasing production efficiency in the injection area.

Keywords: Plastic Injection; 3D Printing; Continuous Improvement; Production Planning

ÍNDICE

Índice.....	iv
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Simbologia e abreviaturas	ix
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Estrutura do relatório	2
2 Apresentação da empresa	3
2.1 Caracterização geral	3
2.2 Missão, Visão e Valores.....	4
2.3 Produtos	5
2.4 Organização interna.....	7
2.5 Secção da injeção da EFAPEL.....	8
2.6 Processo de Injeção de Plásticos na EFAPEL.....	10
3 Enquadramento teórico	12
3.1 Injeção de plásticos	12
3.1.1 Máquina de injeção tradicional	12
3.1.2 Moldes de Injeção	14
3.1.3 Materiais.....	15
3.1.4 Ciclo de injeção.....	15
3.2 <i>Babyplast</i> no contexto da injeção de plásticos	17
3.3 Tecnologias de impressão 3D.....	18
3.3.1 Fused Deposition Modeling (FDM)	18
3.3.2 Estereolitografia (SLA)	23
3.3.3 Sinterização Seletiva a Laser (SLS)	25
3.3.4 Síntese Comparativa entre FDM, SLA e SLS	28
3.4 Melhoria Contínua	29
3.4.1 <i>Lean Manufacturing</i>	30
3.4.2 Ferramentas <i>Lean</i>	31
4 Atividades desenvolvidas	34

4.1	Planeamento da Produção	34
4.1.1	Enquadramento	34
4.1.2	Integração do Planeamento da Produção com o Processo Produtivo 35	
4.1.3	Principais condicionantes do Planeamento.....	40
4.2	Melhoria Contínua	41
4.2.1	Exceções na Emissão de Ordens de Produção	41
4.2.2	Implementação de Auxiliares Visuais	42
4.2.3	Aplicação dos Princípios EFAPEL na Área de Injeção	44
4.2.4	Otimização da produção de PVC.....	47
4.2.5	Análise de Outputs.....	49
5	Alternativas à Injeção Tradicional: Breve Análise económica	50
5.1	Caracterização do Problema	50
5.2	Produção tradicional com molde de 2 cavidades.....	51
5.3	Análise de alternativas por subcontratação.....	54
5.3.1	Subcontratação em <i>Babyplast</i>	54
5.3.2	Subcontratação em Impressão 3D	56
5.3.3	Comparação entre alternativas.....	57
5.4	Análise à aquisição de uma <i>Babyplast</i>	59
5.5	Conclusões e Perspetivas Futuras	61
6	Conclusões.....	63
	Referências bibliográficas	64
	Anexos	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Logotipo EFAPEL (EFAPEL, n.d.).....	3
Figura 2 – Instalações EFAPEL(Público, 2024).	3
Figura 3 – Séries de aparelhagem EFAPEL (EFAPEL, n.d.).....	5
Figura 4 – Quadros Elétricos EFAPEL (EFAPEL, n.d.)	6
Figura 5 – Calhas EFAPEL (EFAPEL, n.d.).....	6
Figura 6 – Organização da área da Produção na EFAPEL (EFAPEL, n.d.-b).....	8
Figura 7 – Esquematização de uma máquina de injeção. (EFAPEL, n.d.)	12
Figura 8 – Esquematização da Unidade de Injeção. (EFAPEL, n.d.)	13
Figura 9 – Molde aberto e componentes (Fonte: Autor, 2024).....	14
Figura 10 – Esquematização do ciclo de injeção (Pinto, 2013)	17
Figura 11 – Máquina Babyplast equacionada (Envi, 2019).	18
Figura 12 – Esquema do processo de impressão FDM (Rajan et al., 2022).	20
Figura 13 – (a) orientação da impressão, (b) espessura da camada, (c) parâmetros de impressão (Kristiawan et al., 2021).....	21
Figura 14 – Acabamento do mesmo produto em diferentes tecnologias (Özdilli, 2021).....	22
Figura 15 – Sistema SLA (Huang et al., 2020).	24
Figura 16 – Sistema SLS (Natarajan et al., 2021).....	26
Figura 17 – Correlação entre parâmetros e qualidade do produto final (Yehia et al., 2024).....	27
Figura 18 – Visão geral dos parâmetros de processo de três métodos de impressão diferentes: FDM (esquerda), SLS (direita) e SLA (meio). (Kafle et al., 2021).....	29
Figura 19 – Princípios <i>Lean</i> (Maia et al., 2011).	30
Figura 20 – Exemplo de um diagrama Yamazumi (Heitor De Andrade et al., 2016)	32
Figura 21 – Interface do planeamento da produção no software interno da empresa	35
Figura 22 – Sistema automático de alimentação de matérias-primas para a injeção.	36
Figura 23 – Carro SMED	37
Figura 24 – Esquema representativo das fases de uma mudança de ferramenta	38
Figura 25 – Exemplo de peças interiores (1) e exteriores (2). (EFAPEL, n.d.-a)....	39

Figura 26 – Exemplo de um Auxiliar Visual de uma peça.	43
Figura 27 – Layout do documento dos Princípios EFAPEL	45
Figura 28 – Melhoria – Otimização da zona de resíduos da injeção.....	46
Figura 29 – Melhoria - Instalação de uma torneira na casa das bombas	46
Figura 30 – Melhoria - Implementação de um sistema de encaixe rápido nos KO's	47
Figura 31 – Comparação dos custos de produção da Injeção tradicional vs Babyplast.	56
Figura 32 – Comparação dos custos de produção da Injeção tradicional vs Impressão 3D.....	57
Figura 33 – Gráfico representativo da evolução dos custos.	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Influência da mudança de cor na purga.....	39
Tabela 2 – Resumo da recolha de dados dos moldes da máquina 8	48
Tabela 3 – Dimensionamento do prato.....	49
Tabela 4 – Características da peça analisada	51
Tabela 5 – Pressupostos utilizados para o cálculo dos custos.	52
Tabela 6 – Evolução do custo de produção por injeção tradicional.....	54
Tabela 7 – Evolução dos custos de produção em <i>Babyplast</i>	55
Tabela 8 – Evolução dos custos de produção em Impressão 3D.....	57
Tabela 9 – Evolução dos custos de produção.	58
Tabela 10 – Moldes adquiridos nos últimos 5 anos	60
Tabela 11 – Comparação da produção em babyplast com a sua subcontratação ...	61

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

3D – Três Dimensões

CAD – *Computer-Aided Design* (Desenho Assistido por Computador)

CHM – Custo Hora Máquina

FDM – *Fused Deposition Modeling* (Modelagem por Deposição Fundida)

FFF – *Fused Filament Fabrication*

EG – Equipas de Gemba

GL – Gemba Líder

IDI – Investigação, Desenvolvimento e Inovação

IMD – *In-Mold Decoration*

ISO – *International Organization for Standardization*

KO – Sistema de extração/ejeção de peças

MP – Matéria-prima

OP – Ordem de Produção

SLA – *Stereolithography* (Estereolitografia)

SLS – *Selective Laser Sintering* (Sinterização Seletiva a Laser)

SMED – *Single-Minute Exchange of Die* (Troca Rápida de Ferramentas)

STL – *Stereolithography File Format* (formato padrão de ficheiro 3D)

TPM – *Total Productive Maintenance*

UV – Ultravioleta

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O presente relatório desenvolvido no âmbito na unidade curricular Estágio inserida no curso de Mestrado em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos (MEGAF), lecionado no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), diz respeito à última atividade e conseqüente findar deste ciclo de estudos com a conclusão do curso.

O estágio descrito iniciou-se no dia 4 de dezembro de 2023 e terminou no dia 3 de dezembro de 2024, com uma carga de 5 dias correspondentes a 40 horas semanais ao longo desse período na EFAPEL - Empresa Fabril de Componentes Elétricos S.A., em Serpins, Coimbra e decorreu no setor da injeção de plásticos da empresa.

A injeção de plásticos destaca-se como a solução de fabrico mais eficiente para produções em larga escala, sobretudo devido ao seu reduzido custo unitário e elevada repetibilidade. Contudo, esta vantagem competitiva está fortemente condicionada pelo elevado investimento inicial necessário para a compra dos moldes, o que limita a sua viabilidade em séries curtas ou em contextos que exigem elevada flexibilidade de produção.

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, revolucionou o panorama industrial ao permitir a criação de objetos tridimensionais a partir de modelos digitais. Essa tecnologia tem se destacado pela capacidade de produzir peças complexas de forma rápida e personalizada, desafiando as limitações dos métodos tradicionais de fabricação. Quando se trata de pequenas séries ou desenvolvimento de novos produtos, a impressão 3D apresenta-se como uma alternativa viável pois, ao dispensar moldes, permite reduzir o investimento inicial, acelerar a fase de desenvolvimento e diminuir o desperdício. Neste sentido, embora não substitua a injeção em grandes volumes, a impressão 3D tem vindo a ganhar relevância como solução complementar, especialmente em contextos de pequena escala que exigem flexibilidade, personalização ou rapidez no acesso ao mercado.

1.2 Objetivos

Os objetivos do estágio passaram pela integração no departamento da produção mais concretamente na área da injeção de onde se destacam, a participação em atividades como o planeamento da produção ou a execução de tarefas que visam a melhoria contínua e a otimização da produção. Outro dos objetivos foi o desenvolvimento de um estudo para determinar em que condições poderá a EFAPEL utilizar tecnologias alternativas à injeção de plásticos em produtos com

pequenas quantidades anuais de produção, como a impressão 3D ou a compra de uma máquina de injeção especial que permitiria ter uma abordagem diferente a determinadas gamas de produtos.

1.3 Estrutura do relatório

O relatório está estruturado em seis capítulos.

O Capítulo 1 apresenta o enquadramento do relatório, os objetivos do trabalho e a estrutura seguida.

O Capítulo 2 trata-se da apresentação da Empresa EFAPEL, estando dividida em secções que explicitam várias características da organização.

O Capítulo 3 diz respeito ao enquadramento teórico onde são abordados os principais conceitos relacionados com o processo de injeção de plásticos e tecnologias de impressão 3D e melhoria contínua.

O Capítulo 4 aborda as atividades desenvolvidas durante o estágio, como o planeamento da produção e implementação de melhorias.

O Capítulo 5 relata o caso de estudo onde se desenvolve uma análise económica sobre a produção de uma peça específica, comparando diferentes soluções de fabrico.

Por fim o Capítulo 6 contem as conclusões do trabalho realizado.

2 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

2.1 Caracterização geral

A EFAPEL - Empresa Fabril de Componentes Elétricos S.A. (Figura 1) é uma entidade com sede em Serpins (Lousã), fundada em 1978, focada na pesquisa, desenvolvimento e fabricação de componentes elétricos, consolidada no mercado com uma enorme competitividade. O leque de produtos, além de diversos acessórios para instalações elétricas, abrange ainda calhas e opções de aparelhagem, contando assim com mais de 8.000 referências num portfólio diversificado de aparelhagem elétrica de baixa tensão.



Figura 1 – Logotipo EFAPEL (EFAPEL, n.d.).

Situada de forma estratégica no Centro de Portugal, no distrito de Coimbra, a empresa emprega uma equipa de cerca de 500 colaboradores distribuídos por duas, cada vez mais, modernas unidades industriais, cobrindo uma superfície total de 48,540.9 m² (Figura 2).



Figura 2 – Instalações EFAPEL(Público, 2024).

Conta ainda com 2 subsidiárias, uma em Espanha e outra em França. Na Lousã, as duas unidades industriais referidas, são compostas por 5 edifícios/pavilhões, quatro estão situados em Serpins onde se efetua a maior parte do processo produtivo da empresa assim como o armazenamento e escoamento do produto. O quinto situa-

se no Padrão e dedica-se exclusivamente à extrusão de calhas. Toda esta produção resulta numa exportação para mais de 50 países com destaque para, além de Portugal, Espanha, França e Alemanha.

É relevante mencionar que a EFAPEL participou ativamente no projeto de investimento "Compete 2020", financiado pela União Europeia através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional. O projeto visava incentivar a pesquisa, inovação e desenvolvimento tecnológico e produtivo, incorporando recursos tecnológicos, físicos e humanos para aprimorar produtos de qualidade a preços competitivos. Além disso, os fundos foram direcionados para a construção de um novo edifício e esforços de marketing para fortalecer a marca EFAPEL.

2.2 Missão, Visão e Valores

A EFAPEL é uma empresa portuguesa que se afirma no setor das soluções elétricas, sustentando a sua atividade numa cultura organizacional sólida e coerente. Com uma orientação clara para a excelência, aposta na qualidade dos seus produtos e serviços, na valorização dos seus colaboradores, na sustentabilidade e na melhoria contínua. Essa cultura está refletida nos seus principais pilares estratégicos:

Visão: Ser uma empresa de excelência no domínio das soluções elétricas.

Missão: Criar e produzir as melhores opções de aparelhagem, calhas e acessórios para instalações elétricas, assegurando a satisfação de clientes, colaboradores, fornecedores, acionistas e sociedade em geral. Esta missão assenta na eficiência dos processos, eliminação de desperdícios, inovação e desenvolvimento sustentado.

Valores: Ética, rigor, simplicidade, dinamismo e criatividade.

A EFAPEL compromete-se a garantir produtos de qualidade e segurança, a servir os clientes com rapidez e eficácia, a proporcionar um ambiente de trabalho seguro, participativo e motivador, a respeitar o ambiente e a cumprir todos os requisitos legais e normativos, promovendo simultaneamente práticas sustentáveis junto de todas as partes interessadas.

Neste enquadramento, importa referir os **Princípios EFAPEL**, uma prática interna de aplicação transversal a todos os setores da empresa que representam um exemplo concreto da forma como a EFAPEL transforma os seus valores e compromissos em ações consistentes, promovendo a organização, a disciplina e a melhoria contínua, temas que serão aprofundados mais à frente.

A EFAPEL construiu o seu percurso de sucesso com base numa abordagem integrada de controlo dos processos, elevados padrões de qualidade, espírito inovador constante e um forte compromisso com a satisfação das necessidades e expectativas dos clientes. Estes pilares consolidam a sua posição de destaque no setor, sendo reconhecida como o principal fabricante nacional de soluções para instalações elétricas de baixa tensão e um símbolo de excelência neste domínio.

A atuação da empresa está fortemente ancorada em valores éticos, distinguindo-se pela seriedade, pelo compromisso assumido com todos os seus intervenientes, pela capacidade de adaptação às mudanças e pela criatividade na busca de soluções diferenciadoras. O seu crescimento sustentado resulta de uma aposta clara na orientação para o cliente, na otimização contínua dos processos internos e na valorização das parcerias com os fornecedores. A EFAPEL também promove um ambiente de trabalho seguro e saudável, incentivando a participação ativa dos colaboradores nestas questões. A preocupação ambiental e a aposta em formação estruturada reforçam uma cultura empresarial positiva, motivadora e voltada para a melhoria constante. Como consequência, a excelência da EFAPEL é reconhecida pela certificação da Associação Portuguesa de Certificação em Gestão de Qualidade (ISO 9001), Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho (ISO 45001) e Gestão Ambiental (ISO 14001).

2.3 Produtos

A EFAPEL oferece uma ampla gama de produtos para instalações elétricas de baixa tensão, abrangendo diversas categorias que atendem às necessidades de projetos residenciais, comerciais e industriais. As principais categorias de produtos incluem:

1. Aparelhagem

Esta categoria engloba mecanismos como interruptores, comutadores e variadores de intensidade luminosa. As séries disponíveis, como LOGUS 90, APOLO 5000 e SIRIUS 70, representadas na Figura 3, oferecem diferentes opções estéticas e funcionais, adaptando-se a variados contextos de instalação.



Figura 3 – Séries de aparelhagem EFAPEL (EFAPEL, n.d.)

2. Tomadas e Interfaces Técnicas

Inclui soluções para ligação de energia, dados e comunicação, integradas nas mesmas séries modulares mencionadas anteriormente, garantindo uniformidade visual e funcional.

3. Quadros Elétricos e Caixas de Aparelhagem

A EFAPEL disponibiliza quadros modulares (Figura 4) e caixas para instalação embutida ou de superfície, adequadas para diversas configurações e graus de proteção, compatíveis com as exigências normativas aplicáveis a instalações elétricas de baixa tensão.



Figura 4 – Quadros Elétricos EFAPEL (EFAPEL, n.d.)

4. Sistemas de Canalização Técnica

Compreende calhas técnicas (Figura 5) e acessórios para o encaminhamento e proteção de cablagens, facilitando instalações organizadas e adaptáveis a diferentes ambientes.



Figura 5 – Calhas EFAPEL (EFAPEL, n.d.)

5. Dispositivos de Controlo e Automação

Inclui sensores, temporizadores e outros elementos de controlo automático, adequados para projetos com requisitos de eficiência energética ou automação de funções básicas.

A estrutura modular das séries da EFAPEL permite compatibilidade entre componentes, facilitando a instalação e garantindo coerência visual e funcional nos projetos. A diversidade de séries existentes oferece soluções adaptadas a diferentes contextos arquitetónicos e níveis de exigência técnica.

2.4 Organização interna

A EFAPEL apresenta uma estrutura organizacional funcional bem delineada, que sustenta a sua capacidade produtiva e de resposta ao mercado. No topo da hierarquia encontra-se a Administração, da qual dependem diretamente todos os departamentos da empresa, nomeadamente os de desenvolvimento organizacional, Controlo de Gestão, Gestão de Pessoas, Sistemas de Gestão Integrado, Administrativo e Financeiro e Comercial e Marketing (Anexo A). A nível operacional, a empresa encontra-se dividida em várias áreas técnicas e produtivas, organizadas em função dos seus objetivos específicos, Engenharia de Qualidade, Projeto, Aprovisionamento, IDI Processo, Industrial UPA, e, com especial relevância, a área da Produção UPS, onde incidiu o estágio (Figura 6).

Na Produção UPS, encontra-se a área da Injeção Plástica que representa uma etapa fundamental no fabrico dos componentes da marca que está distribuída por dois edifícios (1 e 3), englobando um total de 35 máquinas de injeção de diferentes capacidades, e funciona em turnos rotativos de 3 equipas (EG60, EG61 e EG62). A produção por injeção articula-se com outras áreas técnicas como a Engenharia de Qualidade, Projeto, IDI Processo, e Aprovisionamento, assim como outras áreas produtivas, Pintura, Vidro, Montagem, Estampagem, Eletrónicos e Manutenção Precisão, promovendo um fluxo contínuo de informação e material, assegurando o cumprimento de padrões técnicos exigentes e o acompanhamento de cada ordem de produção.

Esta estrutura hierárquica e funcional permite à EFAPEL uma abordagem coordenada e eficiente aos seus processos, promovendo a integração entre setores e garantindo uma gestão produtiva rigorosa, características transversais e claramente visíveis na área de injeção onde se observou o reflexo prático desta organização.

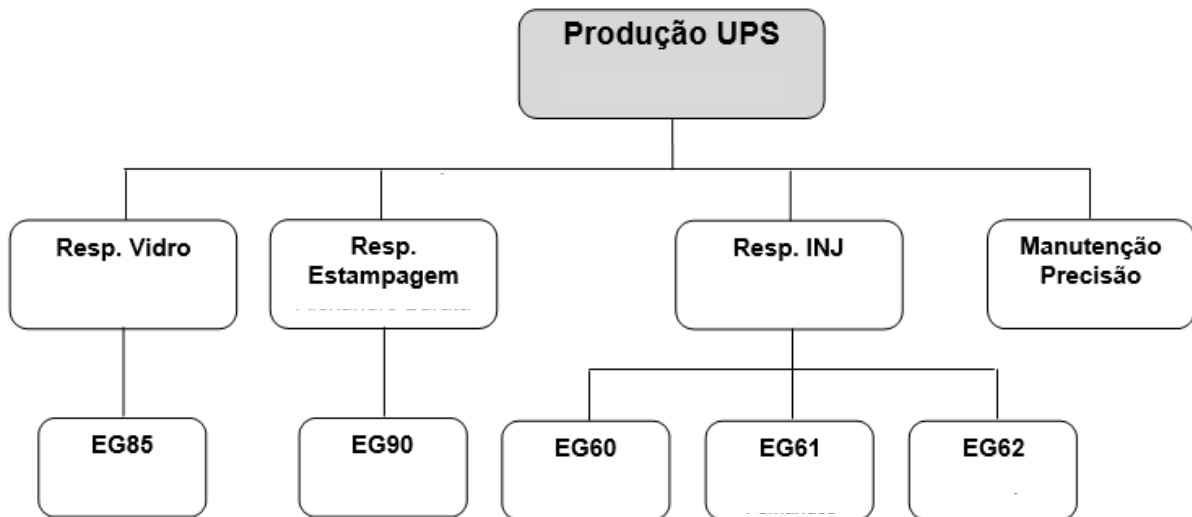


Figura 6 – Organização da área da Produção na EFAPEL (EFAPEL, n.d.-b)

2.5 Secção da injeção da EFAPEL

A secção da injeção, área onde incidiu o estágio, além do diretor de produção é composta por um responsável pela área, pela equipa de apoio e por três equipas que trabalham em turnos rotativos, sendo estas a *Gemba* 60 (EG60), *Gemba* 61 (EG61) e *Gemba* 62 (EG62), cada uma com um responsável no terreno denominado *Gemba* Líder. Os colaboradores de toda a área contam com formações específicas que lhes permitem desempenhar diferentes as suas funções de maneira eficiente.

A gestão da área de injeção de plásticos requer um conjunto específico de responsabilidades e tarefas atribuídas ao responsável por essa área e, uma vez que o estágio se focou no apoio a esse mesmo responsável da injeção, é importante especificar o tipo de tarefas e responsabilidades associadas a este cargo.

1. Gestão da Produção:

- Supervisionar e coordenar todas as atividades relacionadas à produção de peças plásticas por meio do processo de injeção, garantindo o cumprimento das regras de produção estabelecidas.
- Implementar e otimizar práticas e procedimentos operacionais padronizados para maximizar a eficiência e a produtividade na produção.
- Monitorizar de forma contínua o desempenho do processo de injeção, identificando e resolvendo eventuais problemas ou falhas operacionais.

2. Gestão da Qualidade:

- Garantir o cumprimento dos padrões de qualidade estabelecidos para os produtos plásticos fabricados, através da implementação de medidas de controlo de qualidade rigorosas.

- Realizar inspeções regulares nos produtos, assim como no processo de produção, para identificar e corrigir possíveis defeitos ou não conformidades.
 - Colaborar com o departamento de controlo da qualidade para desenvolver e implementar planos de melhoria contínua.
3. Gestão de Recursos Humanos:
- Recrutar, treinar e supervisionar a equipa de operadores responsáveis pela operação dos equipamentos de injeção.
 - Promover um ambiente de trabalho seguro, incentivando a conformidade com as normas de segurança e a adoção de práticas seguras durante as operações.
4. Gestão de Recursos Materiais e Equipamentos:
- Gerir os *stocks* de matéria-prima, em colaboração com o responsável das mesmas, e componentes necessários para a produção, garantindo a disponibilidade adequada e evitando interrupções no processo.
 - Supervisionar a manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos de injeção de plásticos, assegurando o funcionamento adequado e prolongando sua vida útil.
 - Colaborar com o departamento de compras na seleção e aquisição de novos equipamentos e tecnologias que possam melhorar a eficiência e a capacidade produtiva da área.
5. Gestão de Custos e Orçamento:
- Monitorizar e controlar os custos e processos operacionais da área de injeção de plásticos, identificando oportunidades de redução de despesas e maximização da eficiência.
 - Analisar regularmente os indicadores de desempenho da área, fornecendo recomendações para a administração.

Em síntese, o responsável pela área de injeção de plásticos na EFAPEL desempenha um papel multifacetado e estratégico, que envolve a gestão de recursos humanos, materiais, equipamentos e processos, por isso, as suas tarefas e responsabilidades são fundamentais para garantir a produção eficiente, a qualidade dos produtos e a competitividade da empresa no mercado. Além das tarefas descritas, colabora com uma equipa de apoio à injeção (EAI) formada por três responsáveis: um pelos ensaios e afinações de processos, outro pela manutenção geral e resolução de avarias e por fim um pelas matérias-primas e abastecimento das máquinas.

2.6 Processo de Injeção de Plásticos na EFAPEL

A área de injeção de plásticos da EFAPEL assume um papel fundamental processo produtivo da empresa, assegurando a transformação de matérias-primas em componentes técnicos de elevada precisão que integram os seus produtos eletrotécnicos.

Este setor está distribuído pelos edifícios 1 e 3 da unidade industrial situada em Serpins, contando com um total de trinta e cinco máquinas de injeção com capacidades entre 50 e 450 toneladas. A maioria das máquinas (32) encontra-se instalada no edifício 1, enquanto as restantes três operam no edifício 3. Este conjunto é apoiado por áreas e equipamentos complementares indispensáveis ao seu funcionamento eficaz. Durante o período de estágio, uma das máquinas de 50 toneladas foi cedida ao Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), no âmbito de um protocolo de colaboração, proporcionando aos estudantes o contacto direto com esta tecnologia ainda durante a sua formação académica.

O processo de injeção tem início com a validação da ordem de produção e a preparação da mistura plástica, composta por vários constituintes que são doseados e desumidificados através de um sistema centralizado e automatizado. A seleção criteriosa das matérias-primas visa garantir a qualidade, resistência e funcionalidade dos componentes. Entre os polímeros utilizados destacam-se ABS, ASA, PC/ABS, ASA/PC, PBT, PVC, policarbonato, poliamida e poliacetal, além de misturas plásticas e compostos masterbatch utilizados em requisitos específicos. Cada material exige parâmetros de estufagem bem definidos, como temperatura e tempo, essenciais para eliminar a humidade e assegurar a estabilidade dimensional durante a moldação. A diversidade de materiais evidencia a complexidade e exigência técnica deste setor, bem como a capacidade da EFAPEL de responder a diferentes exigências funcionais e estéticas. A distribuição da matéria-prima às máquinas é assegurada por uma mesa distribuidora, que garante uma alimentação homogénea e eficiente.

A preparação das máquinas e a montagem dos moldes seguem os princípios do método SMED, com uma separação clara entre tarefas externas (limpeza e preparação dos moldes) e internas (montagem e afinação dos parâmetros). O tempo necessário para cada troca de molde depende de fatores como o tipo de peça, o porte da máquina, a necessidade de trocar matéria-prima ou cor e a complexidade do molde.

Durante o fabrico, cada ciclo é supervisionado por operadores qualificados que realizam verificações regulares, assegurando a conformidade visual e dimensional das peças. Concluída a produção, os componentes são embalados com a respetiva identificação e etiqueta de “Qualidade Controlada”, sendo posteriormente encaminhados para os armazéns, onde se garante a rastreabilidade e o cumprimento dos critérios de qualidade estabelecidos.

Melhoria contínua na injeção de componentes elétricos e Impressão 3D

O rigor técnico, a organização e a eficiência que caracterizam este processo demonstram o forte compromisso da EFAPEL com a inovação e a qualidade, sendo a injeção de plásticos um dos alicerces principais da sua capacidade produtiva.

3 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Depois de contextualizada a empresa, é importante abordar os principais temas que servem de base à análise desenvolvida neste trabalho. Neste capítulo reúnem-se os conceitos essenciais sobre os processos produtivos em estudo, com destaque para a injeção de plásticos e as tecnologias de fabrico aditivo, bem como conceitos inerentes às atividades desenvolvidas ao longo do estágio. A abordagem teórica que se segue permite então enquadrar os conceitos teóricos abordados mais à frente neste documento.

3.1 Injeção de plásticos

Torna-se agora pertinente abordar as principais envolventes do processo de injeção. Neste sentido, os subcapítulos seguintes irão explorar aspetos fundamentais como a máquina de injeção, o molde, os materiais utilizados e o ciclo de injeção, permitindo uma compreensão mais completa deste processo produtivo.

3.1.1 Máquina de injeção tradicional

As máquinas de injeção de plásticos, representadas pela Figura 7, são equipamentos industriais projetados para transformar materiais poliméricos, geralmente fornecidos em forma de grânulos sólidos, em peças moldadas com geometrias precisas. Este processo envolve a fusão do material, a sua injeção no interior de um molde fechado, a solidificação controlada e, por fim, a extração da peça moldada. Para garantir a execução eficiente de cada uma destas etapas, a máquina divide-se funcionalmente em duas unidades principais: a unidade de fecho ou fixação e a unidade de injeção (EFAPEL, n.d.).

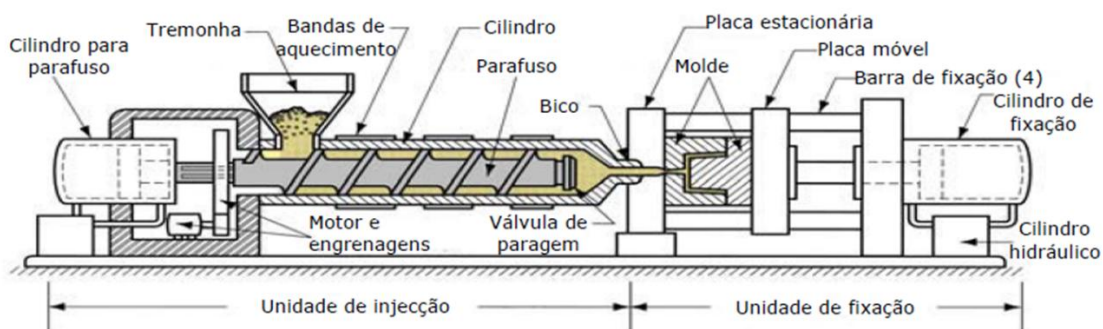


Figura 7 – Esquematização de uma máquina de injeção. (EFAPEL, n.d.)

A unidade de fecho tem como principais funções o alinhamento e suporte do molde, o fecho e abertura do mesmo a cada ciclo, a manutenção da força de fecho durante a injeção e a promoção da extração das peças após a solidificação. Este grupo é

também responsável por assegurar que o molde permanece trancado durante a introdução do material fundido, resistindo às elevadas pressões do processo. Existem diferentes tipos de sistemas de fecho, sendo os mais comuns os sistemas hidráulicos, que utilizam pistões para aplicar a força, os mecânicos, mais simples e manuais, geralmente usados em produções pequenas, os mistos, que combinam sistemas hidráulicos com articulações mecânicas (joelheiras), amplamente adotados na indústria e os elétricos, mais recentes, que se destacam pela precisão e eficiência energética. A seleção adequada da máquina depende de parâmetros como a força de trancamento (Ton), curso de abertura, espessura mínima e máxima do molde, dimensão dos pratos, curso e força de extração (EFAPEL, n.d.).

A unidade de injeção, ilustrada na Figura 8, é responsável pela fusão, homogeneização, dosagem e introdução do polímero no molde. Esta unidade inclui a tremonha, que funciona como reservatório de alimentação e pode ser equipada com sistemas de secagem, isolamento ou pressurização; o cilindro de aquecimento, onde o material recebe calor; e o fuso de injeção, que tem a função de transportar, fundir e homogeneizar o material, além de atuar como pistão durante a fase de injeção. O fuso é geralmente dividido em três zonas: alimentação, compressão e dosagem, cada uma com funções distintas no processamento térmico e mecânico do polímero. Um bom desempenho do fuso exige elevada capacidade de plastificação, homogeneidade térmica, transporte eficiente e baixa retenção de material, minimizando o risco de degradação (EFAPEL, n.d.).

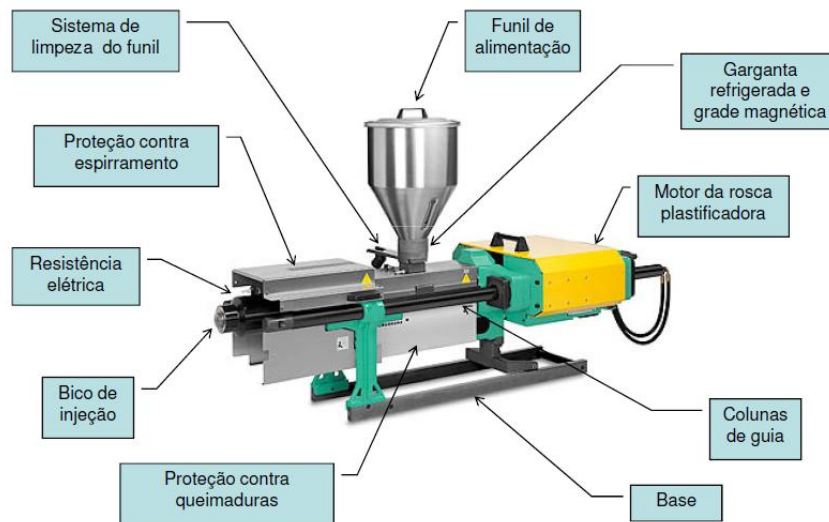


Figura 8 – Esquemática da Unidade de Injeção. (EFAPEL, n.d.)

Elementos como a ponteira, a anilha e a válvula anti-retorno garantem a vedação do sistema e o controlo da pressão no momento da injeção, sendo componentes críticos para a estabilidade do processo e, por serem sujeitos a desgaste, requerem inspeção e substituição periódica (EFAPEL, n.d.).

A compra de uma máquina de injeção deve considerar características como a capacidade volumétrica de injeção, capacidade de plastificação, pressão máxima de injeção, temperatura máxima de processamento, tipo de fuso e resistência ao desgaste abrasivo. Uma parametrização adequada da máquina, aliada à preparação dos materiais conforme especificado nas ordens de produção o que inclui o tipo de polímero, aditivos, corantes, grau de secagem e eventual incorporação de reciclado, é fundamental para assegurar a qualidade dimensional e visual da peça final e garantir a estabilidade do processo produtivo (EFAPEL, n.d.).

3.1.2 Moldes de Injeção

Os moldes de injeção são elementos fundamentais no processo produtivo, uma vez que definem a forma, as dimensões e a qualidade final da peça., são compostos por duas metades, uma fixa e uma móvel que formam a cavidade onde o material fundido é introduzido e solidificado. Conforme a configuração tendo em conta as necessidades, podem ser moldes de cavidade única, multicavidade ou moldes de família, sendo a escolha influenciada pela geometria da peça e pelos objetivos de produção (Goodship, 2004).

A estrutura funcional do molde inclui três sistemas principais: alimentação, controlo térmico e extração. O sistema de alimentação conduz o polímero fundido à cavidade, podendo utilizar canais frios ou sistemas de câmara quente, que aumentam a eficiência e reduzem perdas. O sistema de extração, por sua vez, remove a peça moldada através de pinos, placas ou sistemas pneumáticos (Goodship, 2004). O controlo térmico, geralmente assegurado por canais de água, garante um arrefecimento uniforme e a estabilidade dimensional da peça (Lourenço, 2014). Os moldes como o da Figura 9 integram ainda diversos componentes técnicos, como a bucha de injeção, os canais de alimentação, os pontos de injeção e os sistemas de ejeção, que devem ser otimizados para garantir o correto enchimento e extração das peças (Couto, 2008).



Figura 9 – Molde aberto e componentes (Fonte: Autor, 2024)

Quanto aos materiais, os aços temperados são utilizados em moldes de elevada durabilidade, enquanto as ligas de alumínio são uma opção para séries curtas ou

protótipos, devido à sua boa condutividade térmica e facilidade de usinagem (Goodship, 2004).

Tal como destaca (Lourenço, 2014), a qualidade do molde influencia diretamente a eficiência do processo de injeção, a repetibilidade dimensional e os tempos de ciclo, sendo um fator determinante na performance global da produção.

3.1.3 Materiais

No processo de moldação por injeção, os materiais poliméricos mais utilizados pertencem ao grupo dos termoplásticos, cuja principal característica é a capacidade de serem moldados repetidamente mediante ciclos de aquecimento e arrefecimento, sem sofrerem alterações irreversíveis na sua estrutura molecular. Esta propriedade permite a sua reciclagem e torna-os particularmente eficientes em contextos de produção em série, onde a redução dos tempos de ciclo é um fator determinante. Entre os termoplásticos mais representativos encontram-se o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o policloreto de vinilo (PVC), o politereftalato de etileno (PET) e as poliamidas (PA), selecionados com base em requisitos específicos como resistência mecânica, estabilidade dimensional, rigidez ou transparência (Goodship, 2004).

Adicionalmente, os elastómeros termoplásticos (TPEs) têm vindo a assumir um papel de relevo devido à sua combinação de propriedades elásticas com a facilidade de processamento típica dos termoplásticos. Estes materiais são especialmente indicados para aplicações que requerem flexibilidade, resistência à deformação e conforto ao toque, como pegas, vedantes e componentes com função amortecedora. A sua versatilidade é reforçada pela possibilidade de reciclagem, tempos de ciclo reduzidos e facilidade de coloração (Goodship, 2004).

Tanto os termoplásticos como os TPEs podem ser modificados através da incorporação de aditivos e cargas funcionais, como pigmentos, estabilizantes, plastificantes ou fibras de reforço, permitindo ajustar as propriedades finais do material às exigências técnicas e funcionais do produto a fabricar (Goodship, 2004).

3.1.4 Ciclo de injeção

O ciclo de injeção corresponde à sequência repetitiva de operações que permite transformar o material termoplástico, inicialmente em estado granulado, numa peça sólida com a geometria definida pelo molde. Cada etapa tem influência direta na qualidade dimensional da peça, na produtividade e na eficiência do processo e o domínio deste ciclo é fundamental para assegurar a estabilidade da produção, a redução de defeitos e a otimização dos tempos de fabrico (Pinto, 2013). Na Figura 10 encontra-se a esquematização de todas as etapas do ciclo de injeção que abaixo descritas:

1. Fecho do molde

O ciclo tem início com o fecho e trancamento do molde. Esta ação assegura que as duas metades do molde estão perfeitamente alinhadas e seladas para suportar a pressão exercida durante a injeção do material fundido (Pinto, 2013).

2. Avanço do grupo injetor

Uma vez fechado o molde, o grupo injetor aproxima-se e posiciona-se de forma precisa para iniciar o processo de injeção. (Lourenço, 2014).

3. Injeção

A injeção inicia-se com o avanço do parafuso sem rotação, forçando o material plastificado para dentro da cavidade do molde. Este processo ocorre sob elevada pressão e velocidade, e visa preencher completamente a geometria definida (Goodship, 2004).

4. Pressão de recalque

Concluída a injeção, mantém-se uma pressão adicional, chamada de recalque ou compactação, com o objetivo de compensar a retração do material durante o arrefecimento e evitar defeitos como poros ou contrações (Goodship, 2004).

5. Dosagem, descompressão e plastificação

Durante o arrefecimento da peça, o parafuso recua com movimento rotativo, iniciando a plastificação de novo material. Simultaneamente, é realizada a descompressão (reco do fuso), garantindo a homogeneidade do fundido e evitando acumulações na ponteira (Lourenço, 2014).

6. Arrefecimento

A peça permanece na cavidade até atingir um grau de solidificação adequado. O controlo do tempo e da temperatura nesta fase é crucial para assegurar estabilidade dimensional e integridade da peça (Pinto, 2013).

7. Abertura do molde e extração da peça

O molde abre-se e a peça é removida, geralmente com auxílio de pinos extratores ou por insuflação de ar. Esta etapa deve ser cuidadosamente controlada para evitar danos na peça (Lourenço, 2014).

8. Pausa técnica e reinício

Antes do reinício do ciclo, pode ocorrer uma pausa curta, destinada à estabilização térmica da máquina ou sincronização com sistemas automatizados (Pinto, 2013).

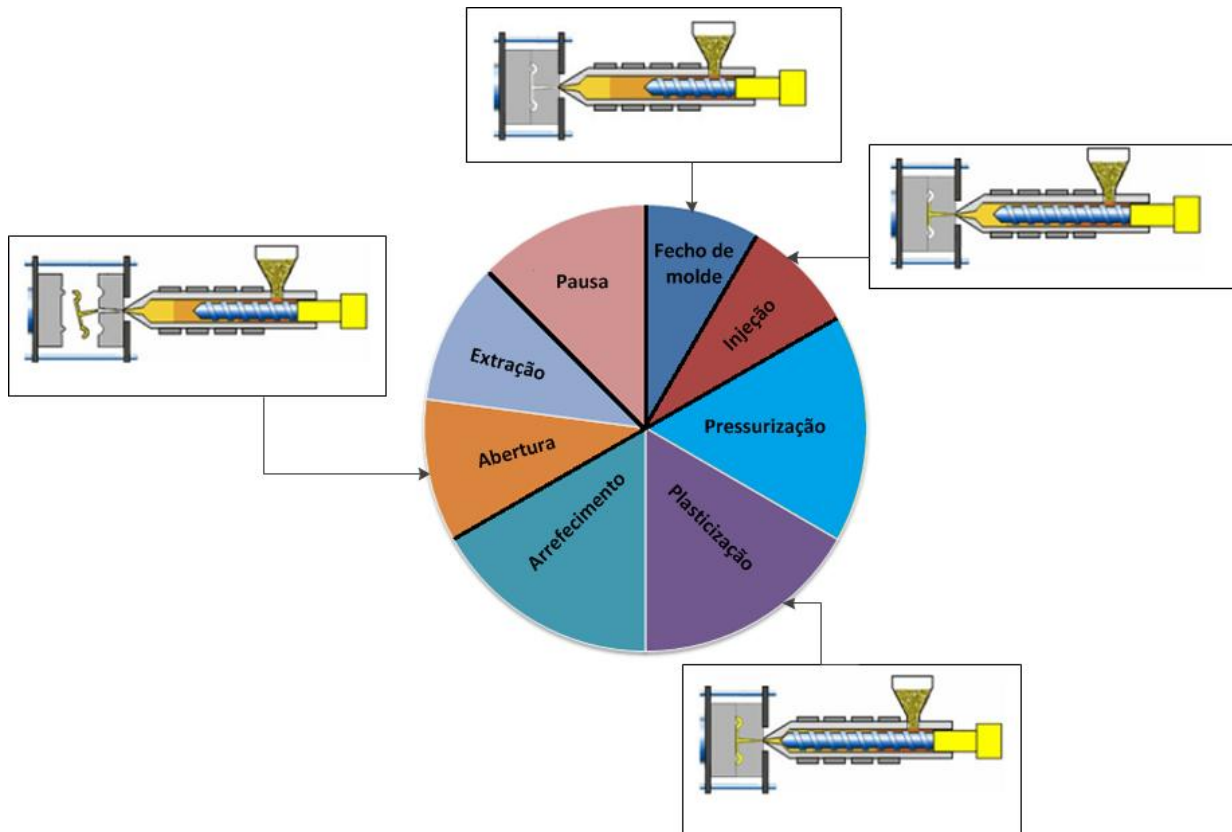


Figura 10 – Esquemática do ciclo de injeção (Pinto, 2013)

3.2 *Babyplast* no contexto da injeção de plásticos

A injeção de plásticos em máquinas *Babyplast*, ilustrada na Figura 11, segue o mesmo princípio das máquinas de injeção convencionais, diferenciando-se essencialmente pelas características da máquina, pensada para produções de pequena escala e elevada precisão. Trata-se de uma solução de baixa tonelagem, compacta e energeticamente eficiente, cuja estrutura permite reduzir custos e otimizar espaço produtivo.

Todos os movimentos da máquina são hidráulicos, controlados por um grupo moto-bomba de elevado rendimento e microprocessadores que regulam com precisão os tempos, pressões e temperaturas. O design dos planos da máquina permite montar apenas as matrizes, eliminando a necessidade de placas porta-molde e reduzindo significativamente o custo e tempo de preparação. Destaca-se também o controlo térmico eficiente, com regulação da refrigeração através de fluxómetro e possibilidade de aquecimento do molde até 200 °C, diretamente no display da máquina. A injeção pode ser feita em duas posições distintas, o que facilita ajustes estéticos ou técnicos (Envi, 2019).

Entre as principais vantagens estão a facilidade de obtenção de precisão dimensional, o balanceamento simples da injeção em moldes com poucas cavidades e a plastificação homogénea da resina, sem sobreaquecimento por fricção. A câmara de

plastificação reduzida (15 cm^3) assegura um tempo curto de residência do material, minimizando o risco de degradação (Envi, 2019).



Figura 11 – Máquina Babyplast equacionada (Envi, 2019).

Em termos operacionais, a *Babyplast* apresenta (Envi, 2019):

- Baixo consumo energético (1,5 a 2,5 kW);
- Troca rápida de molde e cor (cerca de 100/150 g de purga);
- Fundição reduzida (0,6 g em média para 4 cavidades);
- Dimensões mínimas de célula produtiva (menos de 1 m^2);
- Flexibilidade e escalabilidade, com possibilidade de produzir em paralelo diferentes lotes e cores;
- Investimento reduzido, ao permitir trabalhar apenas com as matrizes, sendo ainda compatível com minicâmaras quentes e placas normalizadas desenvolvidas por fabricantes especializados.

Estas características fazem da *Babyplast* uma solução vantajosa em contextos onde a flexibilidade, o custo reduzido e a qualidade técnica das peças são fatores determinantes.

3.3 Tecnologias de impressão 3D

3.3.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

3.3.1.1 Introdução

A modelagem por deposição fundida (*Fused Deposition Modeling* - FDM), também conhecida como *Fused Filament Fabrication* (FFF), é uma das tecnologias mais populares de fabricação aditiva (AM) devido à sua simplicidade operacional, baixo custo e capacidade de utilização com uma vasta gama de materiais poliméricos (Kafle

et al., 2021). Desenvolvida e patenteada em 1988 por Scott Crump, fundador da empresa Stratasys, a tecnologia FDM foi concebida inicialmente para prototipagem rápida, mas evoluiu significativamente e é hoje utilizada em aplicações funcionais em vários setores, incluindo o biomédico, aeroespacial e automotivo (Rajan et al., 2022).

3.3.1.2 Funcionamento

O sistema típico FDM é composto por uma unidade de alimentação de filamento, uma extrusora com zonas quente e fria, uma cabeça de impressão com bico aquecido e uma plataforma de construção aquecida. A arquitetura da impressora pode variar com impacto na precisão, velocidade e volume de impressão (Kristiawan et al., 2021).

O processo FDM baseia-se na extrusão de um filamento termoplástico que é aquecido até atingir um estado semi-sólido e, em seguida, depositado camada por camada para formar a geometria tridimensional desejada (Kafle et al., 2021). A impressora recebe o modelo digital em formato STL, que é convertido em instruções (G-code) através de um software de fatiamento e cada camada é impressa com base nas seções transversais do modelo, movendo-se a extrusora ou a plataforma de construção ao longo do eixo Z (Rajan et al., 2022).

A Figura 12 ilustra um esquema representativo do processo de deposição camada a camada numa impressora FDM.

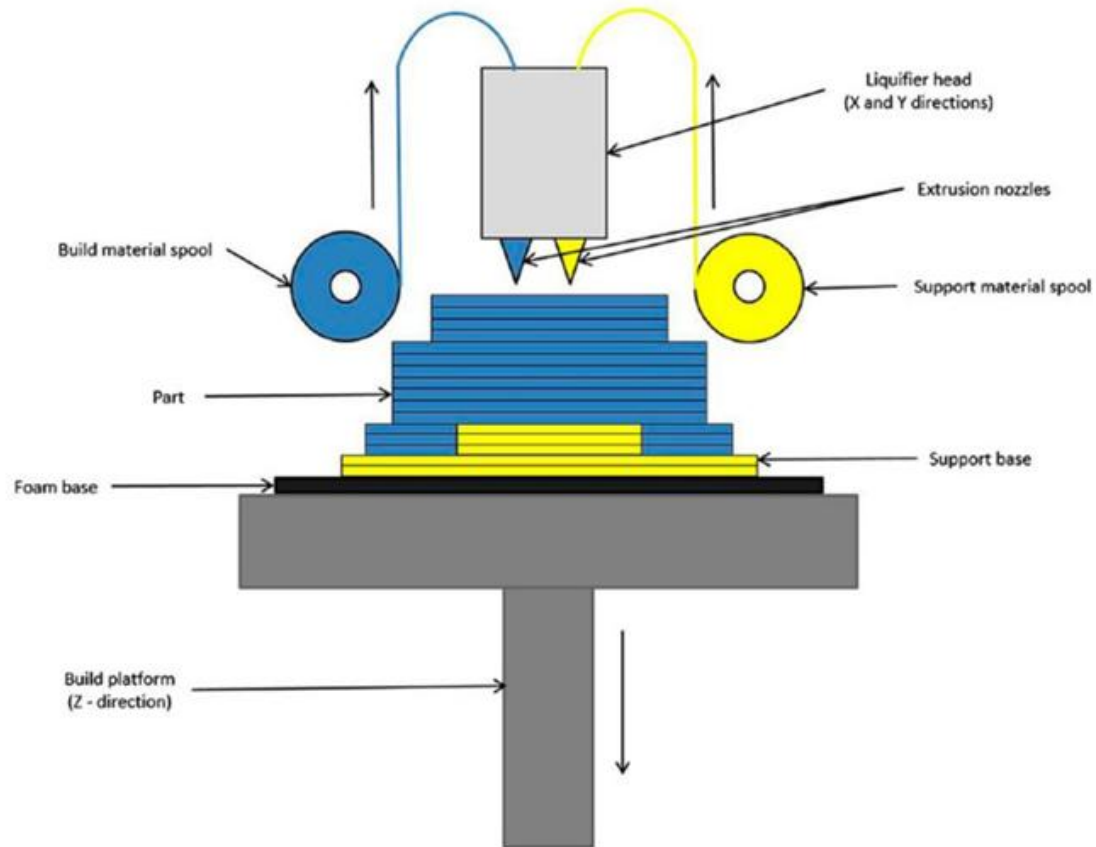


Figura 12 – Esquema do processo de impressão FDM (Rajan et al., 2022).

3.3.1.3 Parâmetros e qualidade de impressão

A qualidade e desempenho das peças fabricadas por FDM dependem de vários parâmetros de processo sendo os mais importantes a temperatura do bico e da mesa, a espessura de camada, a densidade de preenchimento, a velocidade de impressão, a orientação da peça, o ângulo e padrão de raster. (Rajan et al., 2022).

Camadas mais finas e orientações otimizadas melhoram a resistência mecânica e o acabamento, enquanto parâmetros inadequados resultam em anisotropia, defeitos de adesão e baixa precisão dimensional (Rajan et al., 2022).

A Figura 13 demonstra a influência da orientação de impressão e da espessura de camada na resistência mecânica.

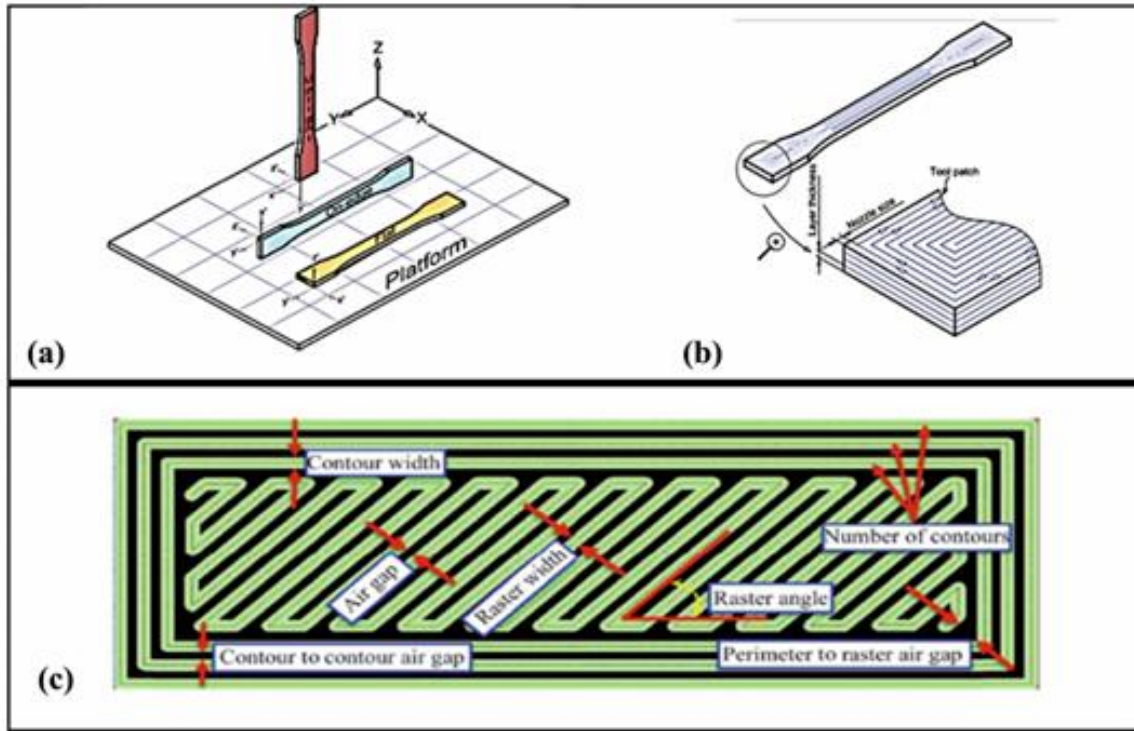


Figura 13 – (a) orientação da impressão, (b) espessura da camada, (c) parâmetros de impressão (Kristiawan et al., 2021)

3.3.1.4 Materiais

A tecnologia FDM utiliza predominantemente polímeros termoplásticos devido à sua capacidade de fusão e solidificação repetida. Os materiais mais comuns incluem o PLA e o ABS, amplamente utilizados por apresentarem boas propriedades mecânicas e facilidade de extrusão. Além destes, há o uso crescente de materiais como o polipropileno (PP), que oferece resistência térmica e química, embora apresente desafios técnicos na impressão devido ao seu elevado índice de retração. No âmbito da tecnologia FDM, além dos filamentos de polímero puro como PLA, ABS ou PP, têm sido desenvolvidos compósitos que combinam a matriz polimérica com aditivos ou fibras de reforço que visa alcançar propriedades estruturais e funcionais superiores, que não seriam possíveis com os polímeros isolados (Kristiawan et al., 2021).

3.3.1.5 Vantagens

- Baixo custo de aquisição e operação;
- Compatibilidade com uma ampla variedade de materiais;
- Processo adequado para prototipagem rápida e pequenas produções;
- Facilidade de utilização e manutenção (Kafle et al., 2021).

3.3.1.6 Limitações

- Propriedades mecânicas inferiores devido à fraca adesão entre camadas;
- Acabamento superficial limitado;
- Necessidade de estruturas de suporte para geometrias complexa;
- Alta dependência da qualidade do filamento e do controlo de parâmetros (Kafle et al., 2021).

3.3.1.7 Comparação com Moldagem por Injeção

A moldagem por injeção garante um bom nível de qualidade superficial e resultados consistentes do ponto de vista mecânico. No entanto, quando se trata de produzir apenas algumas unidades, este método perde competitividade devido ao tempo e custo envolvidos na produção dos moldes.

Já a tecnologia FDM permite fabricar peças de forma mais rápida e com liberdade para ajustar o design, o que a torna útil para séries pequenas e protótipos. Ainda assim, apresenta desvantagens em termos de aspeto final e precisão dimensional. De acordo com os dados obtidos, a rugosidade média das peças produzidas em FDM foi de 4,421 μm enquanto, na moldagem por injeção, foi registado um valor inferior, de 1,059 μm (Özdilli, 2021).

A Figura 14 demonstra a diferença de acabamento entre a moldagem por injeção e a impressão via FDM.

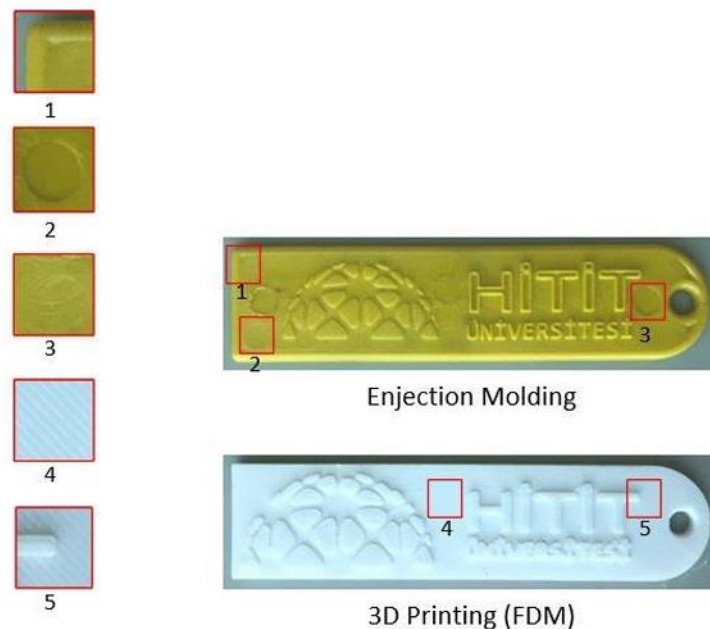


Figura 14 – Acabamento do mesmo produto em diferentes tecnologias (Özdilli, 2021).

3.3.1.8 Conclusão

A impressão por deposição de material fundido (FDM) continua a destacar-se como uma das alternativas mais económicas e flexíveis dentro do universo da manufatura aditiva. A sua simplicidade de operação e capacidade de adaptação fazem com que seja uma escolha sólida, sobretudo em contextos de prototipagem ou produção sob medida. Apesar das suas limitações, quando comparada a métodos como a moldagem por injeção, a FDM pode funcionar como um complemento estratégico, sobretudo em fases iniciais de desenvolvimento.

3.3.2 Estereolitografia (SLA)

3.3.2.1 Introdução

A estereolitografia (SLA) é uma das tecnologias pioneiras de fabricação aditiva, introduzida comercialmente por Charles Hull em 1986, após um primeiro protótipo desenvolvido por Hideo Kodama em 1981 (Schmidleithner & Kalaskar, 2018). A estereolitografia (SLA) é uma técnica de impressão 3D que utiliza radiação ultravioleta para endurecer seletivamente uma resina líquida sensível à luz, permitindo a formação de peças camada a camada. Esta tecnologia destaca-se pela elevada precisão e pela capacidade de fabricar geometrias complexas com grande detalhe. Graças à sua versatilidade e à qualidade das peças produzidas, tem vindo a ser amplamente aplicada em áreas como a engenharia biomédica, microfluídica, fabrico de sensores, atuadores flexíveis e componentes para armazenamento de energia (Huang et al., 2020).

3.3.2.2 Funcionamento

O sistema SLA é composto por uma cuba preenchida com resina líquida fotopolimerizável, uma plataforma de construção com movimento vertical, uma fonte de luz ultravioleta (geralmente um laser ou projetor) e um sistema de controlo computadorizado. O processo pode operar segundo duas configurações distintas: uma em que a luz incide de cima para baixo sobre a superfície da resina (*top-down*), e outra em que a exposição ocorre de baixo para cima, através de um fundo transparente da cuba (*bottom-up*). A cada camada solidificada, a plataforma é deslocada na vertical, permitindo a renovação da película de resina e a exposição da camada seguinte, repetindo-se o ciclo até à formação completa da peça (Schmidleithner & Kalaskar, 2018).

A Figura 15 apresenta um esquema ilustrativo do funcionamento da tecnologia SLA.

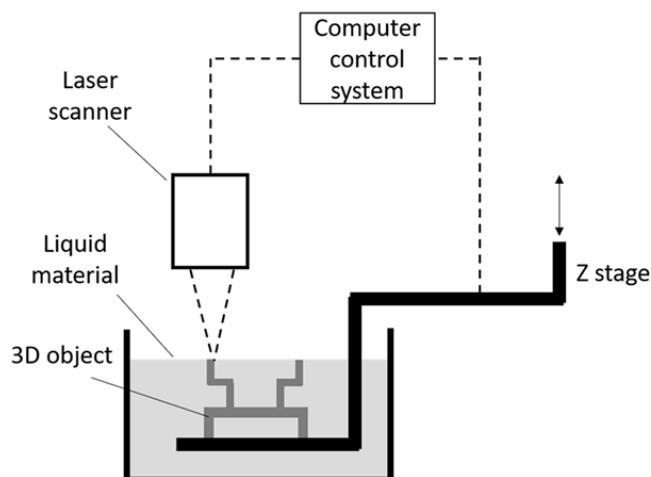


Figura 15 – Sistema SLA (Huang et al., 2020).

O princípio de funcionamento da estereolitografia baseia-se num processo de fotopolimerização, no qual a radiação ultravioleta desencadeia uma reação química que transforma uma resina líquida em sólido. Esta conversão ocorre através da formação de ligações cruzadas, sendo o processo altamente controlado e limitado às zonas expostas à luz, o que permite a construção da peça por camadas com elevado rigor geométrico (Huang et al., 2020).

O processo de estereolitografia tem início com a criação de um modelo tridimensional, que é convertido num ficheiro STL. Este ficheiro é então segmentado por um software de fatiamento, que gera cortes bidimensionais correspondentes às diferentes secções do objeto. Com base nessas informações, a peça é construída camada a camada por meio da exposição seletiva da resina à radiação ultravioleta (Huang et al., 2020).

3.3.2.3 Pós-Processamento

Após a impressão, as peças produzidas por estereolitografia (SLA) requerem uma etapa de pós-processamento para atingirem as suas propriedades finais. Esta fase inclui a remoção da resina não polimerizada, normalmente através de lavagem com solventes como o álcool isopropílico, seguida de uma cura complementar sob radiação ultravioleta (UV), que melhora as propriedades mecânicas do material. Em aplicações como a medicina dentária, os tempos de cura podem estender-se até 90 minutos para garantir a estabilidade dimensional e o desempenho da peça. (Kafle et al., 2021) De forma a simplificar este processo, têm vindo a ser desenvolvidas resinas laváveis com água, que dispensam o uso de solventes orgânicos.

3.3.2.4 Vantagens

- Elevada precisão dimensional e resolução de detalhe;
- Excelente qualidade superficial, com baixos valores de rugosidade;

- Capacidade de fabricar geometrias complexas com paredes finas e detalhes intrincados;
- Adequada para produção de protótipos funcionais (Kafle et al., 2021).

3.3.2.5 Desvantagens

- Velocidade de impressão inferior;
- Custo elevado das resinas e das próprias impressoras SLA de alta gama;
- Custos de manutenção elevados;
- Requer estruturas de suporte e pós-processamento cuidadoso (Maines et al., 2021);

3.3.2.6 Comparativo com Moldagem por Injeção

Como já referido a moldagem por injeção é amplamente utilizada na produção em série de peças plásticas, no entanto, o custo e a complexidade associados ao fabrico dos moldes tornam este processo pouco eficiente em contextos de pequenas tiragens ou durante fases de desenvolvimento. A tecnologia SLA surge como uma alternativa vantajosa nesses casos, permitindo fabricar diretamente peças com formas complexas, sem necessidade de moldes e com maior liberdade para ajustes no design. Para além disso, oferece um acabamento superficial superior: a rugosidade média nas peças produzidas por SLA é de cerca de $0,4 \mu\text{m}$, valor inferior ao registado nas peças provenientes de moldagem por injeção, que apresentaram uma rugosidade na ordem dos $1,059 \mu\text{m}$ (ÖZDİLLİ, 2021).

3.3.2.7 Conclusão

A estereolitografia tem vindo a afirmar-se como uma tecnologia de impressão 3D de elevado rigor dimensional, aliando boa qualidade superficial e grande diversidade de aplicações. As constantes melhorias nas suas variantes têm ampliado o leque de utilizações, tornando-a especialmente atrativa em projetos que exigem rapidez, personalização e menor dependência de moldes. Em certas situações, surge como uma alternativa competitiva à moldagem por injeção, sobretudo onde o custo inicial e o tempo de resposta são fatores críticos.

3.3.3 Sinterização Seletiva a Laser (SLS)

3.3.3.1 Introdução

A Sinterização Seletiva a Laser (SLS) é uma técnica de fabrico aditivo que recorre a um feixe de laser para irradiar seletivamente camadas de pó termoplástico, fundindo o material e formando peças tridimensionais com geometria complexa. Uma das

principais vantagens deste processo é o facto de não necessitar de estruturas de suporte adicionais, uma vez que o próprio pó não fundido sustenta a peça durante a construção. Além disso, a qualidade das peças obtidas por SLS depende de vários fatores, como a orientação durante a construção, a energia aplicada pelo laser e as propriedades do pó utilizado, já que estes elementos influenciam diretamente o comportamento mecânico e a precisão final das peças (Han et al., 2022).

3.3.3.2 Funcionamento

Durante o processo de Sinterização Seletiva por Laser (SLS), uma quantidade controlada de pó é inicialmente distribuída de forma uniforme sobre a plataforma de construção por meio de um rolo ou lâmina. O material é pré-aquecido a uma temperatura inferior ao seu ponto de fusão, o que favorece a absorção do laser. Com base nos dados do modelo CAD, o feixe de laser de alta potência varre a área correspondente à secção da peça, promovendo a fusão seletiva do pó. O processo decorre camada a camada, de acordo com as instruções enviadas ao sistema de controlo da máquina.(Natarajan et al., 2021).

A Figura 16 ilustra o ciclo de deposição e sinterização em camadas.

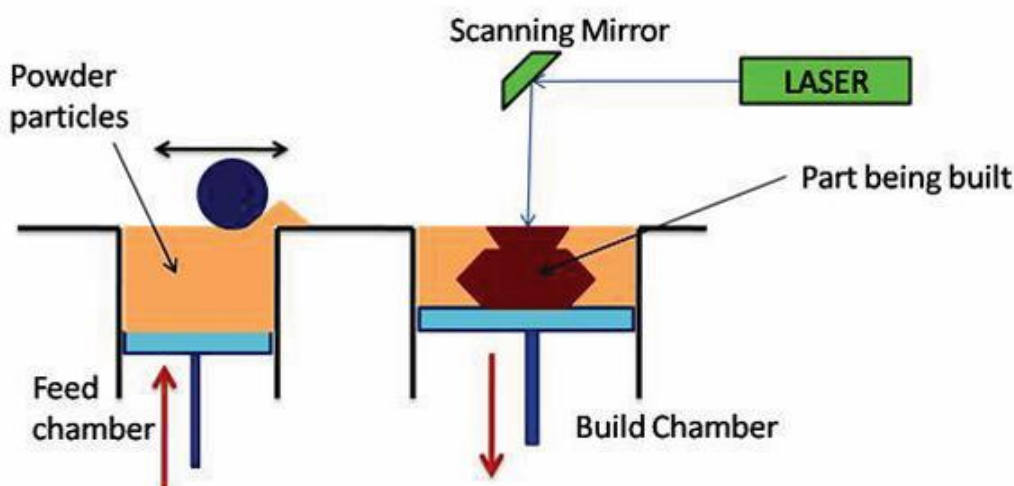


Figura 16 – Sistema SLS (Natarajan et al., 2021).

3.3.3.3 Parâmetros do Processo

A porosidade é um dos principais desafios na sinterização seletiva a laser, sendo influenciada por parâmetros como a potência e velocidade do laser, espessura da camada, distância entre trajetórias e temperatura do leito de pó. Também a forma, o tamanho e o estado do pó, especialmente quando reutilizado, têm impacto direto. Valores desajustados destes fatores podem originar falhas de fusão dentro da camada ou entre camadas consecutivas. Por isso, a sua correta definição é essencial para reduzir defeitos e melhorar a qualidade final das peças (Yehia et al., 2024).

A Figura 17 apresenta a interação entre os principais parâmetros operacionais e a qualidade do produto final.

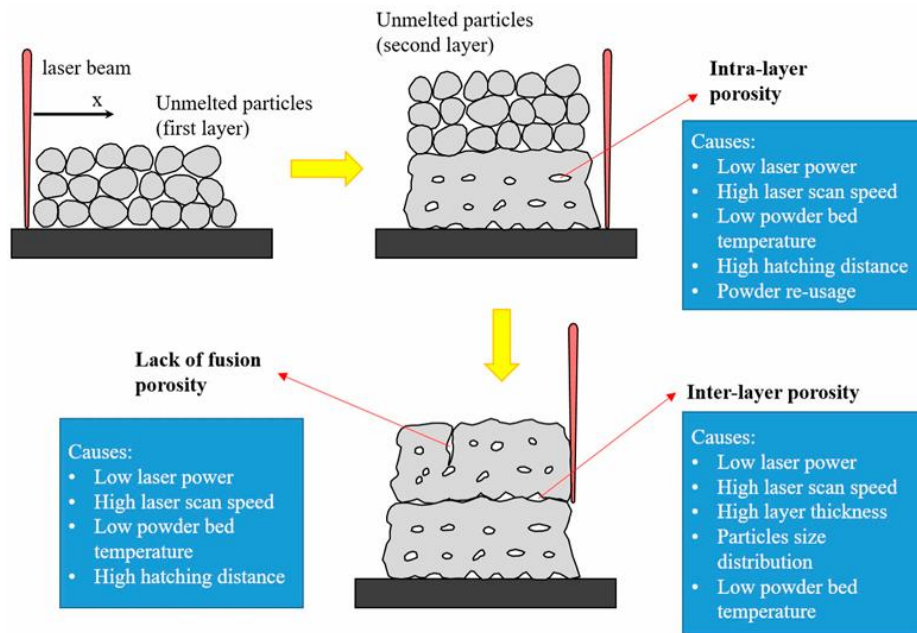


Figura 17 – Correlação entre parâmetros e qualidade do produto final (Yehia et al., 2024).

3.3.3.4 Materiais

Os materiais mais comuns no processo SLS polimérico são termoplásticos como PA12, PA11, PP e PC, destacando-se o PA12 pela sua elevada estabilidade térmica e excelente desempenho no processo. Os semi-cristalinos, como o PA12, permitem obter peças densas e com boas propriedades mecânicas, enquanto os amorfos, como o PS, apresentam menor retração, mas resultam em peças menos resistentes. A escolha do material é condicionada por fatores como a viscosidade de fusão, a capacidade de absorção da radiação e o comportamento térmico durante a sinterização (Han et al., 2022).

3.3.3.5 Vantagens

- Não requer estruturas de suporte, pois o pó não sinterizado atua como base;
- Elevada liberdade geométrica na fabricação de geometrias complexas;
- Capacidade de imprimir peças funcionais;

3.3.3.6 Limitações

- Acabamento superficial mais rugoso comparado a outras tecnologias;
- Possibilidade de deformações dimensionais devido a tensões térmicas acumuladas;

- Elevado tempo de impressão;

3.3.3.7 Comparativo com Moldagem por Injeção

A tecnologia SLS tem demonstrado um elevado potencial para substituir métodos convencionais como a moldagem por injeção em determinadas aplicações industriais. Isto deve-se, em grande parte, à capacidade de produzir peças com propriedades mecânicas e densidade próximas às obtidas por injeção, especialmente no caso de polímeros semi-cristalinos como o PA12. Essa proximidade torna o SLS uma solução viável para a produção de componentes finais em setores como o automóvel e o aeroespacial, onde anteriormente predominava a injeção devido à robustez exigida das peças. (Han et al., 2022).

3.3.3.8 Conclusão

A sinterização seletiva a laser (SLS) oferece uma solução técnica robusta para a produção de componentes com geometrias complexas, sem necessidade de suportes adicionais. Embora envolva investimentos mais elevados e exija cuidados no acabamento final, distingue-se pela boa resistência mecânica e pelo aproveitamento eficiente do material em pó. Estas características fazem do SLS uma das principais escolhas em aplicações funcionais onde se exige durabilidade e liberdade no design.

3.3.4 Síntese Comparativa entre FDM, SLA e SLS

As tecnologias de impressão 3D FDM (*Fused Deposition Modelling*), SLA (*Stereolithography*) e SLS (*Selective Laser Sintering*) representam três abordagens distintas amplamente utilizadas na manufatura aditiva de polímeros, diferenciando-se não só pelo estado físico da matéria-prima utilizada, mas também pelos mecanismos de construção das peças.

O FDM constitui um processo baseado na extrusão de filamento termoplástico, aquecido até um estado semi-sólido e depositado camada a camada através de um bico aquecido. Destaca-se pela simplicidade do equipamento e pela vasta gama de materiais disponíveis, como PLA, ABS ou PEEK. Os parâmetros críticos incluem a temperatura do bico, a altura de camada, a velocidade de extrusão e o ângulo de raster, sendo que a calibração correta da cama é essencial para evitar problemas de adesão e empenamento.

Já o SLA recorre à fotopolimerização de resinas líquidas sensíveis à luz UV, solidificando-as seletivamente através de um feixe de laser. A tecnologia permite obter peças com elevada resolução e acabamento superficial, sendo especialmente indicada para geometrias complexas e aplicações que exigem precisão dimensional. Os parâmetros relevantes incluem a energia de exposição, a espessura da camada e o pós-cura, sendo o comprimento de onda e a intensidade luminosa determinantes para a profundidade de cura e, conseqüentemente, para as propriedades mecânicas finais.

Por sua vez, o SLS utiliza pós poliméricos que são fundidos seletivamente por um laser de alta potência. Este método destaca-se pela possibilidade de fabricar peças sem suportes, uma vez que o próprio pó não fundido atua como estrutura de sustentação. O controlo preciso da densidade energética que é influenciada pela potência do laser, velocidade de varrimento, espaçamento entre trajetórias e temperatura de pré-aquecimento é fundamental para garantir a coagulação adequada das partículas e minimizar tensões térmicas acumuladas.

A Figura 18 do artigo resume graficamente os principais parâmetros do processo associados a cada uma destas tecnologias, destacando as diferenças fundamentais entre os métodos de extrusão, fotopolimerização e fusão por leito de pó. Esta representação facilita a comparação direta entre as técnicas quanto ao controlo de processo, exigências do material e impacto nos resultados. (Kafle et al., 2021).

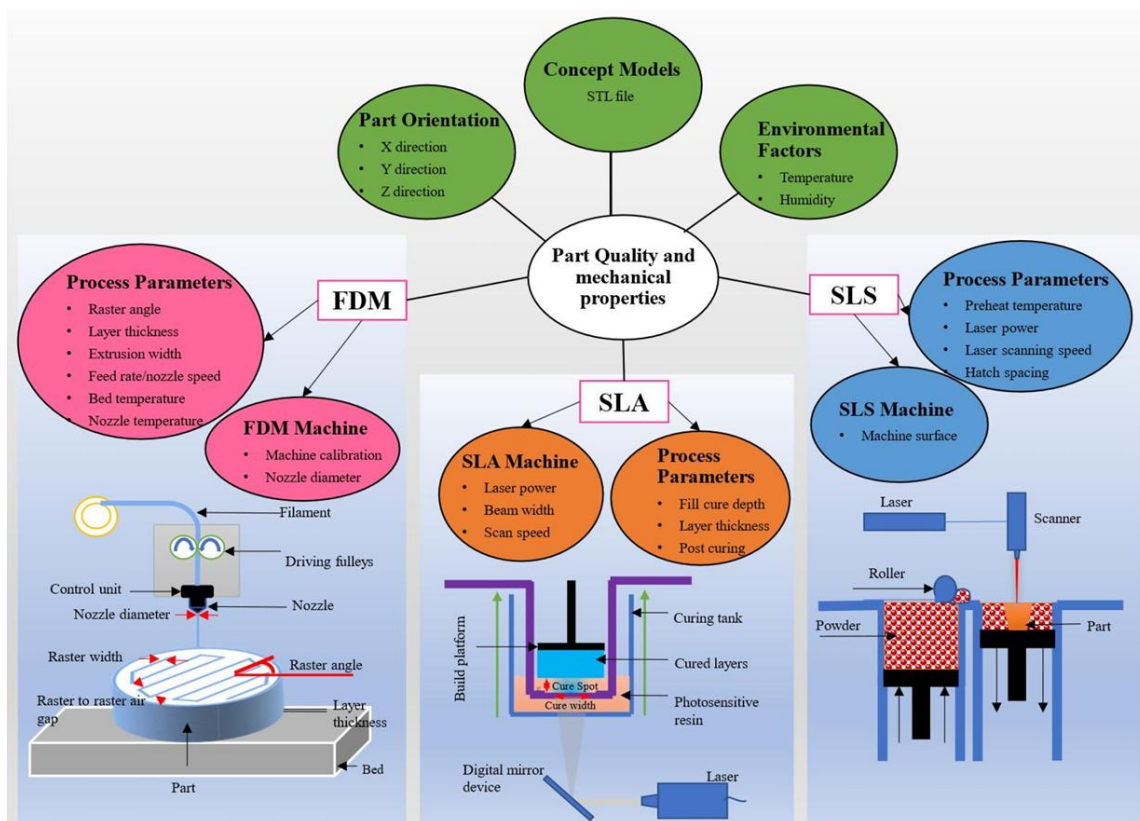


Figura 18 – Visão geral dos parâmetros de processo de três métodos de impressão diferentes: FDM (esquerda), SLS (direita) e SLA (meio). (Kafle et al., 2021).

3.4 Melhoria Contínua

A melhoria contínua é a ideia de que, ao longo do tempo, qualquer processo pode ser melhorado, ou seja, através de uma abordagem prática e sistemática de aperfeiçoamento gradual que se pode aplicar aos mais variados setores de uma organização ou empresa. Assim sendo, mais do que uma definição rígida, trata-se de

uma forma de pensar e atuar que tem como objetivo tornar os processos mais eficientes, sustentáveis e alinhados com as necessidades de produção.

Neste capítulo serão exploradas algumas metodologias associadas a esta lógica, nomeadamente o *Lean Manufacturing*, o *Kaizen*, o SMED e o 5S que foram selecionadas por estarem diretamente ligadas às atividades desenvolvidas ao longo do estágio, revelando-se essenciais para compreender o modo como se promove a eficiência e a organização no contexto produtivo.

3.4.1 *Lean Manufacturing*

Lean Manufacturing é uma filosofia de gestão que visa reduzir sistematicamente os desperdícios nos processos produtivos, sem comprometer a produtividade ou a qualidade. A origem remonta ao Sistema Toyota de Produção, onde se identificou a necessidade de produzir com o mínimo de recursos possível e maximizar o valor atribuído pelo cliente (Palange & Dhattrak, 2021).

Esta abordagem baseia-se em cinco princípios fundamentais: identificar o valor do ponto de vista do cliente (valor), mapear o fluxo de valor (cadeia de valor), criar fluxo contínuo (fluxo contínuo), estabelecer sistemas baseados na procura do cliente (sistema *pull*) e procurar a perfeição através da melhoria contínua (perfeição), princípios esses esquematizados na Figura 19 (Maia et al., 2011). Assim sendo, o foco está em eliminar atividades que não agregam valor, como inventário excessivo, transporte desnecessário, tempos de espera ou sobreprodução (Sundar et al., 2014).



Figura 19 – Princípios *Lean* (Maia et al., 2011).

Para aplicar os princípios do *Lean Manufacturing*, recorrem-se a diversas ferramentas que apoiam a análise e melhoria dos processos das quais se podem destacar, no contexto deste trabalho:

- O *SMED* que é utilizado para reduzir os tempos de *setup*, transformando atividades internas em externas e aumentando a flexibilidade produtiva (Palange & Dhattrak, 2021);
- A metodologia *5S* contribui para a organização e padronização do posto de trabalho, facilitando a eficiência (Palange & Dhattrak, 2021);
- O conceito *Kaizen* reforça o papel dos colaboradores na melhoria contínua, promovendo uma cultura de envolvimento e aperfeiçoamento progressivo (Gupta & Jain, 2013);

Embora os benefícios do *Lean Manufacturing* sejam amplamente reconhecidos, como a redução de custos, o aumento da qualidade e da eficiência, a sua implementação requer um planejamento cuidadoso e o alinhamento entre os vários níveis da organização. Quando aplicada com coerência e disciplina, esta filosofia contribui para a criação de sistemas produtivos mais competitivos e sustentáveis.

3.4.2 Ferramentas *Lean*

3.4.2.1 *Kaizen*

A filosofia de *Kaizen* está profundamente associada ao conceito de melhoria contínua, sendo uma abordagem de gestão que visa a eliminação sistemática de desperdícios e a otimização dos processos organizacionais sendo que o sucesso desta abordagem depende fortemente do envolvimento dos colaboradores, da liderança, da formação contínua e da motivação das equipas (Sundar et al., 2014).

Kaizen é uma filosofia japonesa que enfatiza precisamente essa melhoria contínua, resultado do esforço coletivo e do envolvimento dos colaboradores e se valorizam mesmo pequenas melhorias, com o objetivo de incentivar a sua repetição no futuro, num processo cumulativo de desenvolvimento (Palange & Dhattrak, 2021).

No contexto da produção, *Kaizen* é aplicado através da participação contínua de todos os níveis hierárquicos na identificação e eliminação de desperdícios em áreas como mão de obra, equipamentos e materiais. O termo *Kaizen* deriva da junção dos caracteres “Kai” (mudança) e “Zen” (para melhor), refletindo o princípio de melhorar continuamente com a participação de todos os membros da organização e a sua aplicação prática pela análise de dados, identificação de causas-raiz dos problemas, seleção da melhor solução possível e implementação estruturada. (Gupta & Jain, 2013).

A aplicação do *Kaizen* em ambientes industriais assenta frequentemente em três pilares fundamentais: organização, padronização e eliminação de desperdícios. Através da recolha de dados, análise de causas e escolha da melhor solução possível entre várias alternativas, é possível resolver problemas como incompatibilidades entre componentes, falhas de qualidade ou retrabalho excessivo. Esta abordagem,

quando bem conduzida, permite eliminar falhas recorrentes e reduzir significativamente os custos operacionais (Gupta & Jain, 2013).

3.4.2.2 SMED - Single Minute Exchange of Dies

A metodologia SMED, desenvolvida por Shigeo Shingo, tem como principal objetivo reduzir significativamente o tempo necessário para a troca de ferramentas ou ajustes entre diferentes ordens de produção. Para isso, propõe-se a distinção entre atividades internas, realizadas com o equipamento parado, e externas, que podem ocorrer com a máquina em funcionamento. A análise cuidadosa dessas atividades, por exemplo através do diagrama de Yamazumi, ilustrado na Figura 20, permite reorganizar o trabalho, padronizar procedimentos e introduzir melhorias que tornam possível converter tempos de setup longos em operações rápidas e eficientes (Sundar et al., 2014).

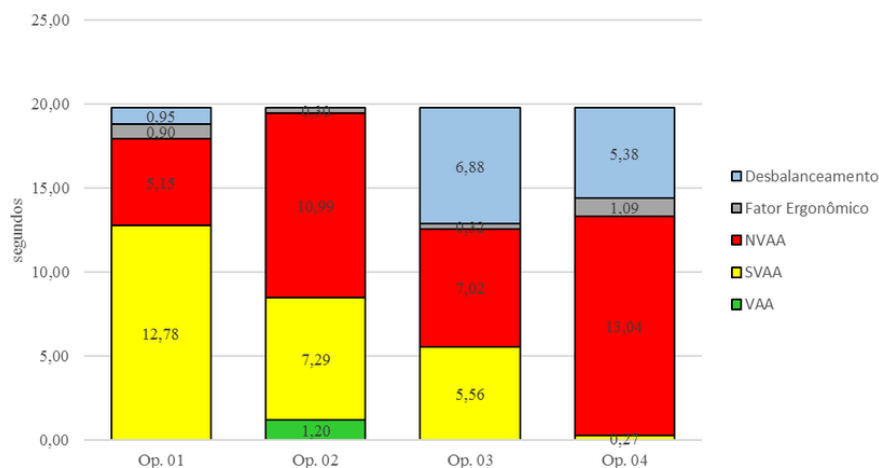


Figura 20 – Exemplo de um diagrama Yamazumi (Heitor De Andrade et al., 2016)

Esta técnica é particularmente útil em ambientes de produção por lotes, onde a frequência de trocas de produto é elevada. A sua aplicação passa por transformar atividades internas em externas sempre que possível, bem como simplificar os passos restantes, permitindo uma troca de produto mais rápida e com menor impacto na produção. Com isto, é possível melhorar a flexibilidade do sistema produtivo e reduzir tempos improdutivos (Palange & Dhattrak, 2021).

Ao longo dos anos, o SMED tem sido incorporado em programas de melhoria contínua, como o TPM (*Total Productive Maintenance*), sendo reconhecido como uma ferramenta eficaz para eliminar desperdícios e apoiar práticas de produção *lean*. A sua implementação não exige grandes investimentos, mas sim uma análise rigorosa dos métodos de trabalho, o que pode incluir o redesenho de tarefas, a eliminação de perdas e a utilização mais eficiente dos recursos disponíveis (Hasabe et al., 2008).

O processo de aplicação do SMED passa por várias etapas, como o levantamento do fluxo de produção, a medição dos tempos de ciclo, a identificação de atividades que não acrescentam valor e a aplicação de ferramentas *lean* para eliminar ou

minimizar essas atividades. O método SMED revela-se uma ferramenta valiosa para aumentar a produtividade e a eficiência dos processos industriais. Através da análise detalhada do fluxo produtivo, é possível identificar as atividades que não acrescentam valor, reduzir desperdícios e aliviar pontos de estrangulamento na linha. Estes ganhos contribuem não só para melhorar a resposta às necessidades do mercado, como também para otimizar os recursos disponíveis e assegurar maior fluidez no planejamento das operações. O objetivo final é criar um cenário futuro mais eficiente e compará-lo com o estado atual, de forma a quantificar os ganhos alcançados (Hasabe et al., 2008).

3.4.2.3 5S

A metodologia 5S foi desenvolvida por Takashi Osada durante a década de 1980 com o objetivo de estabelecer ambientes de trabalho mais organizados, seguros e eficientes. Baseia-se em cinco princípios japoneses: *Seiri* (organizar), *Seiton* (ordenar), *Seiso* (limpar), *Seiketsu* (padronizar) e *Shitsuke* (disciplinar). Para além da sua função prática, o 5S promove o orgulho pessoal, o respeito mútuo e o trabalho em equipa, contribuindo para a resolução de problemas organizacionais e para a criação de uma cultura coletiva de melhoria contínua (Singh Randhawa & Singh Ahuja, 2017).

Aplicado corretamente, o 5S contribui para um ambiente de trabalho mais produtivo e seguro. Eliminar o que não é necessário, organizar os itens essenciais, manter a limpeza, padronizar as boas práticas e garantir a sua sustentabilidade são passos fundamentais para alcançar melhorias visíveis na eficiência operacional. Esta abordagem permite reduzir desperdícios e identificar pontos de melhoria através de ferramentas complementares, como o mapeamento do fluxo de valor ou o balanceamento de linha (Palange & Dhattrak, 2021).

A aplicação do 5S em contexto industrial tem demonstrado resultados positivos, nomeadamente ao nível da redução de tempos de produção, aumento da qualidade e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Um exemplo disso é o caso relatado numa empresa taiwanesa do setor automóvel, onde a implementação do 5S resultou em melhorias na organização do espaço, segurança e manutenção preventiva. Além disso, problemas como tempos de ciclo elevados, baixa qualidade e ineficiência foram mitigados através desta abordagem (Gupta & Jain, 2013).

4 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

4.1 Planeamento da Produção

Uma das principais atividades desenvolvidas durante o estágio foi o planeamento diário da produção na área da injeção de plásticos, uma tarefa crítica para o correto funcionamento da unidade produtiva. A inclusão desta secção tem como objetivo evidenciar a forma como o conhecimento dos processos de injeção e das suas variantes operacionais se reflete diretamente nas decisões de planeamento, reforçando a relação entre os conceitos operacionais e a aplicação prática no contexto industrial da EFAPEL.

4.1.1 Enquadramento

O processo de planeamento inicia-se com a emissão das Ordens de Produção (OPs) por parte da equipa de programação, com base numa listagem das necessidades de fabrico e após uma análise que tem em conta diferentes critérios, entre os quais os níveis de stock de encomenda, de segurança e máximos. Estes níveis são definidos pela política de stocks da empresa, permitem evitar ruturas e garantir resposta eficiente a variações de procura, assegurando o equilíbrio financeiro e a otimização dos recursos disponíveis. Após essa análise, a programação emite as ordens de produção diariamente com uma visão a 7 dias, tendo sempre em consideração as disponibilidades de ferramenta e de máquina, bem como outras variantes técnicas que condicionam a execução da produção. Este processo é desenvolvido numa estreita articulação com o responsável de injeção e, quando necessário, com outras áreas produtivas como estampagem, montagem ou pintura reforçando a necessidade de interação entre os setores da empresa, assegurando a fluidez do planeamento e o cumprimento das metas operacionais.

A Figura 21 ilustra o software interno de apoio ao planeamento utilizado durante o estágio, através do qual são colocadas as ordens de produção emitidas pela programação que se encontram na parte inferior da imagem e sequenciadas por máquina (lado esquerdo da imagem), necessidade e conveniência de produção como se pode verificar pelo alinhamento onde estão a vermelho as ordens já finalizadas, a verde as que se encontram a decorrer e a azul as que se encontram em espera. A conveniência de produção referida será aprofundada no subcapítulo que se segue.

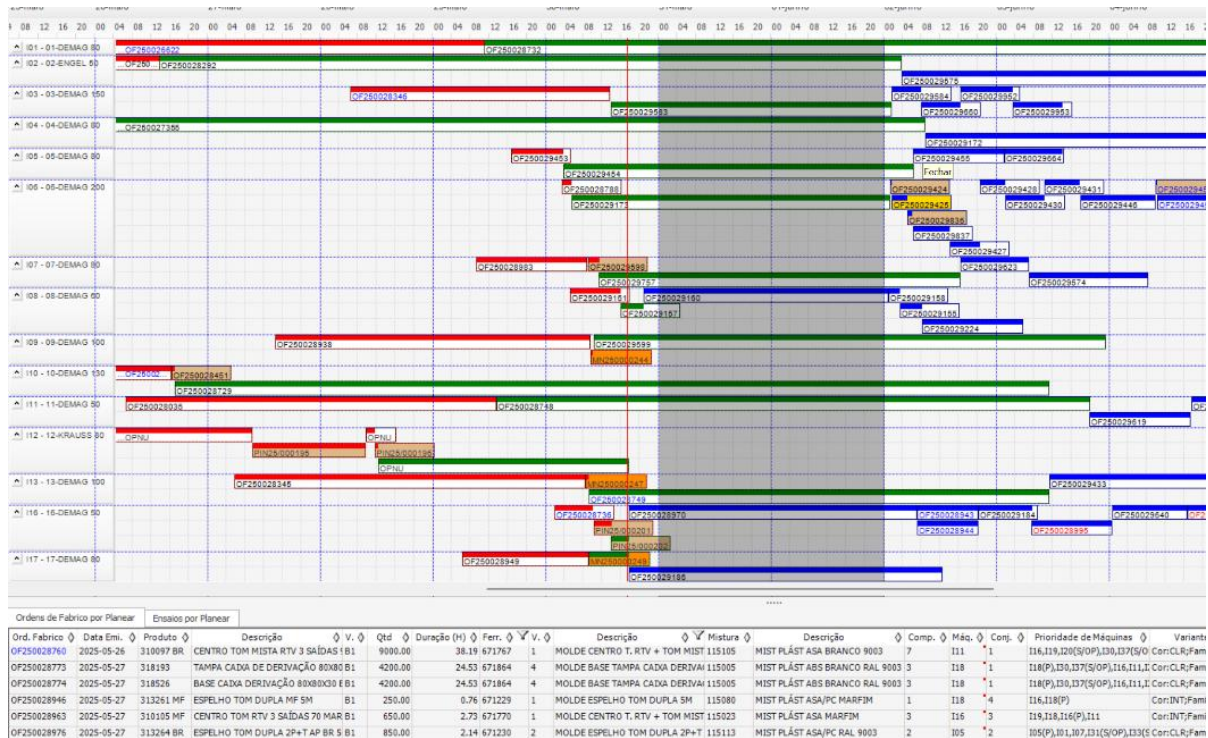


Figura 21 – Interface do planeamento da produção no software interno da empresa

4.1.2 Integração do Planeamento da Produção com o Processo Produtivo

Para assegurar a eficácia do planeamento da produção, tal como apresentado anteriormente, é imprescindível um conhecimento sólido sobre os processos produtivos. No contexto da injeção de plásticos, a compreensão detalhada das operações técnicas e variáveis envolvidas revela-se essencial para antecipar possíveis limitações, otimizar a gestão de recursos e garantir a execução eficaz das ordens de produção. Assim, justifica-se a abordagem descritiva de algumas fases do processo produtivo associado à injeção de plásticos, dado que o seu desempenho influencia diretamente a tomada de decisões estratégicas e a organização das atividades no planeamento.

4.1.2.1 Verificação da ordem de produção e preparação da mistura plástica

O arranque do processo de injeção inicia-se com a verificação da ordem de produção. Este procedimento é conduzido pelo responsável de manutenção das máquinas de injeção, que assegura a disponibilização e preparação do molde, que autoriza a emissão da ordem de produção (OP). Em seguida, dá-se início à preparação da mistura plástica que será posteriormente encaminhada para as máquinas responsáveis pela produção.

Como ilustrado na Figura 22, o material armazenado nos contentores é transportado por sucção até ao silo de estufagem, recorrendo-se a um doseador que regula as proporções dos vários constituintes da mistura. Após o processo de estufagem, o

material acumulado no silo é distribuído automaticamente pelas diferentes máquinas de injeção, com recurso à mesa distribuidora.

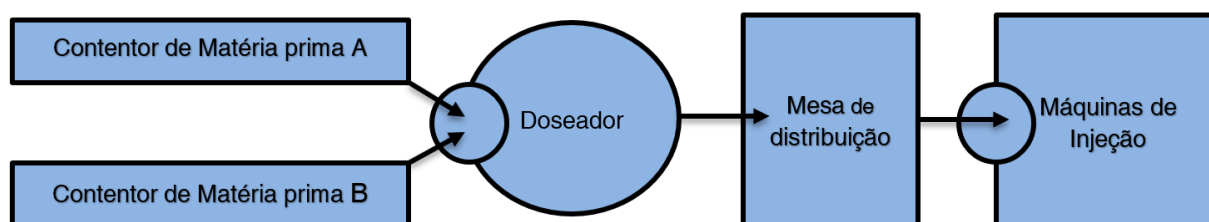


Figura 22 – Sistema automático de alimentação de matérias-primas para a injeção.

4.1.2.2 Execução de *setup*

Concluída a preparação da mistura plástica, e uma vez que esta se encontra disponível para alimentação das máquinas, procede-se à fase de *setup*. Esta representa uma etapa crítica no processo de injeção e está metodologicamente dividida em duas fases distintas: o *setup* externo e o *setup* interno. De seguida são detalhadas as operações que caracterizam cada uma dessas fases.

1. Tarefas de *setup* externo

Nesta fase, uma das primeiras ações consiste na preparação do molde necessário para a OP que se segue, o que inclui a limpeza do molde, uma operação imprescindível para evitar contaminações provenientes de resíduos de matéria-prima retida das ordens anteriores nas cavidades do molde. O propósito principal desta tarefa é assegurar que o molde se encontra nas condições ideais antes de se avançar para o *setup* interno.

Outra operação fundamental nesta fase é a organização prévia de todas as ferramentas que serão utilizadas durante a substituição do molde na máquina. Para tal, é disponibilizado um carro SMED (Figura 23) posicionado junto à máquina de injeção, contendo o molde a utilizar e as ferramentas necessárias à sua montagem. Também devem ser colocados nas imediações da máquina o comando da ponte rolante, os materiais de limpeza, a ficha técnica do molde e os seus acessórios, de forma a estarem acessíveis no momento da sua aplicação. Estas atividades são normalmente executadas por um único operador.

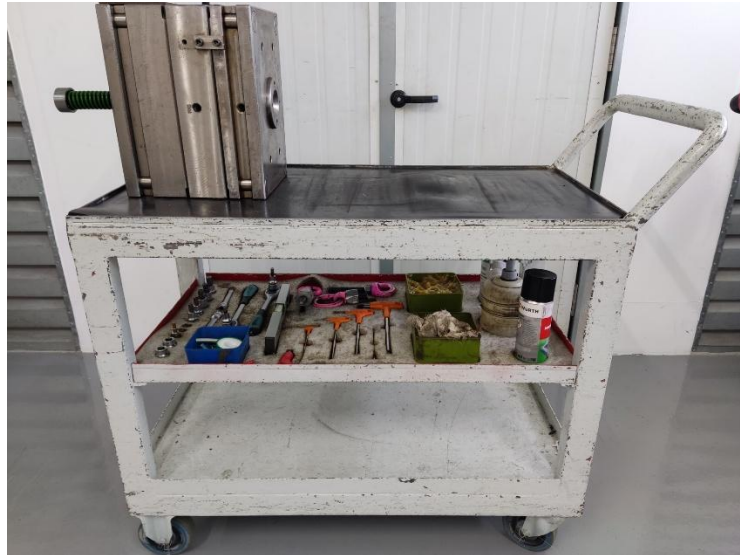


Figura 23 – Carro SMED

Além disso, a limpeza da tremonha e a ligação da tubagem ao novo material são procedimentos que podem ser realizados imediatamente antes do início do *setup* interno, ainda com a máquina em funcionamento, sendo em algumas situações executados simultaneamente.

2. Tarefas de *setup* interno

O *setup* interno corresponde ao período em que é efetuada a troca do molde diretamente na máquina de injeção. Este intervalo temporal compreende desde a produção da última peça conforme da ordem anterior até à obtenção da primeira peça aceitável da nova ordem.

Este procedimento divide-se em três fases distintas, com tarefas específicas:

1. Desmontagem, que consiste na remoção do molde anterior da máquina;
2. Montagem, referente à instalação do novo molde;
3. Ajustagem, fase na qual são ajustados os parâmetros operacionais da máquina para garantir conformidade com as especificações da nova peça.

A Figura 24 representa graficamente estas três etapas, utilizando como exemplo dois conjuntos de produção distintos, designados por peça X (anterior à troca) e peça Y (subsequente à troca).

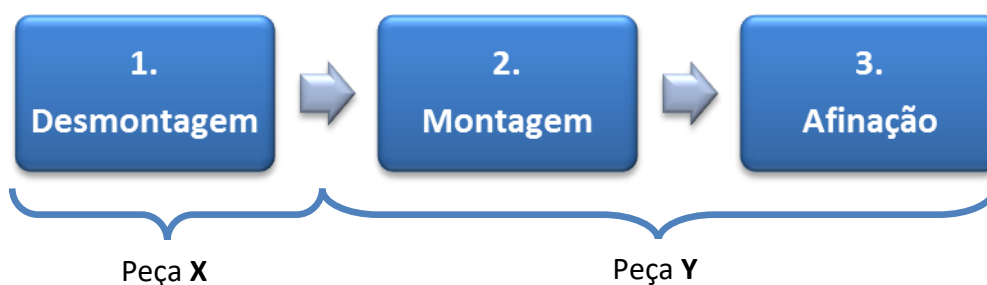


Figura 24 – Esquema representativo das fases de uma mudança de ferramenta

Habitualmente, o *setup* interno é realizado por três operadores. O primeiro, denominado *Gemba Líder* (GL), assume as principais responsabilidades relacionadas com a desmontagem, montagem e afinação, operando sempre do lado dos comandos da máquina. O segundo operador presta apoio nas operações de desmontagem e montagem, do lado oposto ao painel de controlo. Quando a máquina está equipada com robô para a extração das peças moldadas, o terceiro operador é encarregue da substituição da cabeça do robô e da execução de outras tarefas complementares que possam surgir durante o processo.

4.1.2.3 Determinantes do tempo de *setup*

O tempo necessário para a realização de um *setup* pode variar significativamente, uma vez que está condicionado por diversos fatores operacionais e técnicos.

Um dos elementos mais relevantes é a tonelagem da máquina, que influencia diretamente o tempo necessário para montagem e desmontagem, sendo também indicativo do tamanho do molde que será utilizado. Por este motivo, as máquinas são frequentemente categorizadas consoante a sua dimensão:

- Pequenas: M50 e M60
- Médias: M80, M100 e M120
- Grandes: M130, M150 e M200

De forma geral, verifica-se um aumento do tempo de *setup* à medida que cresce a dimensão da máquina, tanto pelo porte físico do equipamento quanto pela complexidade associada ao manuseamento de moldes maiores. Quando ocorre uma alteração significativa no tamanho do molde, pode ser necessário ajustar as garras que o fixam à máquina. Em determinados casos, o molde pode necessitar de ser colocado com inclinação, sobretudo quando o formato da peça assim o exige. Esta inclinação visa evitar impactos com as colunas da máquina e garantir a correta extração da peça, minimizando eventuais defeitos visuais ou estruturais.

A purga, por sua vez, é uma operação destinada a eliminar resíduos da matéria-prima anteriormente utilizada, prevenindo a contaminação da nova produção. Esta operação pode ocorrer durante a desmontagem, quando a transição entre materiais

implica uma descida significativa de temperatura, embora essa necessidade seja rara nesta fase inicial.

Mais frequentemente, a purga é realizada na fase de afinação, especialmente quando há alteração de cor ou de tipo de material. A duração desta tarefa depende da facilidade de substituição e do grau de contaminação do material anterior. Há casos em que é necessário utilizar material de limpeza para facilitar esta transição.

Quando se verifica uma alteração da cor, as ações específicas são definidas conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Influência da mudança de cor na purga.

Mudança	Ação
Cor clara -> Cor escura	Purga câmara até aparecer nova cor
Cor escura -> Cor clara	Purga câmara com material de limpeza e coloca nova cor.

Nos moldes com canais quentes, é habitual a necessidade de realizar ajustes adicionais, como o aumento da temperatura desses canais e a elevação da velocidade de injeção, até que se elimine qualquer vestígio da cor anterior. Após esta fase, os parâmetros devem ser restabelecidos aos valores normais de operação.

Outro aspeto que influencia o *setup* está relacionado com a natureza da peça a ser produzida. As peças podem ser classificadas como interiores ou exteriores, conforme exemplificado na Figura 25.

As peças interiores, devido à sua maior complexidade geométrica, exigem maior cuidado nos ajustes de afinação. Contudo, alterações de cor são geralmente menos críticas, dado que essas peças não são visíveis no produto final.

Pelo contrário, nas peças exteriores, o fator estético assume maior relevância, pelo que a mudança de cor deve ser feita com elevado rigor. É fundamental garantir que não subsistem traços da cor anterior que possam comprometer a aparência do produto acabado.

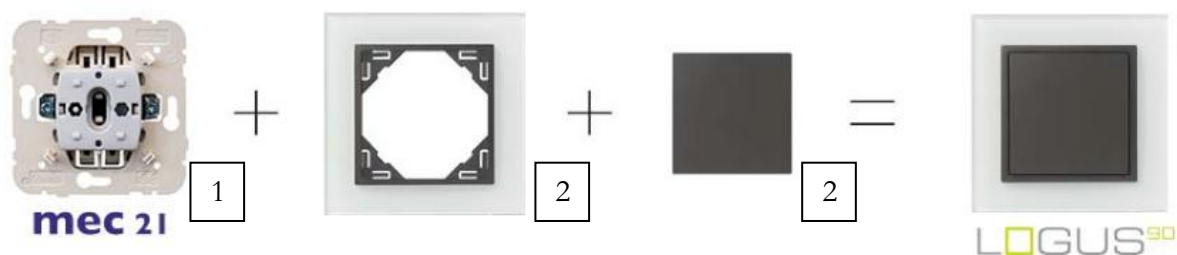


Figura 25 – Exemplo de peças interiores (1) e exteriores (2). (EFAPEL, n.d.-a)

Existem ainda outros elementos que podem influenciar o tempo de *setup*. Entre eles, destacam-se:

- A necessidade de substituição do bico de injeção, que pode variar conforme o tipo de molde;
- A presença de rotatividade na máquina, o que implica tempos adicionais de ajuste;
- A eventual mudança de câmara de injeção, especialmente no caso da injeção de PVC.

4.1.3 Principais condicionantes do Planeamento

Como referido nos subcapítulos anteriores o planeamento da produção na área da injeção de plásticos representa uma tarefa estratégica de elevada complexidade, uma vez que envolve não só a gestão sequencial das ordens de produção (OP), mas também a antecipação e articulação de uma série de variáveis técnicas e operacionais que impactam diretamente a eficiência do processo produtivo. Neste contexto, o sucesso do planeamento depende fortemente da capacidade de prever as variantes associadas aos *setups* das máquinas e às características dos produtos a fabricar.

Um dos primeiros elementos a considerar, como já referido, é a verificação da disponibilidade de moldes e da mistura plástica, o que implica a coordenação com os responsáveis da manutenção e matérias-primas. O processo de alimentação de matérias-primas impõe restrições específicas, por exemplo, cada silo alimenta uma quantidade de máquinas específica dependendo da sua capacidade e os tempos de estufagem condicionam a simultaneidade e a ordem de arranque das OPs. Assim sendo, deve-se garantir que a sequência das ordens respeita as limitações do sistema de alimentação e não gera bloqueios no fornecimento de material.

Outro aspeto crítico é a execução do *setup* que, apesar de tecnicamente operacional, tem consequências diretas no planeamento uma vez que a distinção entre tarefas de *setup* externo e interno, obriga à organização rigorosa dos recursos (humanos e técnicos) com antecedência. A calendarização das OP deve, portanto, assegurar que moldes, ferramentas, materiais de limpeza, comandos da ponte rolante e operadores estejam todos disponíveis no momento certo, evitando tempos mortos e sobreposição de tarefas. As variantes que influenciam o tempo de *setup* são de particular importância no momento da definição da sequência de produção. Estas incluem:

- Tamanho da máquina e do molde: Máquinas maiores e moldes de maior porte exigem *setups* mais longos e eventualmente mais operadores, por isso, no planeamento, deve-se evitar agendar mudanças entre máquinas com grandes diferenças de tamanho de molde consecutivamente, de forma a suavizar a carga operacional.
- Mudanças de matéria-prima ou de cor: Estas alterações implicam a realização de purgas, ajustes de temperatura e, por vezes, substituição de componentes como câmaras de injeção, então devem ser evitadas mudanças frequentes e

intercaladas de materiais e cores entre ordens consecutivas. Idealmente, deve-se agrupar OP com matérias-primas ou cores semelhantes para minimizar tempos de transição.

- Tipo de peça (interior vs. exterior): As peças exteriores exigem maior controlo visual, o que prolonga a afinação após o *setup*, sobretudo em casos de mudança de cor. Assim, a produção destas peças deve ser planeada em períodos com maior disponibilidade de tempo ou recursos.
- Operações adicionais: A necessidade de substituição de bicos de injeção ou a existência de máquinas rotativas introduz operações específicas que aumentam o tempo de *setup*. A presença destas variáveis deve ser previamente identificada e refletida no tempo reservado no plano de produção.

Estas condicionantes exigem que o planeamento da produção vá além da simples distribuição de ordens pelas máquinas disponíveis, é essencial que a sequência produtiva seja organizada de forma otimizada, tendo em conta as especificidades dos produtos e dos equipamentos, bem como a previsão realista dos tempos de preparação e *setup*. Além disso, é fundamental assegurar que os recursos críticos se encontrem disponíveis no momento necessário.

Desta forma, o planeamento assume um carácter dinâmico, que requer atualizações constantes em função das condições operacionais e depende de uma articulação eficaz entre as equipas de produção.

4.2 Melhoria Contínua

4.2.1 Exceções na Emissão de Ordens de Produção

No contexto descrito na secção anterior, foi desenvolvido um conjunto de ficheiros em Excel com o objetivo de sistematizar e controlar exceções críticas no processo de emissão de Ordens de Produção. Estas exceções referem-se a requisitos técnicos ou operacionais que, se ignorados, podem comprometer a eficiência do processo produtivo ou a qualidade do produto final.

1. Produção com materiais em PVC – Máquina 2

Uma das exceções mais relevantes diz respeito à produção com materiais em PVC, uma vez que, devido às suas propriedades, este material exige a substituição da câmara de injeção na máquina enunciada, o que implica tempos de *setup* adicionais. Para evitar trocas frequentes, foram identificadas 49 peças produzidas na Máquina 2 que utilizam PVC, permitindo a emissão conjunta de OPs e assegurando uma sequência de produção mais racional.

2. Aplicação de IMD – Máquina 13

Outra exceção abrange as peças que requerem aplicação de IMD (*In-Mold Decoration*), uma operação que exige a montagem de um acessório específico na Máquina 13.

Dado que este equipamento é o único capaz de realizar esta operação, mais uma vez, foram identificadas 11 peças que resultam em 150 códigos diferentes o que permitiu agrupar as ordens de modo a reduzir paragens e evitar sucessivas montagens e desmontagens do acessório.

3. Produção de Caixas de chão – Máquina 22

As caixas de chão representam outro caso particular, uma vez que são produzidas com misturas de materiais e em tonalidades escuras, características que aumentam o risco de contaminação de material e exigem um maior rigor na transição entre séries produtivas. Foi então criado um ficheiro que permitiu identificar os 14 códigos nestas condições o que permite a emissão em bloco das Ops garantindo maior segurança na troca de materiais.

4. Moldes com diferente Bico de injeção

Por fim, foi também identificada a existência de moldes que, pelas suas características, funcionam apenas com um tipo específico de bico injetor de maior dimensão e a troca deste componente implica operações que consomem tempo e afeta a disponibilidade da máquina. Para contornar essa limitação, foram agrupadas as 8 referências cujos moldes requerem o bico grande, possibilitando a emissão conjunta das OPs sempre que viável e reduzindo significativamente as trocas do bico injetor.

Estes ficheiros de exceções constituem ferramentas de apoio à decisão fundamentais no processo de planeamento, contribuindo para:

- Redução de *setups* e intervenções técnicas;
- Minimização de riscos de contaminação de material;
- Maior eficiência na organização e emissão de ordens;
- Normalização e visualização clara das exceções operacionais.

Esta aplicação prática traduz-se na implementação concreta de princípios do *Lean Manufacturing*, com especial destaque para a eliminação de desperdícios e a uniformização dos processos que resulta numa gestão do planeamento mais visual, estruturada e eficiente.

4.2.2 Implementação de Auxiliares Visuais

Entre as atividades realizadas no setor de injeção destacou-se o desenvolvimento e implementação de auxiliares visuais destinados a apoiar os operadores na deteção precoce e sistematizada de defeitos em peças críticas. Esta medida teve como principal objetivo minimizar a variabilidade na inspeção visual e garantir uma atuação mais eficiente evitando não conformidades recorrentes que possam afetar o desempenho funcional ou estético das peças, tanto durante o processo produtivo como nas etapas seguintes de montagem.

Os auxiliares visuais foram especialmente úteis em situações onde se verificavam:

- Defeitos persistentes em determinadas peças;
- Zonas críticas de encaixe que exigiam uma atenção especial por parte do operador;
- Anomalias detetadas pela equipa da Qualidade, relacionadas com propriedades estéticas (como alterações na cor ou no brilho) ou mecânicas (como peças quebradiças, empenadas ou com deformações).

Como exemplo, apresenta-se na Figura 26 um exemplo de um Auxiliar Visual, no qual se identificam os principais tipos de defeitos a controlar:

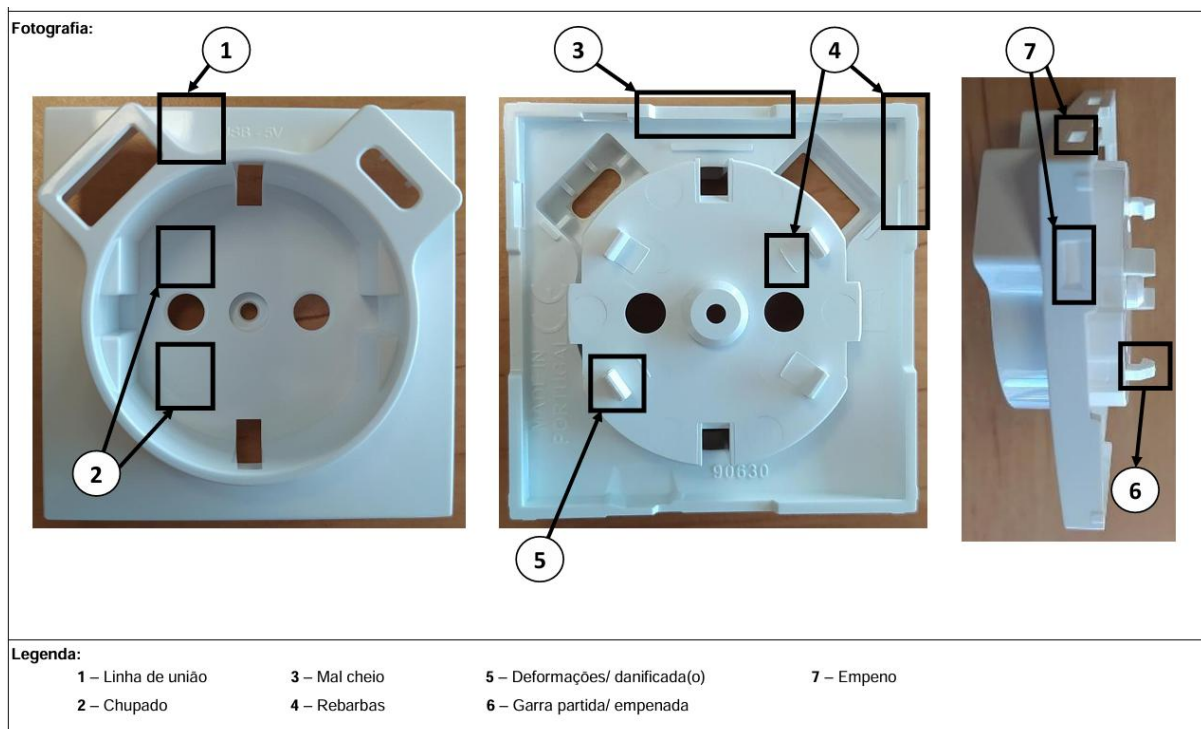


Figura 26 – Exemplo de um Auxiliar Visual de uma peça.

A elaboração deste tipo de suporte permitiu uniformizar critérios de aceitação e rejeição, reduzindo dúvidas no momento da inspeção e facilitando a formação de novos operadores. Além disso, serviu também como instrumento complementar às instruções de trabalho, contribuindo para a melhoria contínua da qualidade e para a diminuição do retrabalho e desperdício no setor.

A criação destes auxiliares visuais enquadra-se numa lógica de gestão visual, promovendo a clareza da informação nos postos de trabalho e alinhando-se também com os princípios do *Lean Manufacturing*.

Foram desenvolvidos ainda suportes visuais específicos para o processo de embalamento de produto acabado, com o intuito de padronizar tanto a quantidade de caixas por embalagem como a forma correta da sua disposição. Esta padronização revelou-se fundamental para melhorar a organização do processo, permitindo uma utilização mais eficiente do espaço nas embalagens e prevenindo erros anteriormente

comuns, como embalagens com número incorreto de caixas. Tais falhas dificultavam a tarefa dos operadores e comprometiam a exatidão das contagens efetuadas pelo armazém. Com a introdução destes auxiliares, aumentou-se a consistência do processo logístico e reforçou-se a adesão a práticas de controlo de qualidade e gestão visual.

4.2.3 Aplicação dos Princípios EFAPEL na Área de Injeção

No âmbito da prática desenvolvida durante o estágio, foi possível participar ativamente na monitorização e execução dos, já mencionados e denominados “Princípios EFAPEL”, um conjunto estruturado de diretrizes cujo objetivo é assegurar o cumprimento dos modos de proceder estabelecidos pela empresa e das condições de trabalho bem como promover a melhoria contínua dos processos.

Esta atividade, de carácter mensal, visa verificar se os padrões de organização, limpeza e modos de proceder estão a ser respeitados e os seus resultados eram documentados num ficheiro próprio (Figura 27), estruturado com base na lógica de "Antes e Depois". Sempre que se identificavam inconformidades relativamente aos princípios da empresa, estas eram registadas no campo "Antes", sendo posteriormente acompanhadas pela respetiva correção no campo "Depois" e, quando não existiam falhas, o espaço era preenchido diretamente com o estado de conformidade observado. No campo "Ganhos Observados", eram descritos os princípios observados e, no caso das melhorias trimestrais (descritas adiante), eram registadas a intervenção implementada e os ganhos associados. Após a sua conclusão, o documento era afixado no quadro setorial, permitindo a sua discussão e análise por parte das equipas, promovendo o envolvimento coletivo e a partilha de boas práticas.

Para além da simples verificação de conformidade, os Princípios EFAPEL desempenham igualmente uma função preventiva e corretiva, servindo como ferramenta de controlo face a problemas crónicos que impactam o desempenho produtivo. A sua aplicação consistente permite detetar desvios recorrentes e intervir nas causas, contribuindo para o reforço de uma cultura assente no rigor, na responsabilidade e na melhoria contínua.

Antes e Depois

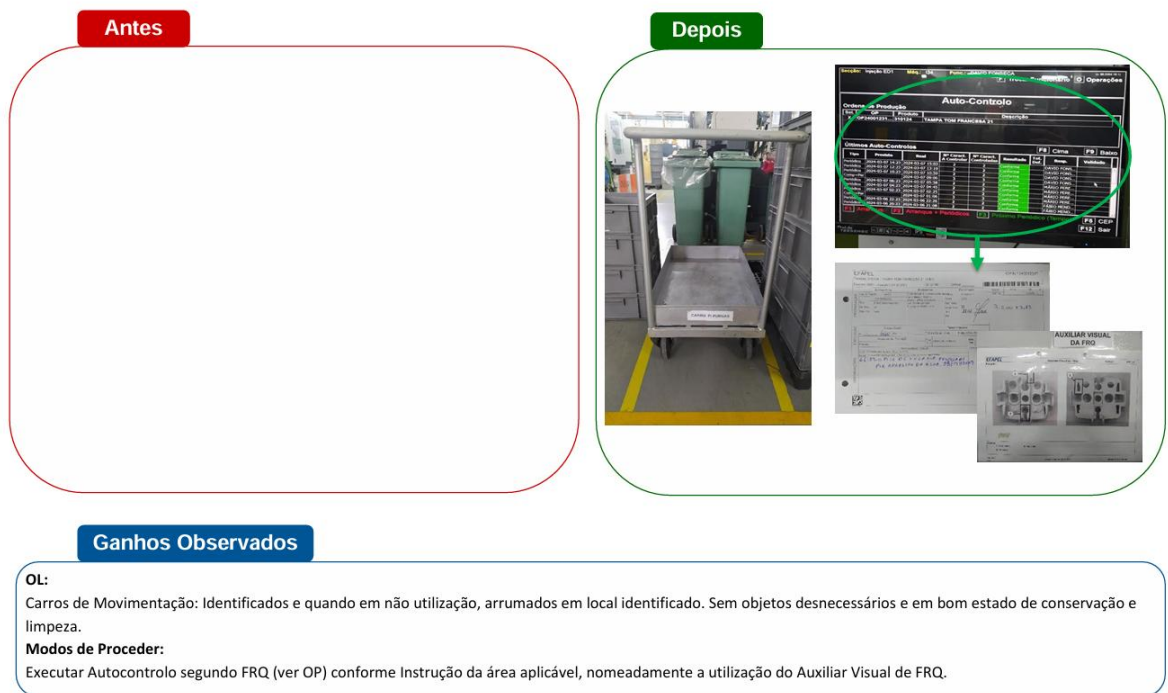


Figura 27 – Layout do documento dos Princípios EFAPEL

Uma das componentes mais relevantes destes princípios é a obrigatoriedade de implementação de já referidas melhorias trimestrais na área de injeção. Estas melhorias, inicialmente definidas por equipa, muitas vezes acabavam por ser resultado de um esforço conjunto entre os vários elementos, refletindo o espírito colaborativo promovido pela empresa. As ações de melhoria tinham como objetivo a otimização de um aspeto específico do processo ou do ambiente de trabalho, devendo ser documentadas e acompanhadas de indicadores que demonstrassem os ganhos obtidos, tanto em termos qualitativos como quantitativos. Entre os exemplos de melhorias realizadas, destaca-se:

- Otimização da zona de resíduos da injeção (Figura 28), com a substituição dos tradicionais carros de resíduos de papel e cartão por *big-bags* reutilizados. Esta medida permitiu simplificar o transporte e esvaziamento de resíduos, reduzir o esforço físico dos operadores e poupar cerca de 15 minutos diários no processo. A alteração eliminou também a necessidade de manuseamento manual dos resíduos, aumentando a ergonomia e eficiência do posto.

Antes e Depois

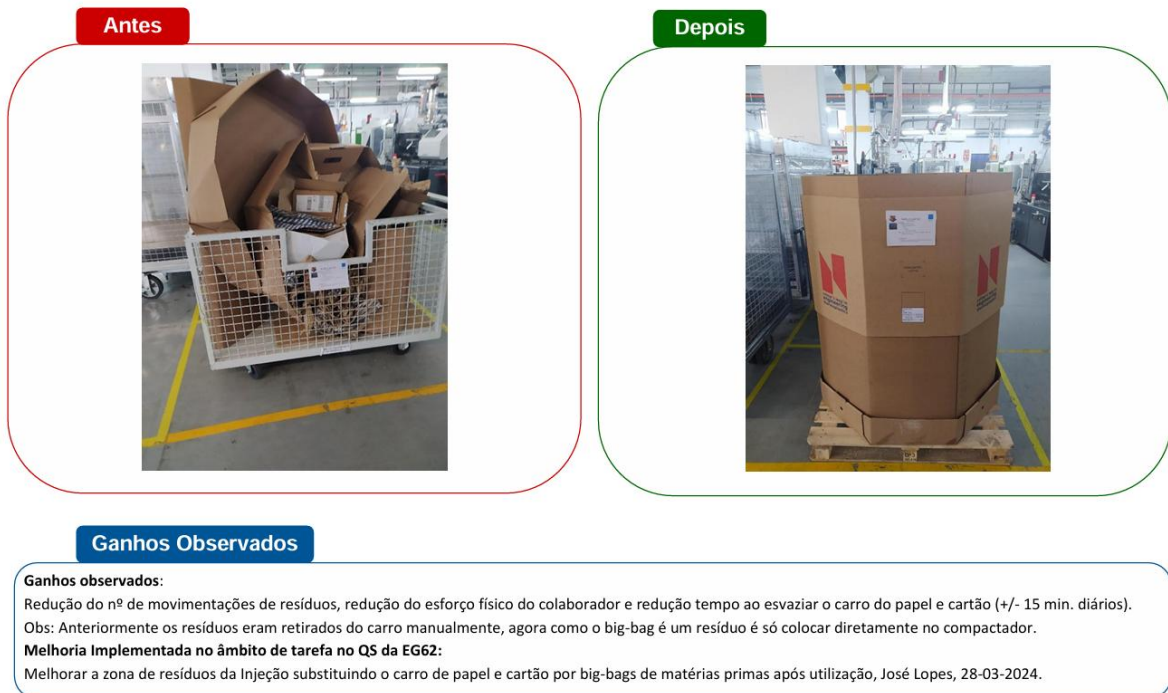


Figura 28 – Melhoria – Otimização da zona de resíduos da injeção

- Instalação de uma torneira na casa das bombas (Figura 29), facilitando o escoamento de líquidos e evitando danos no sistema causados pela elevada pressão. Esta simples intervenção teve um efeito direto na segurança e no tempo de execução da tarefa.

Antes e Depois

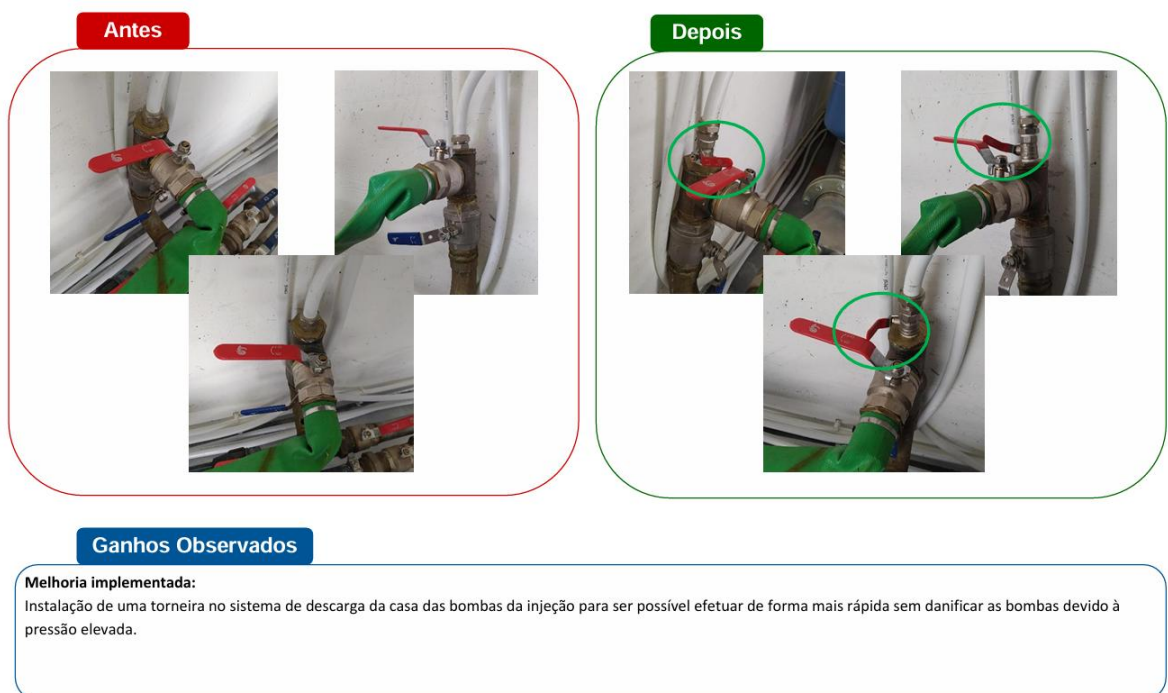


Figura 29 – Melhoria - Instalação de uma torneira na casa das bombas

Melhoria contínua na injeção de componentes elétricos e Impressão 3D

- Implementação de um sistema de encaixe rápido nos KO's (Figura 30) das máquinas ENGEL, que resultou numa redução média de 1 minuto por troca de *setup*, totalizando cerca de 15 minutos semanais de ganhos operacionais. Esta melhoria eliminou a necessidade de apertar e desapertar componentes com a máquina parada, tornando o processo mais fluido e produtivo.

Antes e Depois

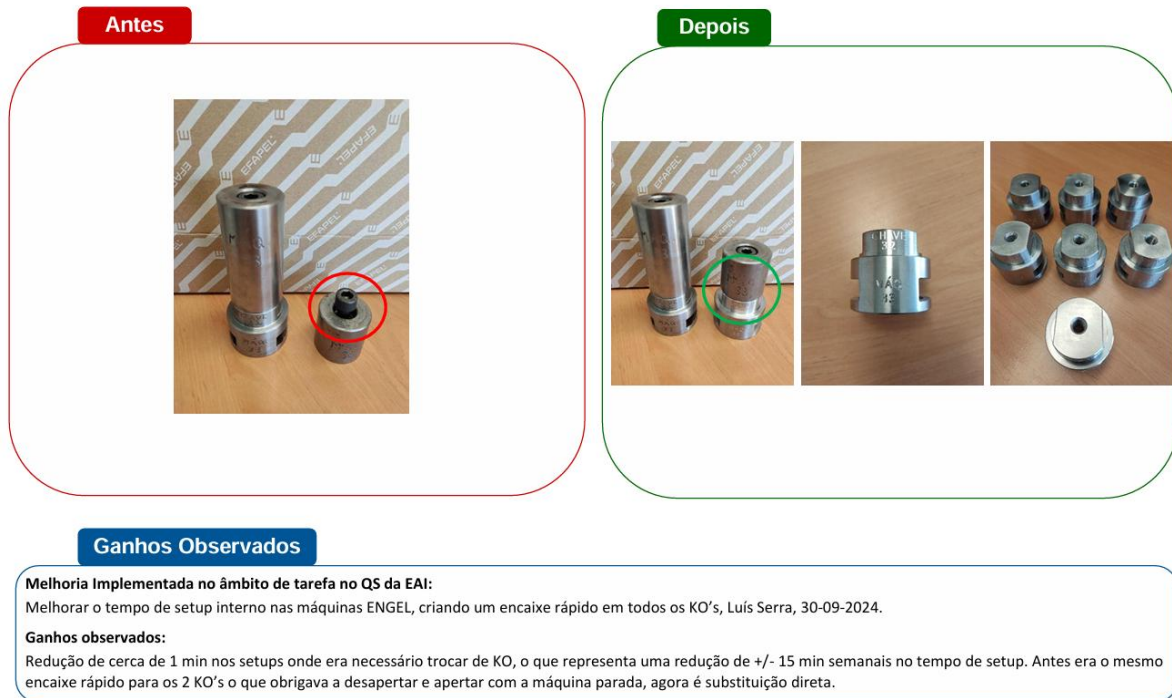


Figura 30 – Melhoria - Implementação de um sistema de encaixe rápido nos KO's

A aplicação dos “Princípios EFAPEL” contribui para a construção de um ambiente de trabalho mais organizado, seguro e eficiente, enquanto estimula o envolvimento das equipas nos esforços de melhoria contínua. Esta abordagem encontra-se alinhada com metodologias como o 5S e o *Kaizen*, ajustadas à realidade e cultura da empresa, e evidencia como pequenas intervenções operacionais podem ter um impacto significativo no desempenho global da produção.

4.2.4 Otimização da produção de PVC

Durante o estágio, foi identificada uma oportunidade de otimização após verificação da taxa de ocupação das máquinas PVC, relacionada com a máquina 6, caracterizada por uma elevada tonelagem de fecho (200 toneladas) e dedicada exclusivamente a este material. O objetivo passava pela desativação da máquina 8, um equipamento antigo, menos eficiente e com taxa de ocupação reduzida também destinado à produção de peças em PVC. Para tal, tornou-se necessário redistribuir os moldes que trabalhavam na máquina 8 pelas restantes máquinas do parque produtivo, incluindo a máquina 6.

No entanto, a máquina 6 apresentava uma limitação dimensional: a sua estrutura foi inicialmente concebida para operar com moldes de maiores dimensões, o que impedia diretamente a utilização de moldes mais pequenos oriundos da máquina 8. Assim, fez-se uma análise de compatibilidade de moldes, tendo por base a sua dimensão e a respetiva compatibilidade de montagem.

Foram analisadas várias bases de dados internas com informações relativas à espessura, largura e altura dos moldes. Essa análise permitiu identificar um subconjunto de 58 moldes, que, devido às suas dimensões reduzidas, não eram compatíveis com o prato original da máquina 6. Na Tabela 2 estão alguns dos dados essenciais para este estudo: a abertura da máquina 6 para se saber o tamanho máximo dos moldes, a quantidade de moldes que eram pequenos demais para a máquina 6 (40), os moldes com maior e menor espessura dos identificados, os cálculos para perceber o tamanho do prato pretendido e por fim a medida que se considerou adequada. Para resolver esta limitação, procedeu-se ao desenvolvimento de um prato adicional (ou adaptador) que permitisse fixar moldes mais pequenos na estrutura da máquina 6 sem comprometer a montagem dos moldes que já eram compatíveis anteriormente.

Tabela 2 – Resumo da recolha de dados dos moldes da máquina 8

Moldes Máquina 8	58
Abertura da máquina 6	340 <> 575
Moldes da máquina 8 com espessura inferior à abertura da 6	40
Molde com a maior espessura	452
Molde com a menor espessura	285
Cálculos	$340 - 285 = 55$ $575 - 452 = 123$
Placa	60

O desenho deste prato teve como premissa a maximização da compatibilidade: não poderia ser demasiado grande, sob risco de inviabilizar a montagem de moldes maiores que já operavam na máquina. Por outro lado, teria de garantir uma área de contacto e fixação suficiente para os moldes de menores dimensões. Após múltiplas simulações e validações baseadas nas dimensões reais dos moldes analisados, foi definido um tamanho ótimo para o prato, medidas representadas na Tabela 3, que servisse como solução de compromisso entre flexibilidade operacional e limitações físicas da máquina.

Tabela 3 – Dimensionamento do prato

Maior largura de um molde	445
Maior altura de um molde	545
Dimensão do prato	445 x 545 x 60

Desta análise foi criado um ficheiro Excel que documenta todas estas conclusões, incluindo outros moldes para testar na máquina 6 que nunca tinham lá trabalhado apesar de terem condições para tal. Essa verificação foi cruzada com as medições efetuadas, culminando na elaboração de uma lista final de moldes redirecionados para a máquina 6 e outros adaptados para as restantes.

Esta solução permitiu, de forma prática e eficiente, aumentar a versatilidade da máquina 6, garantir a redistribuição dos moldes de PVC sem comprometer a produtividade e, sobretudo, eliminar um equipamento obsoleto (máquina 8), contribuindo para a racionalização dos recursos produtivos da empresa.

4.2.5 Análise de Outputs

Por fim, outra tarefa realizada durante o estágio com o objetivo de melhoria contínua consistiu na análise de outputs, com foco na identificação e resolução de não conformidades associadas ao desempenho das Ordens de Produção (OP). Para tal, recorria-se semanalmente ao relatório gerado pelo software da empresa, onde se destacava a OP com pior desempenho, com base em critérios como qualidade e eficiência.

A partir desta identificação, iniciava-se um processo de diagnóstico, analisando o histórico do molde em questão que incluía o seu desempenho em diferentes máquinas, cores e contextos operacionais. Eram abrangidas verificações de variáveis como alterações de afinação, utilização de robô, materiais aplicados e a OP imediatamente anterior, que poderia influenciar parâmetros como temperaturas de funcionamento ou alterações de material, por exemplo a mudança entre dois moldes que trabalhassem com 2 matérias-primas com temperaturas de fusão muito distintas.

Concluída a análise das causas, eram propostas ações corretivas, que podiam envolver desde ajustes técnicos no processo até recomendações de sequenciamento de produção que depois a eficácia da solução era validada na OP seguinte com o mesmo molde, nas condições mais idênticas possíveis permitindo aferir se o problema tinha sido solucionado de forma eficaz e sustentável.

5 ALTERNATIVAS À INJEÇÃO TRADICIONAL: BREVE ANÁLISE ECONÓMICA

Durante o estágio realizado na EFAPEL, surgiu a necessidade de estudar uma solução mais eficiente para a produção de peças com baixos volumes anuais, sem comprometer os requisitos técnicos e estéticos exigidos pela empresa. Este cenário motivou o desenvolvimento de um caso de estudo com o objetivo de analisar a viabilidade económica de diferentes alternativas ao processo de injeção tradicional, tendo como base uma peça concreta com um volume de produção anual de 460 unidades.

A impressão 3D, nomeadamente através da tecnologia SLA, foi inicialmente considerada devido às vantagens associadas a este tipo de fabrico, como a eliminação de moldes e a maior flexibilidade produtiva. No entanto, após recebidas algumas peças protótipo, concluiu-se que, no estado atual da tecnologia, a impressão 3D não garante, de forma consistente, o nível de qualidade superficial e resistência exigido para os padrões e necessidades da EFAPEL. Ainda assim, reconhece-se o seu potencial estratégico para o futuro como tecnologia complementar ou alternativa à injeção tradicional, especialmente em séries curtas e peças cujas exigências estéticas e/ou mecânicas não sejam tão elevadas.


Durante a análise, surgiu também como hipótese a utilização de uma máquina de injeção de menor tonelagem, uma *Babyplast*, que permite reduzir significativamente o investimento no molde. Esta alternativa, mais próxima do processo tradicional, passou a integrar a análise comparativa, quer através da sua subcontratação, quer considerando a possível aquisição da máquina pela empresa, desde que se verifique aplicabilidade a um conjunto mais alargado de produtos.

Este caso de estudo centra-se, assim, na comparação destas três opções tecnológicas, injeção tradicional, impressão 3D e injeção em *Babyplast*, tendo como objetivo perceber qual a solução mais vantajosa para peças de baixo volume produtivo, tendo em conta os custos envolvidos e a realidade produtiva da EFAPEL.

5.1 Caracterização do Problema

Antes de se avançar com a análise comparativa entre alternativas, é necessário compreender as características da peça que originou o caso de estudo e as limitações da solução atualmente disponível na empresa. Assim sendo seguem-se, na Tabela 4, as características da peça que originou o caso e foi alvo de estudo:

Tabela 4 – Características da peça analisada

Desenho 3D	
Descrição	Trinco para acoplar a canhão de fechadura e fechar tampa de aparelhagem estanque.
Volume	229.36 mm ³
Peso	0.288 g
Quantidade anual	460 unidades

Atualmente as máquinas de menor tonelagem existentes na EFAPEL são de 50 toneladas que, para uma peça desta dimensão, obriga à compra de um molde de 2 cavidades, ou seja, produz 2 peças por cada ciclo de injeção. Um molde, de apenas uma cavidade, seria demasiado pequeno para uma máquina desta tonelagem pela quantidade de matéria-prima utilizada na produção de uma peça o que faria com que o material estivesse demasiado tempo dentro da câmara da máquina e poderia degradar o material nas suas características mecânicas e estéticas. Nesse sentido foram exploradas para além da solução tradicional, alternativas para a produção da peça em estudo.

5.2 Produção tradicional com molde de 2 cavidades.

A primeira abordagem analisada corresponde à solução tipicamente adotada pela EFAPEL em casos idênticos é a utilização do método tradicional de injeção, ou seja, como referido, a compra de um molde de duas cavidades e a produção através da injeção numa máquina, neste caso, de 50 toneladas. Não sendo, provavelmente, o método mais económico traz algumas vantagens como a familiarização com o processo e a garantia das características físicas e estéticas pretendidas para a peça em causa. A empresa prevê que a peça esteja no mercado pelo menos 20 anos, mas devido ao histórico em produtos similares que se encontram em produção há aproximadamente 30 anos, será este o valor a considerar ao longo do estudo. Assim sendo o número de peças produzidas perspectivadas ao longo do ciclo de vida do

produto é de 13800 peças. O objetivo deste processo é identificar o valor total para a fabricação da peça, possibilitando uma análise detalhada da sua viabilidade económica.

O principal custo associado à produção de uma peça por injeção de plástico é o molde, não obstante poder ser utilizado durante todo o ciclo de vida da peça. Em peças pequenas e de baixo volume resulta num valor elevado por cada unidade.

Um molde de duas cavidades para a produção de peças com as características da de exemplo pode custar 13.800.00 €.

Após a obtida a cotação do molde é preciso ter em conta o custo da peça que se vai produzir e, por isso, é necessário analisar todos os custos associados à produção:

1. Custo da matéria-prima;
2. Custo de máquina;
3. Custo de mão de obra;
4. Custo de encomenda;
5. Custo de desperdício.

Na Tabela 5 estão especificados todos os dados obtidos devido ao estudo interno prévio feito com vista às características necessárias à produção da peça:

Tabela 5 – Pressupostos utilizados para o cálculo dos custos.

Matéria-Prima	Policarbonato com fibra de vidro preta
Preço de MP virgem por Kg	3.461200 €/Kg
Preço de Recuperado por Kg	0.067000 €/Kg
Custo Hora Máquina	21.32 €/h
Tempo de ciclo de injeção	10.0 s
Nº de cavidades do molde	2
% de Mão de Obra do colaborador	23 %
Custo Hora Homem	18.04 €
Custo de encomenda	7.64 €
Lote de encomenda	600 uni.
Desperdício por OP	1.96 €

Melhoria contínua na injeção de componentes elétricos e Impressão 3D

1. Cálculo do custo da matéria-prima:

Custo de MP virgem por peça = $0.000288 \text{ Kg} \times 3.4612 \text{ €/Kg} = 0.000997 \text{ €/uni}$.

Custo de Recuperado por peça = $0.000288 \text{ Kg} \times 0.067000 \text{ €/Kg} = 0.000019 \text{ €/uni}$.

Custo MP total por peça = $0.000997 \text{ €/uni} + 0.000019 \text{ €/uni} = \mathbf{0.001016 \text{ €/uni}}$.

1. Cálculo do custo de máquina:

Peças por hora = $3600 \text{ s} / 10 \text{ s} \times 2 = 720 \text{ uni}$.

Custo de máquina por peça = $21.32 \text{ €/h} / 720 \text{ uni} = \mathbf{0.029611 \text{ €/uni}}$.

2. Cálculo do custo de mão de obra:

Mão de obra a 100% = $720 / 23 \% = 3130.435 \text{ uni}$.

Custo de Mão de Obra = $18.04 \text{ €} / 3130.435 \text{ uni} = \mathbf{0.005763 \text{ €/uni}}$.

3. Cálculo do custo de encomenda:

Custo de encomenda unitário = $7.64 \text{ €} / 600 \text{ uni} = \mathbf{0.012733 \text{ €/uni}}$.

4. Cálculo do custo de desperdício:

Custo de desperdício por peça = $1.96 \text{ €} / 600 \text{ uni} = \mathbf{0.003267 \text{ €/uni}}$.

O custo total da peça em estudo é então a soma de todos estes custos:

Custo por peça = $(0.001016 + 0.029611 + 0.005763 + 0.012733 + 0.003267) \text{ €/uni}$.
= $\mathbf{0.052390 \text{ €/uni}}$.

Tendo em conta que, como já referido, se prevê que a peça esteja no mercado 30 anos, correspondente a 13800 peças pode-se ter uma ideia do custo associado à produção por injeção tradicional. Na Tabela 6 encontram-se esquematizadas variações do número de peças que podem estar associadas a maior/menor procura ou a um tempo de ciclo de vida maior ou menor, o que ajuda a uma melhor perceção dos pontos de decisão.

Tabela 6 – Evolução do custo de produção por injeção tradicional

Peças	Injeção tradicional
0	13,800.00 €
460	13,824.10 €
5000	14,061.95 €
10000	14,323.90 €
13800	14,522.98 €
15000	14,585.85 €
20000	14,847.80 €
25000	15,109.75 €

5.3 Análise de alternativas por subcontratação

Após a conclusão de que, optar pela solução tipicamente adotada pela EFAPEL poder não ser a mais indicada do ponto de vista económico exploraram-se as alternativas, mas de um ponto de vista da subcontratação. Nos subcapítulos que se seguem serão então analisados os custos associados à subcontratação das alternativas.

5.3.1 Subcontratação em *Babyplast*

A injeção numa *babyplast* implicaria sempre a aquisição de um molde independentemente de ser usado internamente ou por uma empresa subcontratada. Assim sendo, no caso de uma *babyplast*, o molde para produção seria apenas de 1 cavidade e segundo os técnicos especializados da empresa, custaria 10,500.00 €.

O custo do material seria o mesmo já calculado anteriormente no método tradicional da EFAPEL ou seja:

- 0.000997 €/uni.

Foi contactado um parceiro externo para se obter um orçamento para a subcontratação desta tecnologia. Assim sendo, o custo de injetar 2500 peças que corresponderia a cerca de 1 dia de trabalho seria de 480 €. Assim sendo, simplificando, o custo de produção por unidade produzida através de subcontratação em *babyplast* é:

- $480 \text{ €} / 2500 \text{ uni.} = 0.193 \text{ €/peça.}$

Com estes dados foi possível apurar o custo de produção para 13800 peças, valor estimado para o tempo de vida do produto e correspondente a 5 dias e meio de produção externa, por subcontratação em *babyplast*:

- $10,500.00 + (0.000997 \text{ €/uni.} \times 13800 \text{ uni.}) + 13800 \text{ uni.} \times 0.193 \text{ €/uni.} = \mathbf{13,177.16\text{€}}$.

Uma vez calculados os custos associados, foi possível fazer uma comparação e explorar algumas variantes que poderiam influenciar a tomada de decisão.

Para 13800 peças o custo de produção num molde de duas cavidades para trabalhar internamente através da injeção tradicional seria, como já demonstrado na Tabela 6:

- $13800 \text{ uni.} \times 0.052390 \text{ €/uni.} + 13,800.00 \text{ €} = \mathbf{14,522.98 \text{ €}}$.

Chegou-se assim à conclusão de que, para um cenário de 13800 peças, o equivalente ao tempo total de ciclo de vida do produto, é mais rentável optar por subcontratação de peças produzidas numa *babyplast*, no entanto, com os valores já conhecidos, foi possível calcular alguns pontos ótimos ou de transição entre os dois processos.

Numa primeira fase o objetivo passou por perceber a partir de que momento seria mais rentável optar pelo método tradicionalmente escolhido pela EFAPEL.

Na Tabela 7 e Figura 31 encontram-se esquematizadas algumas variações do número de peças que podem estar associadas tanto a uma maior ou menor procura do produto por parte do cliente como de um diferente tempo de vida total. A tabela começa por considerar apenas o valor do molde e depois são então apresentadas essas variações. É importante destacar neste contexto os dois pontos de referência, as 13800 peças referentes aos 30 anos estimados e as 23470 peças, altura em que a produção interna por injeção tradicional se torna mais rentável!

Tabela 7 – Evolução dos custos de produção em *Babyplast*.

Peças	Injeção tradicional	<i>Babyplast</i>
0	13,800.00 €	10,500.00 €
460	13,824.10 €	10,588.78 €
5000	14,061.95 €	11,465.00 €
10000	14,323.90 €	12,430.00 €
13800	14,522.98 €	13,163.40 €
15000	14,585.85 €	13,395.00 €
20000	14,847.80 €	14,360.00 €
23470	15,029.59 €	15,029.71 €
25000	15,109.75 €	15,325.00 €

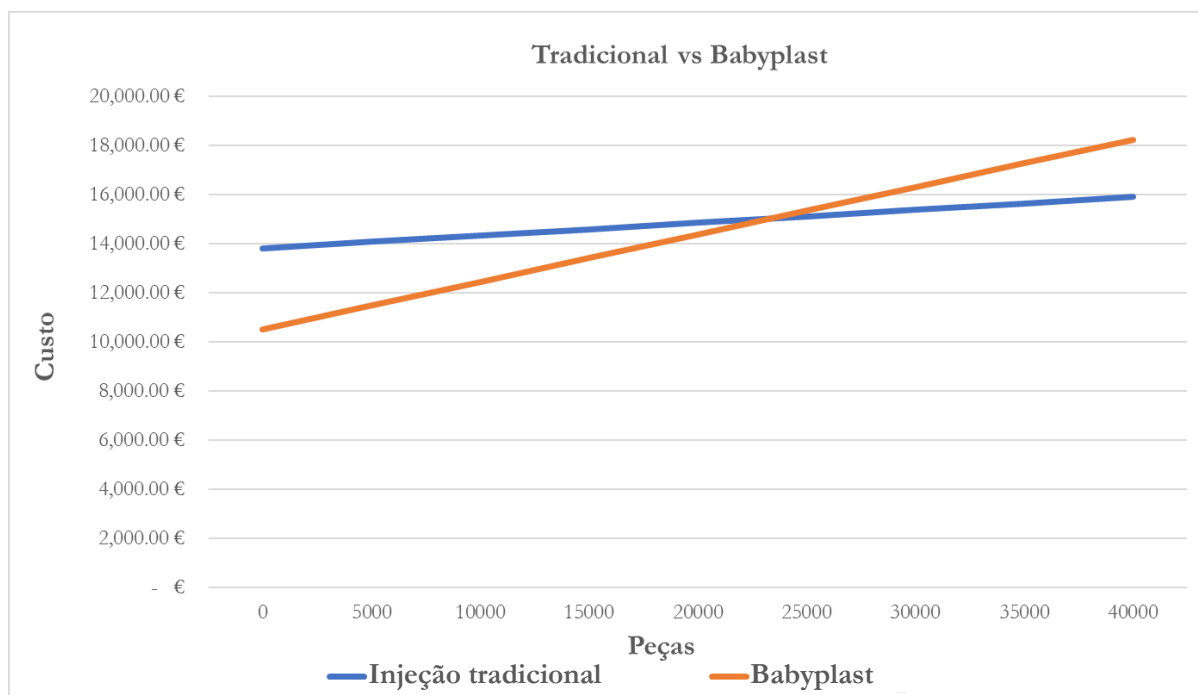


Figura 31 – Comparação dos custos de produção da Injeção tradicional vs Babyplast.

Como se pode verificar pelos resultados obtidos, apenas compensaria optar pela injeção tradicional caso o produto tivesse uma produção igual ou superior a 23470 peças, o equivalente a cerca de 782 peças por ano durante 30 anos ou 1174, se o ciclo de vida da peça for de 20 anos.

Uma vez calculado o número de peças necessárias para se optar pela subcontratação de peças feitas em *babyplast* é possível perceber a quantidade anual necessária tendo em conta o tempo no mercado previsto para o produto.

5.3.2 Subcontratação em Impressão 3D

A produção em Impressão 3D tem a vantagem de não necessitar de um investimento inicial como no caso da injeção numa *babyplast* e do método tradicional usado na EFAPEL, também não seria necessário fornecer a matéria-prima para a produção e, assim sendo, o único custo a ter em conta é orçamento de produção obtido pelo fornecedor.

O custo de um fornecedor produzir 460 peças que corresponde à quantidade anual estimada do caso em estudo seria de 245.70 € / ano, o que corresponde a aproximadamente 0.534 €/ peça.

Na Tabela 8 e Figura 32 estão dispostos os resultados da evolução dos custos dos 2 métodos onde se pode verificar que, mais uma vez, no método tradicional no “Ano 0” é tido em conta o custo do molde enquanto na impressão 3D não existe investimento inicial. Seguidamente é somado sucessivamente a cada método o valor respetivo do custo anual de cada um dos processos, até encontrar o ponto de transição.

Tabela 8 – Evolução dos custos de produção em Impressão 3D.

Peças	Injeção tradicional	Impressão 3D
0	13,800.00 €	- €
460	13,824.10 €	245.70 €
5000	14,061.95 €	2,670.65 €
10000	14,323.90 €	5,341.30 €
13800	14,522.98 €	7,369.20 €
15000	14,585.85 €	8,011.95 €
20000	14,847.80 €	10,682.60 €
25000	15,109.75 €	13,353.25 €
28647	15,300.82 €	15,301.22 €

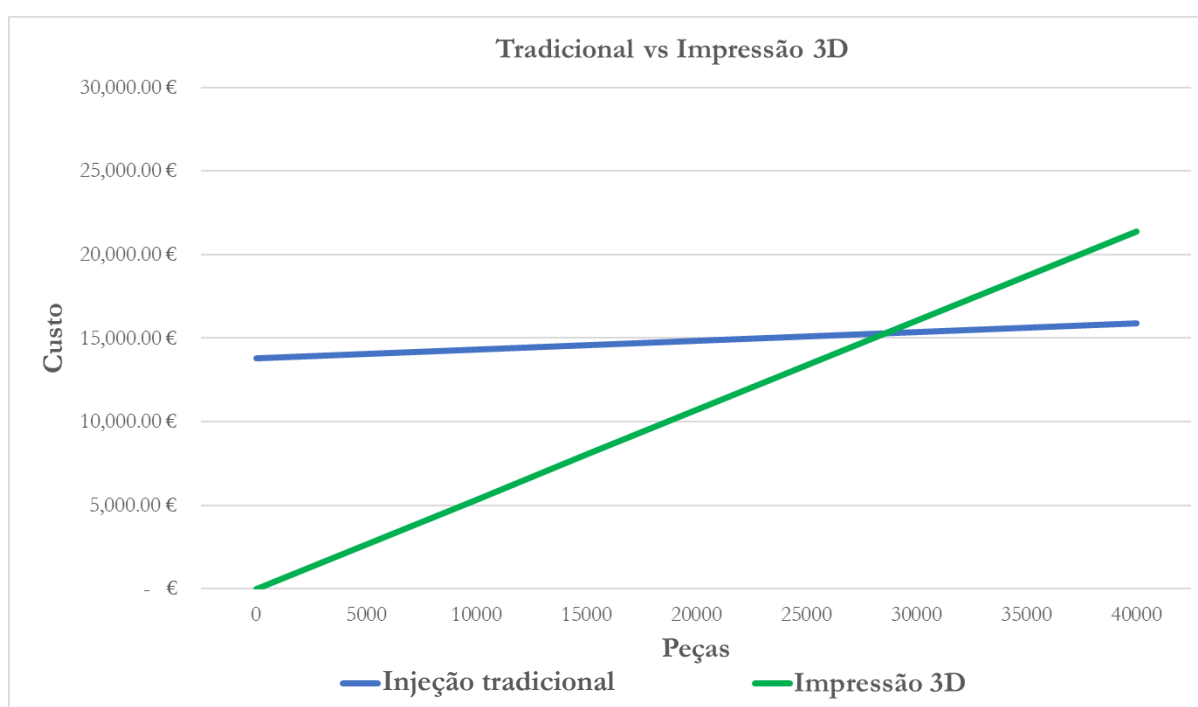


Figura 32 – Comparação dos custos de produção da Injeção tradicional vs Impressão 3D.

Os resultados obtidos permitem chegar à conclusão que apenas compensaria optar pela injeção tradicional se o produto se tivesse uma produção igual ou superior a 28980 unidades o equivalente a 966 unidades em 30 anos ou 1449, se se o ciclo de vida da peça for de 20 anos.

5.3.3 Comparação entre alternativas

Como conclusão ao tópico de subcontratação, fez-se a comparação entre as 2 alternativas já abordadas e o método tradicional de produção interno. O objetivo de encontrar as transições entre os diferentes métodos permite perceber as quantidades ótimas e custos para escolha sustentada da alternativa.

Assim sendo, na Tabela 9 e Figura 33, estão apresentados os custos para diferentes níveis de produção que permitem a comparação enunciada.

Tabela 9 – Evolução dos custos de produção.

Peças	Injeção tradicional	Molde <i>Babyplast</i>	Impressão 3D
0	13,800.00 €	10,500.00 €	- €
460	13,824.10 €	10,588.78 €	245.70 €
5000	14,061.95 €	11,465.00 €	2,670.65 €
10000	14,323.90 €	12,430.00 €	5,341.30 €
13800	14,522.98 €	13,163.40 €	7,369.20 €
15000	14,585.85 €	13,395.00 €	8,011.95 €
20000	14,847.80 €	14,360.00 €	10,682.60 €
25000	15,109.75 €	15,325.00 €	13,353.25 €
28647	15,300.82 €	16,028.87 €	15,301.22 €
30000	15,371.70 €	16,290.00 €	16,023.90 €
35000	15,633.65 €	17,255.00 €	18,694.55 €

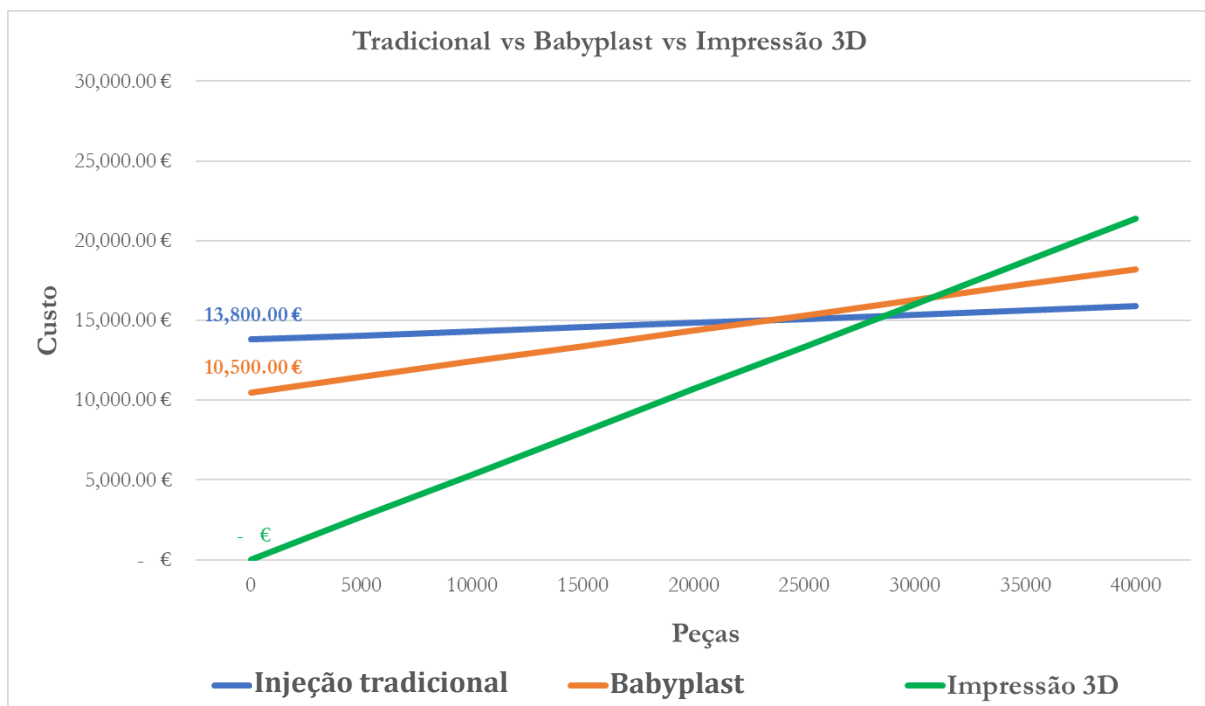


Figura 33 – Gráfico representativo da evolução dos custos.

Como se pode verificar pelos resultados apresentados podem-se tirar as seguintes conclusões:

- Se o produto tiver um volume de vendas até 28646 peças, o método mais indicado seria a subcontratação da produção por Impressão 3D.

- Se o produto estiver a vender acima de 28646 peças o método mais indicado então seria o método tradicional de produção interna com um molde de 2 cavidades.
- Tendo em conta que a impressão 3D ainda sofre de limitações que impedem a sua utilização, a produção em *babyplast* mostra-se a alternativa mais favorável até ao volume de produção de 23470 peças.

5.4 Análise à aquisição de uma *Babyplast*

Atendendo ao facto da impressão 3D ter ainda bastantes limitações técnicas relacionadas com as propriedades estéticas e físicas que conseguem empregar nas peças, só em casos muito específicos é possível usufruir desta tecnologia.

Desta forma, nesses casos a utilização de injeção em máquinas *babyplast* pode ser vantajosa em produtos de baixo volume. Posto isto, foi explorada a possibilidade de adquirir uma máquina *babyplast* para a produção de peças de tamanhos reduzidos e quantidades anuais baixas e perceber a sua viabilidade.

Os custos associados à produção numa *babyplast* são idênticos ao da produção já existente na EFAPEL, a única diferença está no Custo Hora Máquina uma vez que o consumo de energia e o próprio custo de uma máquina *babyplast*, por ser uma máquina de 10 toneladas, são significativamente mais baixos.

Fazendo uma estimativa e tendo em conta os Custos Hora Máquina Associados às restantes máquinas com tonelagens superiores, os técnicos especializados da EFAPEL consideraram que, para uma *babyplast* de 10 ton., o CHM estará entre 10 e 15 €/h. O valor usado para o cálculo do custeio será a média entre os dois, ou seja, 12.5 €/h.

Assim sendo, o custeio de adquirir uma máquina *babyplast* para produção interna pode ser calculado da seguinte forma:

Custo da matéria-prima = **0.001016 €/uni.**

Cálculo do custo de máquina:

Peças por hora = $3600 \text{ s} / 7.5 \text{ s} = 480 \text{ uni.}$

Custo de máquina por peça = $12.5 \text{ €/h} / 480 \text{ uni} = \mathbf{0.026042 \text{ €/uni.}}$

Custo de mão de obra = **0.005763 €/uni.**

Custo de encomenda = **0.012733 €/uni.**

Custo de desperdício = **0.003267 €/uni.**

O custo total da peça em estudo é então a soma de todos estes custos:

Custo por peça = $(0.001016 + 0.026042 + 0.005763 + 0.012733 + 0.003267)$ €/uni.
= **0.048821 €/uni.**

O orçamento obtido para uma *babyplast* de 10 toneladas foi de 28,000.00 € e, como já referido, um molde de 1 cavidade para esta máquina tem um custo de 10,500.00€

A necessidade de compra de uma máquina de injeção *babyplast* obriga a um investimento avultado que, para apenas uma peça não faria sentido. A grande diferença entre a produção numa máquina de 50 toneladas existente na EFAPEL ou numa *babyplast* de 10 toneladas é na compra do molde porque, apesar de ser mais económico produzir na *babyplast*, a diferença no custo por peça é residual (menos 0.0036 € na *babyplast*), no entanto, a diferença entre moldes é de 3,300.00€

Considerando apenas a diferença no valor do molde, o número mínimo de produtos necessários para compensar adquirir uma máquina *babyplast* seria:

- $28,000.00 \text{ €} / 3,300.00 \text{ €} = 8.48$ unidades

Podemos então concluir que havendo cerca de 9 produtos de perfil semelhante ao estudado que cumprissem os requisitos para ser produzidos na *babyplast* já compensaria comprar a máquina apenas pelo valor dos moldes, em alternativa ao método tradicional de injeção. É então relevante verificar se nos últimos anos existiram produtos que pudessem entrar nesta equação e se, num suposto comportamento idêntico, nos próximos anos faria sentido avançar para a compra da máquina.

Após uma análise dos moldes comprados para máquinas de 50 toneladas nos últimos 5 anos (2019 a 2023 uma vez que os projetos de 2024 à data da realização deste documento ainda não estão aprovados) foi possível verificar que 49 moldes poderiam ter sido equacionados para produção em *babyplast* tendo em conta o tamanho e peso das peças produzidas por estes. Assim sendo, na Tabela 10 pode-se verificar por ano a quantidade de moldes adquiridos:

Tabela 10 – Moldes adquiridos nos últimos 5 anos

	2019	2020	2021	2022	2023
Moldes	16	6	18	7	2

Como se pode verificar não é possível estabelecer um número padrão para o aparecimento de novos moldes por ano que possam ser equacionados a ser produzidos numa *babyplast*, no entanto, é possível verificar que em 5 anos surgiu uma quantidade significativa de moldes (média de 10 por ano) e por isso torna-se

relevante equacionar a compra de uma máquina, ao invés de produzir nas tradicionais máquinas de maior tonelagem.

No entanto, também a hipótese de subcontratação, neste ponto de vista, tem de ser tida em conta. Por isso mesmo, na Tabela 11, é feita a comparação entre as duas hipóteses onde se chega à conclusão que apenas a partir de uma produção total de 194204 peças a opção pela aquisição de uma *babyplast* para produção interna faria sentido.

Tabela 11 – Comparação da produção em *babyplast* com a sua subcontratação

Peças	Produção <i>Babyplast</i>	Subcontratação <i>Babyplast</i>	Diferença
0	- €	- €	- €
460	22.46 €	88.78 €	66.32 €
5000	244.11 €	965.00 €	720.90 €
10000	488.21 €	1,930.00 €	1,441.79 €
13800	673.73 €	2,663.40 €	1,989.67 €
15000	732.32 €	2,895.00 €	2,162.69 €
20000	976.42 €	3,860.00 €	2,883.58 €
25000	1,220.53 €	4,825.00 €	3,604.48 €
...
194204	9,481.23 €	37,481.37 €	28,000.14 €

A análise indica que só ao fim de cerca de 194204 peças o investimento numa máquina *Babyplast* seria compensado face à subcontratação, o equivalente a cerca de 14 peças de perfil idêntico à peça estudada (194204 / 13800), e tendo em conta que surgem cerca de 10 moldes por ano que podem ser equacionados para a produção em *babyplast* então esta alternativa deve ser tida em conta. Para além da questão de retorno financeiro direto, a aquisição da máquina permitiria também à EFAPEL ganhar maior controlo sobre o seu processo produtivo. Esta solução garantiria mais rapidez na resposta a novas necessidades, menor dependência de fornecedores externos e, sobretudo, um controlo mais apertado da qualidade das peças fabricadas, algo especialmente relevante em produtos técnicos e exigentes.

5.5 Conclusões e Perspetivas Futuras

A análise desenvolvida ao longo deste caso de estudo permitiu comparar de forma objetiva três alternativas distintas para a produção de peças com baixos volumes anuais: o processo tradicional de injeção já implementado na EFAPEL, a produção subcontratada da impressão 3D, em *babyplast* ou a aquisição desta última para produção interna. Embora a impressão 3D tenha apresentado o menor investimento inicial e custos unitários competitivos, a sua limitação em garantir os requisitos estéticos e mecânicos exigidos pela empresa dificulta, à data, a sua adoção para

aplicações técnicas ou funcionais. Esta constatação reforça a importância de não considerar apenas critérios económicos na seleção de tecnologias, mas também fatores como a fiabilidade do processo e a qualidade do produto final.

Por outro lado, apesar de a subcontratação em *babyplast* apresentar vantagens económicas face à produção interna para volumes reduzidos, os resultados indicam que esta solução apenas deve ser tido em conta uma vez que a impressão 3D ainda apresenta grandes limitações nas qualidades físicas das peças produzidas. No entanto, a análise ganha uma nova perspetiva quando se considera a possibilidade de aquisição de uma máquina *babyplast* para produção interna, uma vez que, apesar de o custo por peça ser apenas marginalmente inferior ao da produção tradicional, o investimento mais reduzido no molde torna esta solução potencialmente vantajosa em cenários com múltiplos produtos com características compatíveis.

A análise histórica dos moldes adquiridos entre 2019 e 2023 revelou que em média, cerca de 10 moldes por ano podem, em princípio, ser adaptados à produção em *babyplast*, o que sugere um volume significativo de oportunidades mal aproveitadas do ponto de vista económico e logístico. Ainda que não tenha sido possível, no âmbito desta tese, realizar uma avaliação técnica completa sobre a compatibilidade real de cada molde com as especificações da *babyplast*, os dados reunidos justificam claramente a realização, por parte da empresa, de um estudo aprofundado nesse sentido.

Deste modo, recomenda-se à EFAPEL a consideração estratégica da aquisição de uma máquina *babyplast*, sustentada numa análise mais rigorosa e estruturada do seu conjunto de moldes, com vista à criação de uma área de produção dedicada a peças de pequenas dimensões e séries curtas. Tal investimento, se devidamente fundamentado, poderá traduzir-se numa maior autonomia produtiva, numa redução de custos fixos associados a moldes e numa maior flexibilidade na resposta às necessidades do mercado.

6 CONCLUSÕES

A EFAPEL, enquanto empresa com um sistema de produção complexo e diversificado, revelou-se um terreno fértil para o desenvolvimento de competências práticas associadas à gestão industrial. Durante o estágio, foram analisadas várias variáveis críticas do processo produtivo, o que permitiu compreender a importância de um planeamento ajustado à realidade operacional e à articulação entre setores. Foram ainda implementadas medidas com vista à otimização dos *setup* e à redução de desperdícios, através da criação de auxiliares visuais, agrupamento de exceções na emissão de ordens de produção e iniciativas alinhadas com os Princípios EFAPEL.

Em virtude do trabalho desenvolvido ao longo do estágio realizado na EFAPEL – Empresa Fabril de Componentes Elétricos, S.A., foi possível aplicar e aprofundar diversos conhecimentos adquiridos ao longo do Mestrado em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos, num contexto real de ambiente industrial. O estágio decorreu na área da injeção de plásticos e permitiu não só o contacto direto com a produção, como também a participação em tarefas ligadas ao planeamento da produção, análise de desempenho e práticas de melhoria contínua.

No plano analítico, o relatório incluiu um caso de estudo que comparou diferentes tecnologias de fabrico, nomeadamente impressão 3D, injeção tradicional e produção em *Babyplast*, com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e económica da impressão 3D como solução para pequenas séries. Por circunstâncias próprias da vida das empresas, este estudo, que seria o foco principal do trabalho de estágio, não teve o desenvolvimento previsto inicialmente. Recomenda-se o seu aprofundamento no futuro, no plano técnico, para confirmar a viabilidade da aplicação da tecnologia 3D na empresa, e no plano económico, para aperfeiçoar a análise efetuada e confirmar as conclusões retiradas. Apesar disso, este trabalho ainda permitiu aplicar alguns conceitos de análise de custos e otimização de recursos, reforçando a importância de decisões fundamentadas para a gestão de ativos produtivos.

No que respeita às tarefas rotineiras, a oportunidade de acompanhar o planeamento diário, participar na análise de outputs e intervir em processos de melhoria contínua constituiu um desafio enriquecedor e uma experiência formativa muito relevante. As ações desenvolvidas contribuíram para a eficiência da produção e para a consolidação de boas práticas operacionais na área da injeção.

Em síntese, o estágio e conseqüente elaboração deste relatório representaram uma oportunidade ímpar de integração do conhecimento técnico e prático, permitindo observar na prática a complexidade da gestão da produção, a relevância da melhoria contínua e o potencial das novas tecnologias como ferramentas de apoio à decisão estratégica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

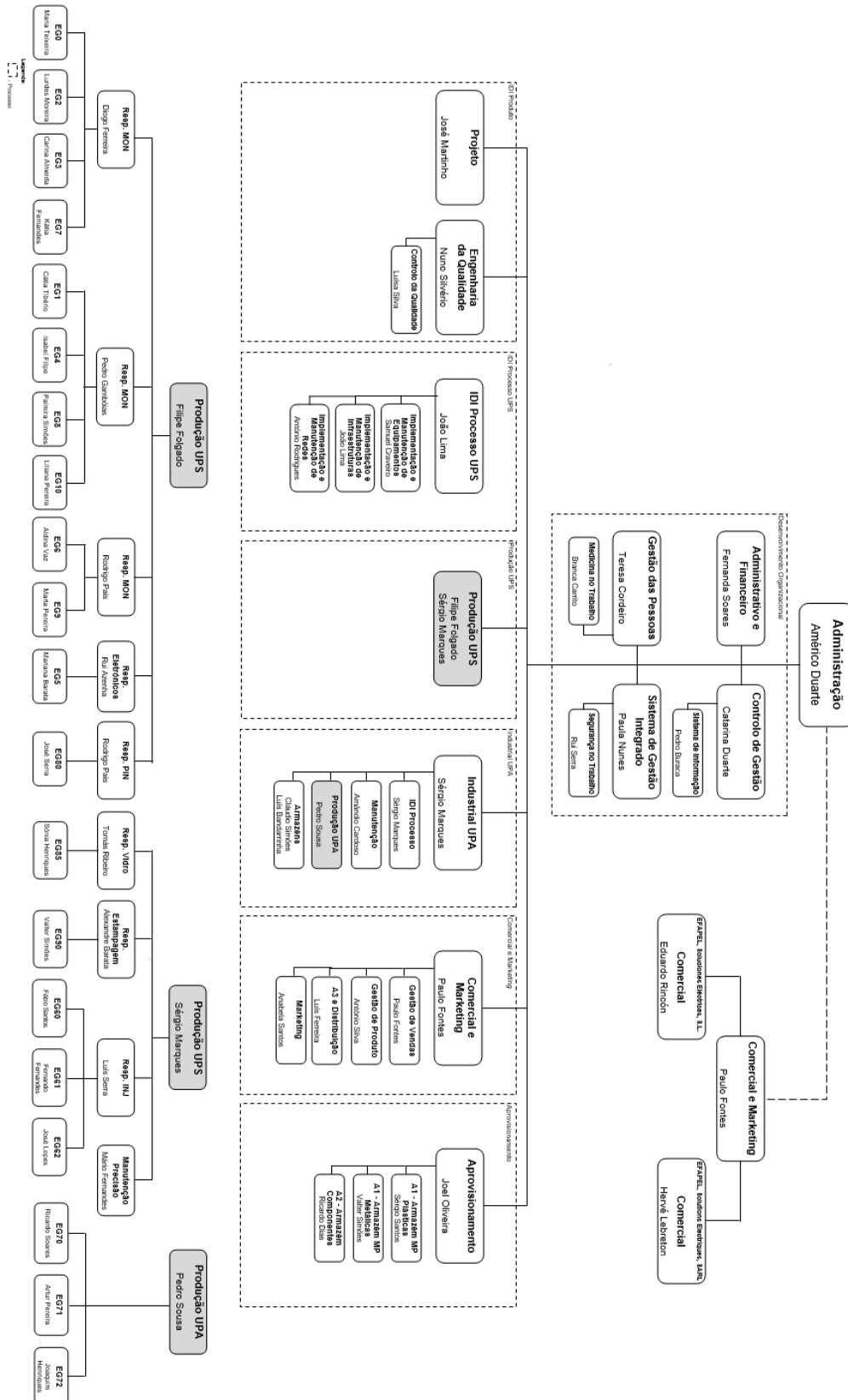
- Couto, R. (2008). *ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO SMED E DO MÉTODO DE TAGUCHI NO PROCESSO DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- EFAPEL. (n.d.-a). *EFAPEL - Produtos*. Retrieved May 25, 2025, from <https://www.efapel.pt/pt/produtos>
- EFAPEL. (n.d.-b). Injeção de plásticos. In *Documento interno*.
- Envi. (2019). *Babyplast*®. <https://www.babyplast.com/pt/products/babyplast-10-12-standard-5/>
- Goodship, V. (2004). *ARBURG practical guide to injection moulding*. Rapra Technology.
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2013). A literature review of lean manufacturing. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(4), 241–249. <https://doi.org/10.1080/17509653.2013.825074>
- Han, W., Kong, L., & Xu, M. (2022). Advances in selective laser sintering of polymers. In *International Journal of Extreme Manufacturing* (Vol. 4, Issue 4). Institute of Physics. <https://doi.org/10.1088/2631-7990/ac9096>
- Hasabe, A., Kakde, A., Khandagle, A., Surve, K., & Pankaj Pardeshi, A. (2008). Single Minute Exchange of Dies (SMED) concept. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4665. www.irjet.net
- Heitor De Andrade, I., Melo, D., Junior, W., & Brito, J. (2016). *Aplicação da metodologia de tempos e métodos na redução de perdas na indústria automobilística*. <https://www.researchgate.net/publication/312154266>
- Huang, J., Qin, Q., & Wang, J. (2020). A review of stereolithography: Processes and systems. In *Processes* (Vol. 8, Issue 9). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/PR8091138>
- Kafle, A., Luis, E., Silwal, R., Pan, H. M., Shrestha, P. L., & Bastola, A. K. (2021). 3D/4D Printing of Polymers: Fused Deposition Modelling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS), and Stereolithography (SLA). In *Polymers* (Vol. 13, Issue 18). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym13183101>
- Kristiawan, R. B., Imaduddin, F., Ariawan, D., Ubaidillah, & Arifin, Z. (2021). A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. In *Open Engineering* (Vol. 11, Issue 1, pp. 639–649). De Gruyter Open Ltd. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063>
- Lourenço, H. (2014). *Aplicação do Método de Taguchi à injeção de plástico*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

- Maia, L. C., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2011). *METODOLOGIAS PARA IMPLEMENTAR LEAN PRODUCTION: UMA REVISÃO CRÍTICA DE LITERATURA*.
- Maines, E. M., Porwal, M. K., Ellison, C. J., & Reineke, T. M. (2021). Sustainable advances in SLA/DLP 3D printing materials and processes. In *Green Chemistry* (Vol. 23, Issue 18, pp. 6863–6897). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d1gc01489g>
- Natarajan, Jeyaprakash., Cheepu, Muralimohan., & Yang, C.-Hua. (2021). *Advances in Additive Manufacturing Processes*. Bentham Science Publishers.
- Özdilli, Ö. (2021). Comparison of the Surface Quality of the Products Manufactured by the Plastic Injection Molding and SLA and FDM Method. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, 428–437. <https://doi.org/10.29137/umagd.762942>
- ÖZDİLLİ, Ö. (2021). Comparison of the Surface Quality of the Products Manufactured by the Plastic Injection Molding and SLA and FDM Method. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, 428–437. <https://doi.org/10.29137/umagd.762942>
- Palange, A., & Dhattrak, P. (2021). Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 46, 729–736. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.193>
- Pinto, N. (2013). *DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA Metodologia SMED: Aplicação prática em processos de injeção e estampagem*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Público. (2024, April). *EFAPEL - DOMUS 40, o futuro é simples*. <https://imobiliario.publico.pt/solucoes-casa/efapel-domus-40-futuro-simples/>
- Rajan, K., Samykano, M., Kadirgama, K., Harun, W. S. W., & Rahman, M. M. (2022). Fused deposition modeling: process, materials, parameters, properties, and applications. In *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Vol. 120, Issues 3–4, pp. 1531–1570). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08860-7>
- Schmidleithner, C., & Kalaskar, D. M. (2018). Stereolithography. In *3D Printing*. IntTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78147>
- Singh Randhawa, J., & Singh Ahuja, I. (2017). 5S implementation methodologies: literature review and directions. In *Int. J. Productivity and Quality Management* (Vol. 20, Issue 1).
- Sundar, R., Balaji, A. N., & Satheesh Kumar, R. M. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875–1885. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Yehia, H. M., Hamada, A., Sebaey, T. A., & Abd-Elaziem, W. (2024). Selective Laser Sintering of Polymers: Process Parameters, Machine Learning Approaches, and

Future Directions. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(5), 197. <https://doi.org/10.3390/jmmp8050197>

ANEXOS

ANEXO A - ORGANIGRAMA DA EFAPEL





**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra