



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Faculdade de Economia
em parceria com
INSTITUTO POLITÉCNICO DE LEIRIA

*A otimização do processo de fresagem na Indústria Portuguesa de Moldes e o seu
contributo para a sustentabilidade da empresa e do ambiente*

Filipe André da Silva Narciso

Dissertação

Mestrado em Gestão Empresarial

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professora Doutora Susana Cristina Serrano Fernandes Rodrigues

Dezembro de 2012

A otimização do processo de fresagem na Indústria Portuguesa de Moldes e o seu contributo para a sustentabilidade da empresa e do ambiente

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito.
Os autores e os trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

(Filipe Narciso)

A Universidade do Algarve e o Instituto Politécnico de Leiria têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

“Temos de aprender a viver todos como irmãos ou morreremos todos como loucos.”

Martin Luther King

A todos os que me apoiam, respeitam
e dão sentido à minha vida.

Agradecimentos

Neste momento não podia deixar de agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Susana Rodrigues pelo seu acompanhamento e disponibilidade em todos os momentos, mesmo naqueles em que parecia quase impossível.

Agradeço ainda à Faculdade de Economia da Universidade do Algarve, que me recebeu como aluno e, em especial, a todos os docentes que lecionaram este mestrado, investindo o seu tempo e esforço na partilha do saber e à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, pela parceria estabelecida com a Faculdade de Economia da Universidade do Algarve.

Gostaria ainda de expressar a minha gratidão à empresa onde foi desenvolvido o estudo, em especial às pessoas com quem contactei diretamente, pela sua atenção, tempo e sugestões e pela forma como confiaram em mim, disponibilizando a informação necessária.

Por fim, mas não por último, agradeço a solidariedade e confiança da minha família, importante para a consecução deste projeto e, em particular à minha companheira, Elisa Nazário, pelo carinho, apoio e incentivo em todos os momentos, sobretudo nos mais difíceis.

Estes agradecimentos estariam incompletos se não referisse os meus amigos, também eles fundamentais no apoio, encorajamento e confiança que depositam em mim e nas minhas capacidades e a todos os que, de alguma forma, confiaram em mim e no meu trabalho, contribuindo com sugestões e apoio.

ABSTRACT

This research aims at optimizing the production process during the milling stage in the Portuguese Moulds Industry (IPM) for the plastic injection, through the use of a new form of milling (increased lateral and axial increment of the tool) that contribute to the sustainability of the company (energy saving, machine-saving hours) and to reducing their environmental impact (reduction of carbon dioxide emissions). Thus, the adoption of a new milling strategy will contribute to the company's competitiveness through the optimized use of energy resources and of skilled labour, as well as reduce carbon dioxide emissions (CO₂).

During the study was analyzed secondary information in order to contextualize and understand the IPM, in particular one of the stages of its production process – milling. In this way, the study took place in a company situated in Marinha Grande (Portugal) and focuses on the moulds produced by the same company in 2010. From a stratified random probability sample, justified by the tonnage diversity of the moulds and by the representativeness of the results, simulations of two milling strategies were carried out (a commonly used – conventional – and proposed – sustainable) in order to measure the times resulting from simulations. Thus, by the obtained results was possible the comparative analysis of figures relative to the man-machine hours, the energy consumption and carbon dioxide emissions (CO₂).

The results, obtained from the measurement of time relative to the two milling simulations (conventional and sustainable), show a significant reduction in simulation times (more than 2 months useful work) when opting for sustainable milling, which is reflected in the man-machine hours required, energy consumption and carbon dioxide emissions (CO₂). Moreover, these immediate gains are accompanied by the possibility of meeting the deadlines stipulated with clients, produce more moulds with the same resources and reduce environmental impact, increasing the company's competitiveness and improving its image among stakeholders. Thus, the optimization of the milling process and the consequent reduction in time used, is important for the economic use of resources and energy, contributing to the competitive potential of the company and its environmental sustainability.

Keywords: milling; optimization of the production process; moulds industry; sustentability.

RESUMO

Esta investigação visa estudar a otimização do processo produtivo na fase da fresagem na Indústria Portuguesa de Moldes (IPM) para a injeção de plásticos, através da utilização de uma nova forma de fresagem (aumento do incremento lateral e axial da ferramenta) que contribuirá para a sustentabilidade da empresa (economia energética, economia de horas-máquina) e para a diminuição do seu impacto ambiental (redução da emissão de dióxido de carbono). Assim, a adoção de um novo processo de fresagem contribuirá para a competitividade da empresa através da utilização otimizada dos recursos energéticos e de mão-de-obra, assim como para a diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO₂).

Durante o estudo foi analisada a informação secundária para contextualização e compreensão da IPM, designadamente numa das fases do seu processo produtivo – fresagem. Assim, o estudo decorreu numa empresa da Marinha Grande (Portugal) e incide sobre os moldes produzidos por esta em 2010. A partir de uma amostra probabilística aleatória estratificada, justificada pela diversidade de tonelagens dos moldes e pela representatividade dos resultados, realizaram-se simulações, através do uso do *software WorkNc*, utilizando duas estratégias de maquinação (a usualmente utilizada - convencional - e a proposta - sustentável) com o intuito de medir os tempos resultantes das simulações. Assim, obtiveram-se resultados que tornaram possível a análise comparativa de valores relativos às horas homem-máquina, aos consumos de energia e às emissões de dióxido de carbono (CO₂).

Os resultados, obtidos a partir da medição dos tempos das simulações relativas às duas fresagens (convencional e sustentável), mostram uma redução significativa nos tempos de simulação (mais de 2 meses úteis de trabalho) quando se opta pela fresagem sustentável, o que se reflete nas horas necessárias de homem-máquina, no consumo energético e na emissão de dióxido de carbono (CO₂). Por outro lado, estes ganhos imediatos são acompanhados pela possibilidade de cumprir os prazos estipulados com os clientes, produzir mais moldes com os mesmos recursos e diminuir o impacto ambiental, aumentando a competitividade da empresa e melhorando a sua imagem junto dos *stakeholders*. Assim, a otimização do processo de fresagem e a consequente diminuição dos tempos utilizados, é importante pela economia na utilização dos recursos humanos e energéticos, contribuindo para o potencial competitivo da empresa e para a sua sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: fresagem; otimização do processo produtivo; a indústria de moldes; sustentabilidade.

Lista de Figuras

Figura 1 – Balança comercial do setor entre 2006-2010	11
Figura 2 – Principais indústrias clientes em 2010	13
Figura 3 – Conceito de empresa sustentável	18
Figura 4 – Processo de concepção e fabrico de moldes	22
Figura 5 – Parâmetros de corte da maquinação convencional, de alta velocidade e de alto rendimento	24
Figura 6 – Efeitos do incremento da velocidade de corte sobre a ferramenta	26
Figura 7 – Peça usada por Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997) para simulações contendo os desvios provocados pela ferramenta após experiência	28
Figura 8 – Emissão de dióxido de carbono (CO ₂) na indústria transformadora	30
Figura 9 – Consumo de energia final por setor de atividade	31
Figura 10 – Modelo de investigação	32
Figura 11 – Identificação da zona moldante (1) e da zona de ajuste (2) num molde	41
Figura 12 – Janela de compilação do programa <i>WorkNc</i>	52

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Posição e quota de Portugal nas exportações mundiais no setor	10
Tabela 2 – Principais destinos dos moldes portugueses em 2010	12
Tabela 3 – Diferenças entre a maquinaria de alta velocidade e a maquinaria de alto rendimento	25
Tabela 4 – Medição dos tempos de maquinaria – estudo da <i>Tekniker</i> (2008)	26
Tabela 5 – Classes de dimensões dos moldes VS designação do tipo de molde	36
Tabela 6 – Distribuição do n.º de elementos a analisar em cada estrato	36
Tabela 7 – Classes de dimensões dos moldes (unidade tonelada) com amostras por estrato	38
Tabela 8 – Síntese dos parâmetros de corte	47
Tabela 9 – Síntese dos tempos das simulações efetuadas	57
Tabela 10 – Exemplo de diferenças entre áreas não projetadas intra estratos e entre estratos	59
Tabela 11 – Síntese da economia em recursos humanos devido à simulação sustentável	61
Tabela 12 – Consumo médio das CNC (kW)	62
Tabela 13 – Síntese da economia energética com recurso à simulação sustentável	63
Tabela 14 – Síntese da quantidade de dióxido de carbono (CO ₂) não emitido para a atmosfera com recurso à simulação sustentável	65
Tabela 15 – Síntese dos resultados da investigação	67

Lista de Equações

Equação 1 – Proporção a usar em cada estrato (sh)	37
Equação 2 – Tamanho da amostra para cada estrato i (nh_i)	37
Equação 3 – Tamanho da amostra probabilística estratificada (n)	38
Equação 4 – Precisão da estimativa das diferenças dos tempos de simulação	39
Equação 5 – Economia em homem/máquina resultante da diferença de simulação	61
Equação 6 – Consumo energético médio na simulação (kWh)	62
Equação 7 – Economia energética (€) proveniente da diferença de tempos de simulação	63

Lista de Abreviaturas

- ae – incremento radial (lateral)
- AICEP – Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal
- ap – incremento axial (em nível Z)
- CAD – Computer Aided Design
- CAE – Computer Assisted Engineering
- CAM – Computer Aided Manufacturing
- CEFAMOL – Associação Nacional da Indústria de Moldes Portuguesa
- CNC – Computer Numeric Control (controlo numérico computadorizado)
- CO₂ – Dióxido de Carbono
- EDP – Energias de Portugal
- EUA – Estados Unidos da América
- FEIS – Fábrica Escola Irmãos Stephens
- fz – avanço por dente
- IPM – Indústria Portuguesa de Moldes
- ktep – quilo tonelada equivalente de petróleo
- mm – milímetro
- mm/min – unidade do avanço da ferramenta (milímetros por minuto)
- NC – Numeric Control (controlo numérico)
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PME – Pequena e Média Empresa
- SI – Sistema Internacional
- Ton – toneladas
- TÜV – Technischer Überwachungs-Verein
- VC – Variável de Controlo
- VD – Variável Dependente
- VE – Variável Externa ou Parasita
- VI – Variável Independente
- VM – Variável Moderadora
- WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

ÍNDICE

ABSTRACT	i
RESUMO	iii
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
Lista de Equações	vii
Lista de Abreviaturas	viii
ÍNDICE	ix
PARTE I	1
1 Introdução	1
2 Argumentos que sustentam a relevância do tema	3
3 Problema da investigação	4
3.1 Objetivos do estudo	4
3.2 Questões de pesquisa	5
4 A Indústria Portuguesa de Moldes (IPM)	5
4.1 O que é um molde?	5
4.2 Evolução Histórica da Indústria Portuguesa de Moldes	6
4.3 Crescimento e Caracterização da Indústria Portuguesa de Moldes	8
5 REVISÃO DA LITERATURA	14
5.1 Desenvolvimento Sustentável	14
5.1.1 A sustentabilidade da empresa	15
5.2 A empresa sustentável	17
5.3 O conceito de otimização	20
5.4 O processo produtivo da Indústria Portuguesa de Moldes	20
5.5 A otimização do processo produtivo na Indústria Portuguesa de Moldes	27
6 Hipóteses	31
7 Modelo de investigação	32
PARTE II	33
8 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO	33
8.1 Recolha de informação: dados primários e secundários	33
8.2 Tipo de investigação	34
8.3 População	34
8.4 Amostra	35
8.5 Caracterização da empresa onde se realizou o estudo	40
8.6 Procedimentos para a simulação	40

8.7	Variáveis	43
8.8	Grupo de controlo e grupo experimental	45
8.9	Recolha e definição dos parâmetros de corte	46
8.10	Modelo de Simulação por Computador	47
8.11	<i>Software</i> utilizado	49
8.11.1	Metodologia de desenvolvimento do modelo de simulação	49
8.12	Validade interna e validade externa	52
PARTE III		55
9	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	55
9.1	Fresagem	55
9.2	Economia na utilização dos recursos	60
9.2.1	Recursos humanos: custo da hora homem-máquina	61
9.2.2	Recursos energéticos	62
9.2.3	Recursos ambientais: emissões de dióxido de carbono (CO ₂)	64
10	CONCLUSÕES	68
10.1	Implicações para o conhecimento académico	71
10.2	Implicações para a gestão	71
10.3	Limitações do estudo	73
10.4	Sugestões para estudos futuros	73
11	Referências Bibliográficas	74
12	Webgrafia	78
ANEXOS		79

PARTE I

A primeira é constituída pela introdução, justificação da relevância do tema, apresentação do problema de investigação, caracterização da IPM e revisão da literatura. Assim, contextualiza-se a otimização do processo produtivo na IPM numa perspetiva sustentável que contribua, por um lado, para que a empresa se torne mais competitiva (redução dos consumos de mão-de-obra e energia) e, por outro, contribua para a preservação do meio ambiente para as novas gerações (com a diminuição do consumo energético e conseqüente redução nas emissões de dióxido de carbono para a atmosfera). Por fim, foram definidas as hipóteses a testar e delineou-se o modelo de investigação.

1 Introdução

Esta dissertação tem como objetivo contribuir para a otimização do processo produtivo na Indústria Portuguesa de Moldes (IPM) para a injeção de plástico através da redução dos tempos de fresagem na maquinação das zonas de ajuste das cavidades e buchas. É importante salientar que a fresagem é fundamental no processo de fabricação do molde, pois este é o método mais económico de remoção de material na definição da geometria da peça pretendida. Desta forma, a maioria das peças passa por esta secção, sendo por isso considerada o “coração” do processo produtivo da indústria de moldes.

Neste contexto será apresentado um processo de fresagem inovador/sustentável¹ quando comparada à vulgarmente utilizada/convencional² e serão analisados os resultados obtidos através de simulação.

No setor dos moldes, a otimização do processo produtivo é um tema particularmente relevante, uma vez que repensar os processos produtivos não só aumenta a competitividade das empresas através da eficiência dos processos, como contribui para a proteção do meio ambiente, numa perspetiva sustentável. A preocupação com o impacto ambiental da atividade contribui para a sustentabilidade da empresa, na medida em que permite a diminuição dos custos e melhora a sua relação com o mercado.

¹ Entende-se por **fresagem sustentável** a alternativa proposta neste estudo e que implica a diferenciação de acabamentos entre a zona moldante e a zona de ajustamento. Neste tipo de fresagem aumentar-se-á o incremento axial e/ou radial consoante a operação de acabamento.

² Entende-se por **fresagem convencional** a que se efetua atualmente e que se caracteriza pelo mesmo tipo de maquinação nas zonas moldante e de ajuste.

Esta investigação centra-se na análise de diferentes estratégias de maquinação (a convencional e a sustentável) e na medição dos seus tempos através de simulação. Pretende-se apurar se os parâmetros de corte influenciam os tempos de produção de moldes com diferentes tonelagens e verificar se a estratégia de maquinação proposta, designada por sustentável diminui os custos da empresa e o seu impacto ambiental. Pretende-se, através de um processo de simulação em *software* (utilizado quotidianamente na empresa para a criação de programas), medir os efeitos diretos das estratégias de maquinação simuladas nos tempos produtivos, e os indiretos nas horas homem-máquina, no consumo de energia e no ambiente.

Este estudo está dividido em 3 partes. A primeira é constituída pela introdução, justificação da relevância do tema, apresentação do problema de investigação, caracterização da IPM e revisão da literatura. Assim, contextualiza-se a otimização do processo produtivo na IPM numa perspetiva sustentável que contribua, por um lado, para que a empresa se torne mais competitiva (redução dos consumos de mão-de-obra e energia) e, por outro, contribua para a preservação do meio ambiente para as novas gerações (com a diminuição do consumo energético e conseqüente redução nas emissões de dióxido de carbono para a atmosfera). Por fim, foram definidas as hipóteses a testar e delineou-se o modelo de investigação.

Na segunda parte explica-se o processo de construção da investigação em todos os seus momentos: recolha de informação, tipo de investigação escolhido, população a que se destina, construção da amostra, caracterização da empresa onde se realizou o estudo, as variáveis e os grupos de controlo e experimental, a recolha e definição dos parâmetros de corte, o modelo de simulação por computador, o *software* utilizado e, por fim, a validade interna e externa do estudo.

Na terceira parte serão analisados e discutidos os resultados relativos às diferenças de tempos entre as simulações convencional e sustentável (simulação proposta nesta dissertação) relativamente ao processo da fresagem e dos recursos (humanos, energéticos e ambientais) e apresentadas as implicações para o conhecimento académico e para a gestão. Serão ainda enunciadas as limitações do estudo e algumas sugestões para futuros estudos.

2 Argumentos que sustentam a relevância do tema

Tradicionalmente, desenvolvimento económico e proteção ambiental aparecem como elementos inconciliáveis. No entanto, é impossível não perceber que, por um lado, o planeta tem uma capacidade limitada enquanto fornecedor de recursos e, por outro, o crescimento populacional e a alteração dos padrões de consumo, levaram à necessidade de um aumento de produção (Ferreira, 2010). Segundo Savitz (2007) e o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2010)³, em 2050, com a população mundial a aproximar-se dos 9 mil milhões, serão necessários recursos de cinco planetas como a Terra para que os povos da China, Índia e África consumam recursos com a mesma intensidade dos americanos de hoje.

A ONU (2011a) alertou para a importância da escassez de recursos, considerando que este será o grande desafio do setor industrial, uma vez que a escassez dos recursos reflete-se nos custos da matéria-prima e da energia utilizadas durante o processo produtivo. O que se propõe nesta dissertação é a otimização do processo produtivo no setor da fresagem na Indústria Portuguesa de Moldes (IPM), pois as empresas que rendibilizarem melhor o uso dos recursos, aprimorando os seus processos produtivos, serão mais eficientes e competitivas e, naturalmente, mais sustentáveis. Nesta dissertação pretende-se mostrar que a alteração de alguns procedimentos adotados poderá colocar o setor dos moldes português em vantagem, aumentando a sua competitividade nacional e internacional. De acordo com Young (2007) e El-Haggar (2007), as empresas lucram com a sustentabilidade, isto é, a eficiência dos processos leva a uma maior sustentabilidade da empresa e, por outro lado, melhora a sua relação com o mercado. Neste contexto, os materiais escolhidos para a produção de um bem devem ser cuidadosamente selecionados, pois assim minimiza-se, por um lado, o desperdício de matéria-prima e, por outro, os impactos ambientais ao evitar emissões de dióxido de carbono (CO₂), por exemplo.

Esta dissertação centra-se no processo produtivo, ou seja, no momento em que ocorre a transformação da matéria-prima (aço) na ferramenta (o molde) através do processo de maquinação/fresagem. Deste modo propõe-se um repensar da operacionalização do processo produtivo, tal como sugere El-Haggar (2007), aquando da construção do

³ in ONU, 2011a

programa de CNC (a simulação do percurso da ferramenta⁴), reduzindo os tempos de maquinação e, com isso, o consumo de recursos humanos, energia, consumíveis, entre outros, enquanto se minimizam os impactos ambientais. Neste estudo pretende-se, a um tempo, que a IPM contribua para um desenvolvimento sustentável e para a otimização do processo produtivo através da adoção da fresagem sustentável, contribuindo para a diminuição dos custos de produção e do impacto ambiental da empresa, além de melhorar a sua imagem e a dos seus produtos (Young, 2007).

3 Problema da investigação

3.1 Objetivos do estudo

Os objetivos definidos para este estudo são:

- reduzir os tempos de maquinação nas zonas moldantes (cavidade e bucha) na fase de acabamento da fresagem do processo produtivo do molde;
- analisar a relação entre os tipos de fresagem e respetivos tempos na fase de acabamento do processo produtivo do molde;
- desenvolver e implementar o processo de fresagem sustentável para economizar recursos humanos, diminuir o consumo energético e a emissão de dióxido de carbono;
- verificar se o processo de fresagem sustentável diminui o impacto ambiental;
- aplicar este estudo a moldes com diferentes dimensões (tonelagens).

De acordo com Malakooti e Deviprasad (1989) e Hatna, Grieve e Broomhead (1998), a otimização das condições de corte (da fresagem) deve implicar a maximização da remoção de material na fase de desbaste, garantir a qualidade desejada e a tolerância pré-definida na superfície maquinada na fase de acabamento, pois assim será possível melhorar a produtividade, reduzir os tempos de maquinação e aumentar a vida útil das ferramentas. Neste contexto enquadram-se os objetivos definidos para este estudo, uma vez que se pretende reduzir os tempos de fresagem, de forma a melhorar a competitividade económica, e o impacto ambiental da empresa.

⁴ O percurso da ferramenta é constituído por vários incrementos radiais e axiais que, no seu conjunto, se designa por programa CNC.

3.2 Questões de pesquisa

Para cumprir os objetivos da investigação foram colocadas algumas questões de partida:

- o aumento do incremento radial e axial no programa de maquinação contribui para a otimização do processo de fresagem?
- aumentando o incremento radial e axial no programa de maquinação, conseguem-se melhores tempos de fresagem na fase de acabamento?
- estas alterações de programação podem ser utilizadas em moldes de diferentes dimensões (tonelagens)?
- recorrendo à fresagem sustentável, consegue-se reduzir os custos do processo produtivo nas empresas da IPM?
- a utilização da fresagem sustentável permite reduzir o impacto ambiental das empresas da IPM?

4 A Indústria Portuguesa de Moldes (IPM)

4.1 O que é um molde?

Um molde é um recipiente protótipo que tem por finalidade produzir um objeto com uma forma específica. Dentro da área dos moldes existem várias classificações em função da tecnologia utilizada ou da matéria-prima a moldar. Quanto à primeira, podem ser classificados em tecnologia de injeção, compressão, transferência, sopro, termoformação e rotativa. Quanto à segunda, podem ser classificados em termoplásticos, termoendurecíveis, borracha, ligas leves e vidro (Ferreira, 2001).

Um molde simples em aço (para a injeção de termoplásticos/plásticos) é constituído por duas partes: uma feminina (cavidade) e outra masculina (bucha ou macho) que encaixam uma na outra. Depois de encaixadas existe um espaço com uma espessura determinada e rigorosa na qual o fluido (matéria-prima) se aloja para ser moldado.

Os moldes são fabricados para uma grande variedade de indústrias com diferentes níveis de complexidade (podendo ir da indústria automóvel à agrícola). Não obstante, um molde individual não é mais do que uma ferramenta altamente personalizada,

servindo exclusivamente para produzir peças (em pequenas ou grandes séries) para as quais foi concebido (Rodrigues, 2002).

Consoante a complexidade, número de peças a injetar, tipo de indústria a que se destina, entre outros fatores, cada molde tem diferentes requisitos que influenciam diretamente o modo de construção, o tempo de entrega e o seu custo. Contudo, exigem um conjunto de requisitos dimensionais e geométricos, que requerem pessoas qualificadas e equipamentos precisos (Ferreira, 2001).

4.2 Evolução Histórica da Indústria Portuguesa de Moldes

Na génese da Indústria Portuguesa de Moldes para a injeção de materiais plásticos está a criação da primeira fábrica de vidro em Portugal (em 1719), mandada construir por D. João V em Coima, concelho do Barreiro, Lisboa, Portugal. No entanto, é apenas a 16 de outubro de 1769 que a “Real Fábrica do Vidro”, hoje conhecida por “Fábrica Escola Irmãos Stephens” (FEIS) (Ferreira, 2001; Rodrigues, 2002), inicia a sua atividade na Marinha Grande (Portugal), tornando-se fundamental no desenvolvimento de competências dos trabalhadores que seriam, posteriormente, utilizadas na indústria dos moldes (Rodrigues, 2002). Efetivamente, a história da IPM está intimamente ligada à da indústria portuguesa do vidro (Rodrigues, 2002), não só porque a segunda foi a precursora da primeira, mas também porque os primeiros moldes produzidos destinavam-se à indústria do vidro o que permitiu *“the development of a skilled workforce, as well as competences and technical capabilities that were essential for the production of moulds for plastic”* (Rodrigues, 2002:93).

O aparecimento da primeira fábrica de plásticos em Portugal (1935) traz uma nova oportunidade de desenvolvimento para o setor que, para além de servir a indústria vidreira, começa a produzir moldes para baquelite (uma das primeiras matérias-primas plásticas utilizadas na produção de tampas e de outras peças simples de plástico) (Ferreira, 2001). Aníbal H. Abrantes e o seu irmão iniciavam assim a produção de moldes para a indústria de plástico prensado, com a sua primeira unidade (molde) em 1937 (Rodrigues, 2002).

Apesar da II Guerra Mundial (1939-1945) ter afetado a produção de moldes nos dois polos industriais existentes em Portugal (Marinha Grande e Oliveira de Azeméis)

(Beira, 2007), é em 1944 que Aníbal H. Abrantes criou uma empresa dedicada exclusivamente à produção de moldes para a indústria de plástico, num passo precursor do que seria a IPM para plásticos (Rodrigues, 2002).

Em 1946 surgiu um novo tipo de matéria plástica, o termoplástico, “*que apresenta como característica fundamental a alteração de propriedades físicas e mecânicas como a temperatura*” (Ferreira, 2001). Nesse mesmo ano a Santos & Abrantes, em Oliveira de Azeméis produz o primeiro molde para injeção de termoplástico (Cefamol, 1996). Esta nova técnica para produzir peças em plástico revolucionou, a todos os níveis, o mercado de produção e comercialização de peças plásticas (Ferreira, 2001). A especificidade do setor permite a formação especializada e a qualificação de muitos colaboradores que empreenderam e criaram a sua própria empresa, contribuindo assim para o crescimento e desenvolvimento da IPM (Rodrigues, 2002). Atualmente ainda subsistem algumas dessas empresas, cuja reputação nacional e internacional é inquestionável (Rodrigues, 2002), geridas por pessoas que aprenderam a arte de “trabalhar o aço”. Eis a razão pela qual a Aníbal H. Abrantes foi considerada a “universidade” da IPM no setor dos moldes para injeção de plástico (Rodrigues, 2002).

Em 1954 o setor sofre outra transformação provocada pela internacionalização das vendas. Os primeiros países foram o Reino Unido e os Estados Unidos da América, seguindo-se todo o mundo (Rodrigues, 2002). Nessa altura toda a produção era exportada e este facto atraiu novos clientes estrangeiros, potenciando mais uma vez o crescimento do setor com o aparecimento de novos intermediários, empresas, fornecedores, entre outros agentes. O elevado consumo que se fazia sentir nos anos 50 potenciou o crescimento do setor, mantendo-se como núcleos fortes a Marinha Grande (concelho de Leiria) e Oliveira de Azeméis (concelho de Aveiro), que servia as indústrias automóvel, aeronáutica, eletrónica, eletrodomésticos e brinquedos (Rodrigues, 2002).

Em 1980, o país já exportava para mais de 50 países, existindo só na Marinha Grande 64 empresas, que empregavam um total de 2000 pessoas (Cefamol, 1996). Em 1983, a inovadora e visionária Aníbal H. Abrantes “*foi a primeira companhia europeia neste sector a instalar a tecnologia CAD⁵/CAM⁶, sistemas computadorizados utilizados em*

⁵ CAD – Computer Aided Design

⁶ CAM – Computer Aided Manufacturing

projecto de concepção e de produção” (Ferreira, 2001:20). Efetivamente, as empresas portuguesas estão entre as principais utilizadoras de tecnologia de apoio ao projeto e fabricação de moldes metálicos para a injeção de plástico (CAD/CAE⁷/CAM), o que, de acordo com Rodrigues (2002), permite aumentar a competitividade das empresas através da diminuição dos prazos de entrega e da redução dos custos, mas sem colocar em causa a qualidade do produto.

Desde então toda a IPM tem investido muito na sua modernização, de modo a estar atualizada tanto ao nível tecnológico, como em investigação e desenvolvimento, tal como afirma Rui Tocha, diretor geral do Centimfe (Tocha *in* Jornal Região de Leiria, 2012) “*A indústria está a fazer duas coisas: a investir no reforço da capacidade existente atual e já está a posicionar-se para entrar em novas cadeias de produção, para entrar em novos nichos tecnológicos*”.

4.3 Crescimento e Caracterização da Indústria Portuguesa de Moldes

Dados disponibilizados pela Cefamol (2011) indicam que, em 2010, o setor dos moldes português era constituído por “*532 empresas, com dimensão de PME, dedicadas à concepção, desenvolvimento e fabrico de moldes e ferramentas especiais, com uma distribuição geográfica bipolar entre Marinha Grande e Oliveira de Azeméis*” (Cefamol, 2011:2), empregando 8250 colaboradores até à data. Todavia, a subsistência do setor não tem sido linear e o seu processo de crescimento reflete esse percurso.

Após o crescimento contínuo nas décadas de 40 a 70 (Rodrigues, 2002), a indústria atinge um pico de crescimento nos anos 80, considerados os melhores de sempre da IPM (facto ao qual não é alheia a entrada de Portugal na União Europeia), uma vez que se verificou um aumento exponencial do fabrico de moldes, ajudado pelo rápido crescimento do “mercado de plásticos” internacional, tornando difícil à IPM responder a todos os pedidos dado que a oferta não conseguia satisfazer a procura (Rodrigues, 2002).

Nos anos 90 inicia-se o abrandamento da indústria resultante da competição crescente, da crise económica do início da década e das elevadas taxas de juro (O Molde n°20 e n°21, 1993). Nos anos 2000 acentuou-se essa tendência, levando a uma estagnação sem

⁷ CAE – Computer Assisted Engineering

precedentes do setor (Rodrigues, 2002). Não é com surpresa que se registou, até 2010, um ligeiro decréscimo na criação de empresas e na empregabilidade do setor que, até à data, era perspetivado como um exemplo da indústria nacional (O Molde nº 89, 2011; Cefamol, 2011).

A forma como a IPM atende às exigências dos seus clientes pode justificar o facto de cerca de 90% da produção se destinar à exportação (ver Figura 1), uma vez que este setor tem colaboradores com *know-how* e tecnologia adequada à satisfação das necessidades dos que procuram a indústria portuguesa, o que lhe tem permitido sobreviver às dificuldades. Segundo Vieira (2007:55)

“o sucesso da indústria de moldes nacional deve-se, fundamentalmente, aos seguintes aspectos:

- muito boa imagem internacional;*
- elevada capacidade para se adaptar às evoluções tecnológicas e de mercado;*
- sensibilidade à inovação e modernização;*
- elevada capacidade produtiva instalada, com utilização de novas tecnologias;*
- recursos humanos com forte experiência empírica.”*

Vieira (2007) acrescenta ainda que para manter os níveis de exportação o setor terá que primar pela tecnologia e pela modernização do parque de máquinas existente,

“só assim é que o sector será capaz de responder:

- às necessidades das indústrias clientes (cada vez mais exigentes);*
- à correcta gestão e planeamento da produção (para poder responder a prazos de entrega em tempo reduzido e oferecer preços competitivos);*
- ao controlo e melhoria da qualidade dos seus produtos e serviços (pelo investimento em formação profissional, que é fundamental para a criação destes elementos de competitividade, essenciais nos mercados internacionais)”* (Vieira, 2007:55-56).

O relatório da AICEP (Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal), publicado em 2012 (ver Tabela 1), mostra que no período 2005-2009 Portugal mantém-se, em termos médios, em 11.º lugar a nível mundial, com uma cota média de exportações de 3%, o que, em termos mundiais não é significativo, uma vez que, em 2009, a China e o Japão apresentam resultados relativos às exportações de 13,99% e 11,47%, respetivamente.

Tabela 1 – Posição e quota de Portugal nas exportações mundiais no setor

Posição e Quota de Portugal nas Exportações Mundiais do Sector						
	2005	2006	2007	2008	2009	Em 2009, China e Japão foram os principais exportadores mundiais de moldes, com quotas de 13,99% e 11,47%.
Posição	12	11	12	10	8	
Quota (%)	2,94	3,13	2,88	3,29	3,56	

Fonte: AICEP (2012)

Apesar de em termos internacionais Portugal não ter uma posição manifestamente expressiva, a IPM é importante para a economia nacional, pois dados de 2011 fornecidos pelo Banco de Portugal (2012) mostram que, de um modo geral, Portugal teve uma diminuição nas exportações de 0,9 pontos percentuais de 2010 (16%) para 2011 (15,1%). No entanto, no setor dos moldes verificou-se um aumento das exportações na ordem dos 15% em 2011 para diferentes países: Brasil (80%), Polónia (50%), França (50%) e Espanha (17%) (Jornal Região de Leiria, edição online de 30 de abril de 2012), o que, de acordo com João Faustino, presidente da Cefamol, em declarações ao Jornal Região de Leiria (edição online de 30 de abril de 2012), se deve a “*um retorno gradual de clientes que se tinham deslocalizado para a Ásia*” e que “*regressam afugentados por problemas a nível de qualidade, custos de manutenção durante o processo produtivo e questões ligadas à confidencialidade dos contratos*”.

É ainda importante salientar que o setor dos moldes se divide em duas zonas geográficas (Marinha Grande e Oliveira de Azeméis) desempenhando um papel importante para a economia local e para os níveis de empregabilidade das referidas regiões, tal como referido anteriormente, apesar destes terem diminuído em 2010 (O Molde n.º 89, 2011; Cefamol, 2011).

Na primeira década do século XXI observou-se uma diminuição na criação de empresas, mas tal como já foi referido, o setor dos moldes tem resistido às várias adversidades dos mercados, mantendo uma taxa média de exportação próxima dos 90% na década 2000-2010 e, segundo a Cefamol (2011), a balança comercial do setor dos moldes, na última década em Portugal, tem sido altamente exportadora, passando de 234,23 milhões de euros (ano 2000) para 259,2 milhões de euros (ano 2009).

O relatório do AICEP (2012) apresenta os valores de exportação do setor da IPM no período 2006-2010 (ver Figura 1). Observa-se que os valores de exportação são sempre muito superiores aos da importação, apesar desta ter aumentado. Estes dados corroboram os apresentados pela Cefamol (2011) para o ano de 2010, em que a IPM teria um volume de produção de 350 milhões de euros, dos quais 90% resultariam das exportações, o que equivale a 318 milhões de euros.

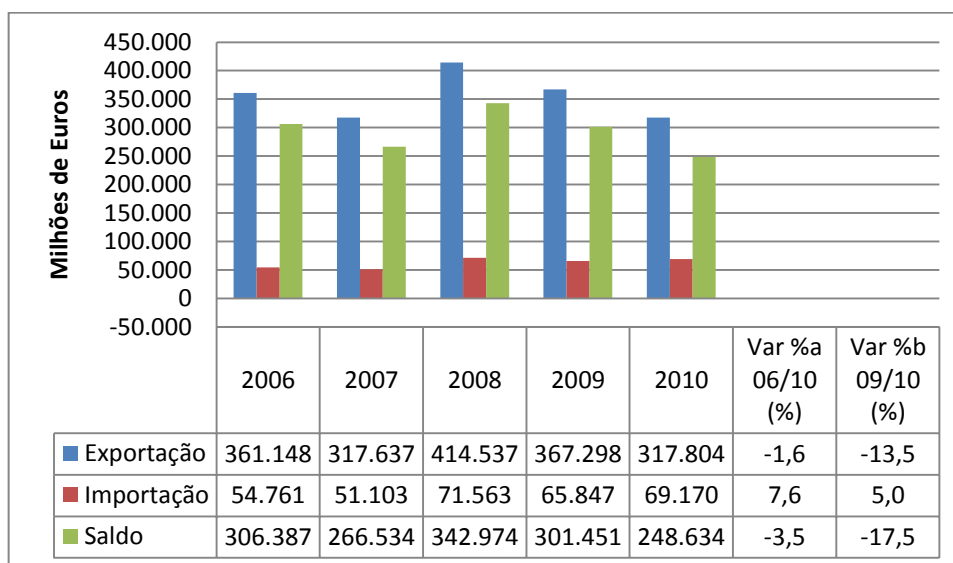


Figura 1 – Balança comercial do setor entre 2006-2010

(unidades - milhões de euros)

Fonte: AICEP (2012)

A predominância da exportação (aproximadamente 90% da produção nacional) (ver Tabela 2) protege o setor da situação económica portuguesa, mas torna-o altamente vulnerável à situação económica dos países clientes. No entanto, a sua diversidade comercial (as empresas clientes são de diversos ramos) e a diversidade de países (80 países) ajuda a baixar o risco a que o setor está exposto.

Com a elevada especialização do setor, inúmeros países recorrem aos serviços da IPM para obterem produtos de elevada qualidade. A Tabela 2 mostra que do total das exportações, 80% destinaram-se à zona económica europeia, da qual se destacam os seguintes países: Alemanha (27,97% que corresponde a 88,893 milhões de euros), Espanha (16,94% que corresponde a 53,836 milhões de euros), França (13,53% que

corresponde a 42,985 milhões de euros) e República Checa (3,99% que corresponde a 12,667 milhões de euros).

Tabela 2 – Principais destinos dos moldes portugueses em 2010
(unidade em milhões de euros e percentagem)

Principais Clientes do Setor	2010	
	Milhões Euros	%
Alemanha	88.893	27,97
Espanha	53.836	16,94
França	42.985	13,53
República Checa	12.667	3,99
México	11.710	3,68
Estados Unidos da América	11.669	3,67
Reino Unido	10.964	3,45
Argentina	9.681	3,05
Polónia	8.741	2,75
Brasil	8.030	2,53
Suiça	8.003	2,52
Bélgica	5.673	1,79
Holanda	5.381	1,69
Rússia	5.380	1,69
Eslováquia	4.004	1,26
Outros	30.188	9,50

Fonte: AICEP (2012)

Apesar da diversidade das indústrias clientes, na Figura 2 é notória a importância da indústria automóvel para a IPM, representando 72% da sua produção total (comparado com os 14% em 1991 (Cefamol, 1996)), claramente distanciada das indústrias de eletrodomésticos (6%) e embalagens (5%), entre outras, o que revela alguma vulnerabilidade na produção portuguesa de moldes (72% da exportação no ano de 2010 destinou-se à indústria automóvel) (Cefamol, 1996).

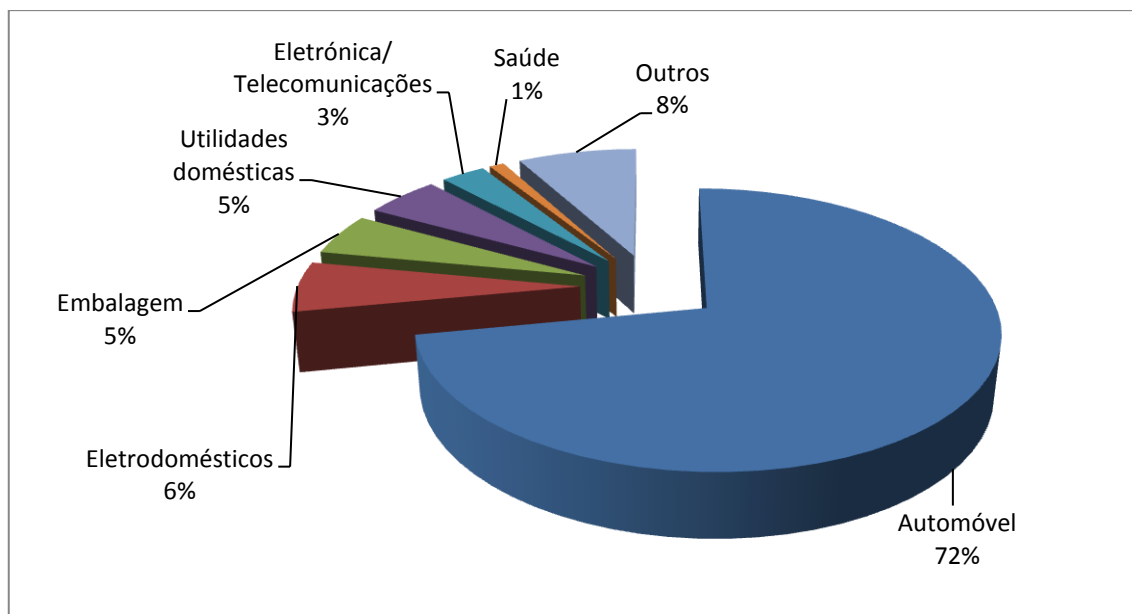


Figura 2 – Principais indústrias clientes em 2010

Fonte: Cefamol (2011)

Joaquim Menezes (presidente do grupo Iberomoldes) referiu, em entrevista à Revista Invest (2011), que a partir de Abril/Maio de 2011 (e intensificando-se nos meses de verão), as empresas portuguesas de moldes para a injeção de plástico verificaram um aumento de encomendas por parte de clientes europeus, nomeadamente da indústria automóvel, apesar de ser o "sector onde se verificou uma retracção nos últimos três anos" (Invest, 2011:10), facto corroborado pelo empresário Leonel Costa na referida revista. A aquisição de novos clientes e retorno de outros leva o empresário Joaquim Menezes (Invest, 2011:10) a afirmar que "a capacidade instalada para o cumprimento de prazos" é complicada, pois a indústria revela alguma dificuldade em satisfazer a procura. Para além do setor automóvel, também a indústria eletrónica, eléctrica, médica e farmacêutica estão a encomendar moldes para novos produtos (Joaquim Menezes, 2011; Leonel Costa, 2011 in Invest, 2011:10).

Por outro lado, a par com as mudanças e transformações nos mercados, as empresas passam agora por uma fase de transição (a passagem da gestão para a geração familiar seguinte, salvo rara exceção) (Cefamol, 2011), o que permite ao setor contar com uma nova geração de gestores mais preparada, com mais e melhores conhecimentos, fundamentais para a competitividade feroz dos atuais mercados, tal como ilustram os

resultados relativos às exportações apresentados pela China e pelo Japão em 2009 (ver Tabela 1): 13,99% e 11,47%, respetivamente (AICEP, 2012).

5 REVISÃO DA LITERATURA

Esta secção da dissertação incidirá sobre o processo de fresagem da IPM e a sua otimização numa perspetiva sustentável, o que implica a clarificação dos conceitos de otimização, de desenvolvimento sustentável e de empresa sustentável.

5.1 Desenvolvimento Sustentável

A noção de desenvolvimento sustentável apareceu pela primeira vez no relatório Bruntland da ONU em 1987 (ONU, 1991):

“O desenvolvimento supõe uma transformação progressiva da economia e da sociedade”, pelo que “O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (Relatório Brundtland, 1991:46).

No entanto, o que é o desenvolvimento sustentável, isto é, o que pode contribuir ativamente para uma transformação social que não comprometa as futuras gerações e satisfaça as necessidades da atual, é perspetivado de diversas formas por diferentes autores, apesar de todos considerarem os eixos económico, ambiental e social. Assim, Hoffman e Bazerman (2008) focaram-se na ecoeficiência, na responsabilidade social corporativa e na transparência e inclusão. Pereira (2009) defende que o desenvolvimento sustentável depende do equilíbrio dinâmico entre os três pilares: geração da riqueza, proteção ambiental e inclusão social. Loures (2009)⁸ acentua a ideia anterior ao afirmar que a defesa do desenvolvimento sustentável é a defesa das sociedades humanas e, em particular, das organizações, que dependem da transformação no modo como, por exemplo, se organizam os processos produtivos.

⁸ in Vasconcelos e Filho (2009)

Ferreira (2010) utilizou um inquérito baseado noutro já existente, construído pela “*Boston Consulting Group*” e o “*MIT Sloan*” com o propósito de compreender melhor a ligação da sustentabilidade à formulação das estratégias de negócio. Este inquérito foi efetuado a 350 indivíduos que trabalham em setores tão diferenciados como o ensino, a indústria, os serviços, entre outros. Para isso, Ferreira (2010) considerou importante saber o que as pessoas ligadas a um determinado ramo profissional entendem por sustentabilidade. O seu estudo permitiu-lhe concluir que sustentabilidade é um conceito que gera alguma discordância relativamente à sua definição concetual, pois o conceito mais escolhido pelos inquiridos (48%) foi o apresentado no Relatório Brundtland (1991:46), provavelmente por ser uma perspetiva mais abrangente e mais popular. As outras respostas associaram o conceito apenas à sua vertente ambiental, outras à manutenção e viabilidade financeira de um negócio, excluindo as vertentes ambiental e social, o que denota uma visão parcial do conceito.

Ferreira (2010) defende que o desenvolvimento sustentável implica a criação de novas soluções para os problemas e que as implicações desta forma de desenvolvimento (perspetiva de longo prazo, poupança, otimização e eficiência, interdependência e cooperação) são transversais a qualquer área. Todavia, alerta para o facto da resistência à mudança e da dependência relativamente à liderança poderem dificultar a implementação de medidas sustentáveis (redução do desperdício, melhoria da eficiência energética, soluções de energia “limpa”, redução ou eliminação de emissões de gases de efeito de estufa, entre outras).

Neste enquadramento, o autor considera desenvolvimento sustentável as implicações na redução de custos e no impacto ambiental das empresas que derivam de novas soluções adotadas no processo produtivo e que, em última análise, visam não comprometer as gerações presente e futuras no que concerne à disponibilidade dos recursos naturais, uma vez que a ONU (2011a) indicou como o desafio do século a escassez de recursos.

5.1.1 A sustentabilidade da empresa

Ferreira (2010) refere que a adoção de soluções que contribuam para a sustentabilidade implica uma perspetiva a longo prazo, otimização e eficiência, interdependência e cooperação o que permite poupar. Nesta perspetiva, otimizar o processo produtivo na fase da fresagem implica a adoção de novas soluções que contribuam para a eficiência

das empresas e poupança dos recursos, tornando a sustentabilidade numa aliada da competitividade.

Efetivamente, a sustentabilidade vai revelar-se fundamental, a médio e longo prazo, para a competitividade (Young, 2007; Ferreira, 2010) e as empresas que conseguirem desenvolver estratégias para enfrentar a escassez de recursos (energia, recursos humanos, consumíveis, entre outros) ganharão competitividade (Epstein, 2008; ONU, 2011b).

A sustentabilidade permite melhorar a imagem da empresa e a redução de custos, dando-lhe vantagem competitiva, pois as organizações sustentáveis são as que adotam estratégias que as tornam economicamente viáveis e competitivas preocupando-se com o meio ambiente e contribuindo para o desenvolvimento da região/país em que estão inseridas (Almeida, 2002; Leal, 2009)⁹. Assim, sustentabilidade é uma oportunidade de negócio e não um entrave ao desenvolvimento (Ferreira, 2010), pois contribui ativamente para a transformação das empresas e para a sua vantagem competitiva.

Gomes (2009), num estudo de caso na Corticeira Amorim entrevistou cinco gestores da organização¹⁰ e conclui que devido à especificidade da empresa, os gestores entendem a sustentabilidade como uma característica intrínseca ao desenvolvimento da própria empresa. De acordo com o diretor geral da Amorim&Irmãos, a sustentabilidade trouxe à empresa ganhos na “*cota de mercado; inovação; diferenciação; eficiência operacional com poupanças energéticas que ultrapassam já meio milhão de Euros*” (Gomes, 2009:71), facto que, em 2009, permitiu à empresa ser “*distinguida pelo Programa Motor Challenge (da Comissão Europeia) pela melhoria da eficiência energética*” (Gomes, 2009:72).

Das entrevistas realizadas aos gestores também ressalta a relação da sustentabilidade com a globalização da empresa, uma vez que estas questões “*já tinham relevância em mercados como a Austrália, EUA e outros antes de serem debatidos em Portugal*” (Gomes, 2009:70), e com o mercado, havendo clientes que procuram os seus produtos

⁹ in Menezes *et al*, 2010

¹⁰ “Jorge Peixoto, director geral da Amorim Florestal; Vítor Ribeiro, director geral da Amorim & Irmãos; Jorge Santos, director geral da Amorim Revestimentos; Paulo Oliveira, director geral da Amorim Cork Composites e Paulo Bessa, gestor para o Desenvolvimento Sustentável Corporativo da Corticeira Amorim, S.G.P.S., S.A.” Gomes (2009:44).

por serem sustentáveis, o que consideram “*um factor de diferenciação da empresa face aos concorrentes*” (Gomes, 2009:71) que

“passa fundamentalmente pela melhoria da imagem ao nível dos produtos e ao nível da credibilidade e profissionalismo da empresa, que ‘ajudam a sustentar os negócios’ e a reforçar o ‘reconhecimento institucional e internacional’ da Corticeira Amorim” (Gomes, 2009:71).

Neste sentido, também Ferreira (2010) conclui que há uma necessidade premente de desenvolver e implementar práticas sustentáveis, cujos benefícios se repercutem “*essencialmente na melhoria da imagem corporativa, mas também na redução de custos, na vantagem competitiva que se adquire ou na inovação do modelo de negócios*” (Ferreira, 2010:99).

No caso específico da IPM, é importante referir que a indústria tem que se mobilizar com o intuito de ajudar o seu cliente, com a “*introdução de novos modelos ecológicos no mercado*” (O Molde n.º 89, 2011) e, tal como El-Haggar (2007) acrescenta, estes “*novos modelos ecológicos*” poderão passar por novas tecnologias (equipamentos), novas formas de maquinação (como é o caso da fresagem sustentável), ou até mesmo novos materiais de injeção mais amigos do ambiente. O facto da sustentabilidade contribuir para a melhoria da imagem da empresa junto dos clientes, o que, além de ser uma vantagem competitiva, pode contribuir para a internacionalização das empresas (Gomes, 2009), é particularmente importante num setor altamente exportador como o dos moldes.

5.2 A empresa sustentável

De acordo com o que foi referido, o desenvolvimento de práticas sustentáveis, como a otimização do processo da fresagem, são fundamentais para a competitividade da empresa. Uma empresa sustentável (ver Figura 3) é uma empresa ecoeficiente, ou seja, atinge níveis de produção mais elevados com menor utilização de recursos e menos impactos negativos sobre o ambiente (Melo, 2006; Oliveira, 2008).

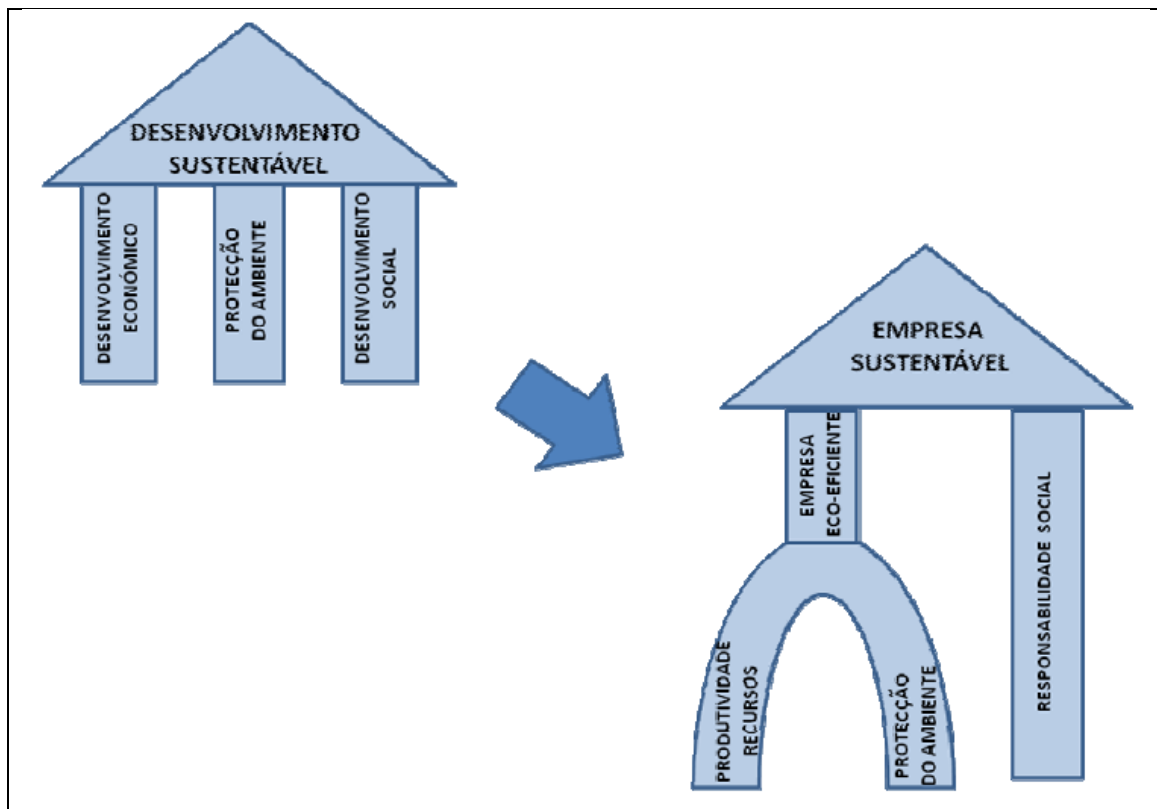


Figura 3 – Conceito de empresa sustentável

Fonte: Oliveira, 2008:18

A ecoeficiência promove a produção de riqueza através da utilização de menos recursos, tornando-se numa ferramenta indispensável para o desenvolvimento sustentável. O conceito surgiu em 1992 por Stephan Schmidheiny, e, em termos genéricos, defende que crescimento económico e preservação ambiental não são objetivos antagónicos e que a indústria não tem de ser, obrigatoriamente, parte do problema (Oliveira, 2008), pois a ecoeficiência permite conciliar a eficiência produtiva, a redução de custos e o uso sustentável dos recursos (Lins e Wajnberg, 2007¹¹).

Jorge (2011) realizou um estudo de caso na empresa Esporão S.A. sobre o consumo de água no processo de produção do vinho, importante para a empresa, uma vez que a água é um “*structural and strategic natural resource, being an essential factor for the company’s economic development*” (Jorge, 2011:1). Tal como a água é um recurso estratégico e estrutural para o processo produtivo do vinho, também a eletricidade o é para a IPM, pelo que se considerou o estudo importante em virtude de ter sido implementado em contexto produtivo na Esporão S.A..

¹¹ in Menezes et al, 2010

Jorge (2011) verificou que, no período de 2003-2009, os rácios entre o consumo de água no processo produtivo e a quantidade de litros de vinho produzidos na empresa tinham o valor médio de 3 pontos por litros de água consumidos vs litros de vinho produzidos, longe dos 0,75 produzidos em França e Itália.

Assim, o estudo tem por objetivo central identificar em que momentos do processo produtivo se pode reduzir o consumo de água, de modo a ser possível adotar soluções ecoeficientes que melhorem a competitividade da empresa e o desenvolvimento de processos que tenham impactos ambientais minorados. Depois de identificar as atividades (20% do total) nas quais se utilizavam 80% da água consumida foram sugeridas algumas alterações nos processos de esterilização das garrafas, nos tempos das atividades e nos equipamentos utilizados, por exemplo, e procedeu-se à medição dos resultados.

A análise dos rácios de consumo de água por litro de vinho produzido permite constatar que se verificou uma redução do consumo relativamente ao período 2006-2009, apesar de ainda não chegar aos valores apresentados por outros países, tal como já foi referido.

De acordo com Jorge (2011:8) pode-se concluir que não só é fundamental perspetivar o consumo de água como um fator importante para a sustentabilidade da empresa, assim como reduzir esses consumos, pois *“operations and processes efficiency are important for the economic and environmental sustainability of business”*, pelo que a Esporão S.A. irá adotar a mesma metodologia para o consumo de energia durante o processo produtivo, de forma a torná-lo mais eficiente.

É importante referir que o estudo desenvolvido por Jorge (2011) na Esporão S.A implicou a deteção de lacunas no processo produtivo e o desenvolvimento de estratégias para minimizar os custos de laboração através da redução do consumo de água, o que contribuiu para a sustentabilidade económica e ambiental da empresa. Nesta sequência, o estudo desta dissertação pretende verificar em que medida a otimização do processo produtivo, através da utilização de um processo de fresagem sustentável, permite rendibilizar a mão-de-obra disponível e reduzir o consumo de energia, contribuindo para a sustentabilidade económica e ambiental da empresa.

5.3 O conceito de otimização

Matematicamente, o conceito de otimização refere-se ao estudo de problemas em que se procura os extremos (mínimos ou máximos) de uma função, através da escolha sistemática dos valores de variáveis reais ou inteiras, dentro de um conjunto variável (Ravindran, Ragsdell e Reklaitis, 2006).

Deste modo, os matemáticos consideram que, em qualquer problema de otimização, existem duas questões gerais (estática e dinâmica) que têm que ser feitas e consequentemente respondidas, sendo elas:

- Como é que se pode afirmar que o ponto X é a solução ótima? (questão estática);
- Se X não é a solução ótima do problema, então qual é? (questão dinâmica). (Ravindran *et al*, 2006).

Sun e Yuan (2006) afirmam que a partir da exploração das possibilidades teóricas, pretende-se reestruturar um determinado “problema”, procurando a melhor decisão possível em ambiente real com o objetivo de obter o maior rendimento possível, criando as condições mais favoráveis à solução que, de entre todas as soluções possíveis, conduz aos resultados mais satisfatórios.

Neste estudo, propõe-se uma fresagem sustentável que passa por encontrar uma alternativa ao atual “ponto X” (questão dinâmica), ou seja, diminuir os tempos de maquinação sem com isso diminuir a qualidade final do produto (zona moldante do molde).

5.4 O processo produtivo da Indústria Portuguesa de Moldes

O estudo desta dissertação recairá sobre a secção da fresagem, aquando da execução da bucha e cavidade do molde. A fresagem é uma das operações de maquinação do molde, recorrendo a ferramentas com várias arestas de corte dispostas regularmente em torno de um eixo de rotação (Sun e Yuan, 2006).

Na IPM, a fresagem é considerada o ‘coração’ do processo produtivo da indústria de moldes, pois a maioria das peças passa por esta secção. Tal como afirmam Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997:325) “a forma mais rápida e económica de produzir

moldes é pelo processo directo de fresagem comparativamente à tecnologia de erosão". Neste seguimento, otimizar o processo produtivo nesta fase, permitirá à empresa aumentar a competitividade e rendibilidade.

Para melhor se compreender o processo produtivo do molde e a localização da fase da fresagem, apresenta-se a Figura 4. Pode-se verificar que as secções estão intimamente ligadas, seja numa relação sequencial, seja numa relação paralela. Só uma coordenação efetiva a partir da especificidade do molde e da estrutura da empresa, nomeadamente no setor da produção, é que permite resultados positivos.

Para Sönmez *et al* (1999), o tempo de produção é constituído pela preparação da máquina, carga e descarga desta, ajustamento no processo e avanços rápidos, maquinação e troca de ferramenta.

Este estudo centra-se na otimização na fase da fresagem através do ajustamento dos parâmetros de corte (incremento radial e axial da ferramenta) nas zonas de ajuste das cavidades e buchas dos moldes, para reduzir os tempos de simulação. Bieker (1991)¹² afirma que *“para uma maquinação mais económica, um dos pré-requisitos mais importantes é ter condições de corte ideais”*. Os parâmetros de corte serão recolhidos junto de várias fontes: do *software* utilizado, programadores e colaboradores que trabalham com as CNC. Este fator é importante, porque cada peça tem uma geometria diferente, o que implica que todos estes parâmetros de corte terão que ser ajustados à geometria a maquinar (Park e Kim, 1998; Hatna *et al*, 1998).

Os parâmetros de corte eficientes na fresagem têm sido um problema de há quase um século e atualmente, mais do que nunca, os parâmetros ótimos de fresagem continuam a ser uma grande preocupação para a fase da produção, havendo uma grande necessidade de otimizá-los pela sua elevada importância no mundo atual da fabricação (Tolouei-Rad e Bidhendi (1996), Cefamol (1996), influenciando diretamente os tempos de produção (base desta investigação). Os parâmetros de corte a especificar neste estudo serão:

- incremento axial (deslocamento em Z da ferramenta, por níveis) (ap);
- incremento radial (deslocamento lateral da ferramenta) (ae).

¹² in Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997:325)

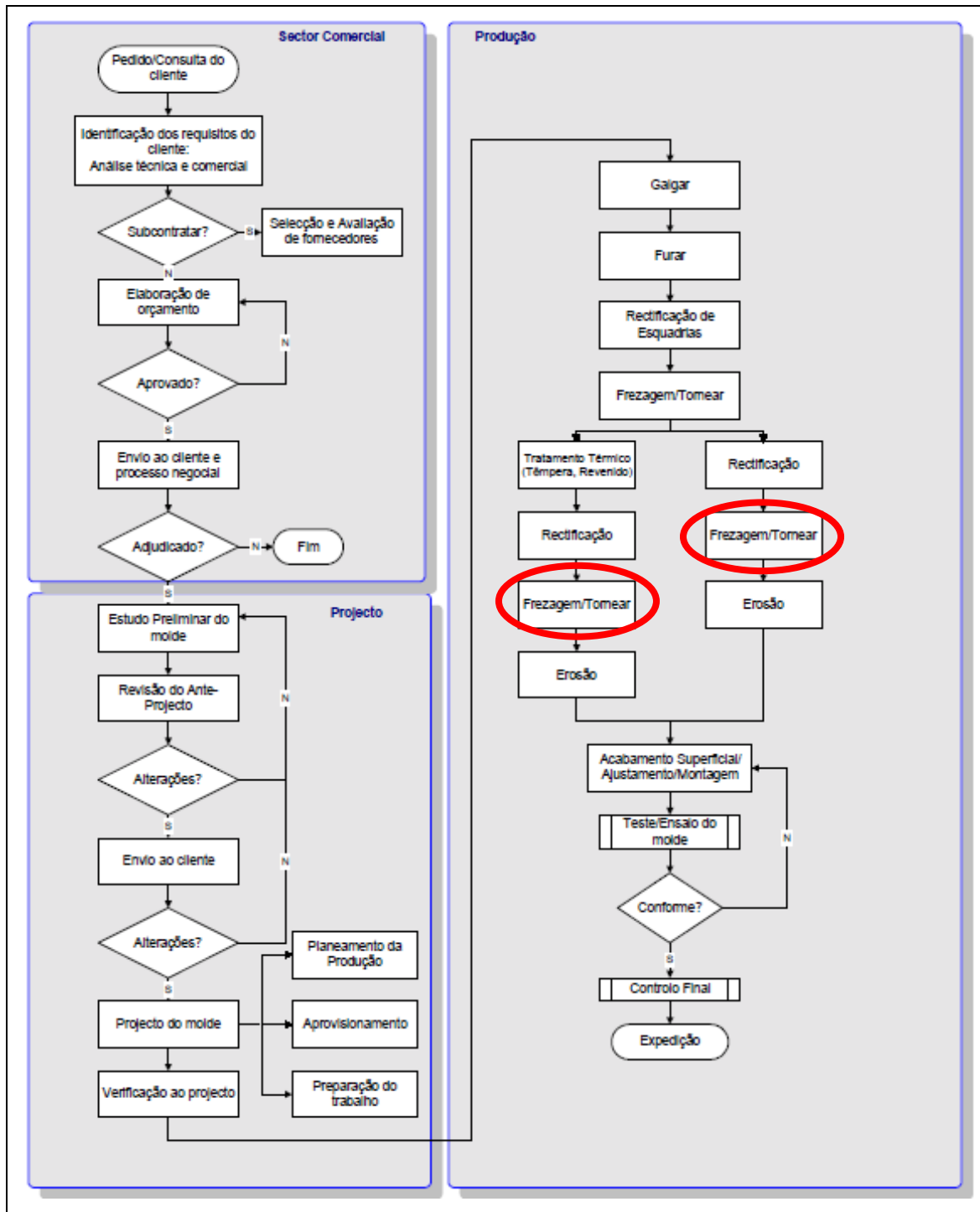


Figura 4 – Processo de conceção e fabrico de moldes

Fonte: Ferreira, 2001:34

Recorrendo aos dois fatores acima apresentados, pode-se chegar aos parâmetros utilizados em CNC e, tal como defende Agapiou (1992), existem três parâmetros fundamentais para a otimização da maquinação em máquinas-ferramenta CNC. Esses parâmetros são:

- máxima rotação (S) possível;
- mínimo (na aproximação ferramenta-aço) e máximo avanço (F) (em corte) possível;
- máximo incremento axial (ap)/radial (ae) possível da fresa no momento do corte.

Um problema fundamental observado na aplicação dos parâmetros de corte recomendados pelos fabricantes é a diferença entre as condições que resultam em laboratório e as condições reais de trabalho. Os testes realizados pelos fornecedores de ferramentas são efetuados em condições ótimas e estão desajustadas relativamente à realidade da fabricação de moldes, ou seja, os testes são desenvolvidos em ambiente controlado (temperatura constante), com equipamentos adequados à ferramenta, por exemplo, enquanto nas empresas a temperatura não é constante e, frequentemente, é necessário adaptar as ferramentas disponíveis no mercado ao parque de máquinas. Em consequência, os programadores e operadores das CNC têm de baixar os valores dos parâmetros de corte recomendados, adaptando-os às condições dos equipamentos, ferramentas, acessórios, entre outros. Segundo Adamczyk (2004), a escolha dos parâmetros de corte determina os resultados dos testes das ferramentas usadas em produção, que podem ser muito semelhantes aos 'reais' (condições de maquinação), e devem ter-se em consideração vários critérios como o desgaste da ferramenta e especificações do próprio processo de maquinação.

A *Tekniker IK4 Research Aliance* (2008) realizou um estudo com o objetivo de comparar os tempos de maquinação convencional, com os de alta velocidade e os de alto rendimento, recorrendo à alteração dos parâmetros de corte usados, tal como está apresentado na Figura 5. O que distingue os três tipos de maquinação é a velocidade de corte que, em última análise, permite uma melhoria nos tempos finais. Por exemplo, a fresagem de alta velocidade tem uma velocidade de corte de 5 a 10 vezes superior à da fresagem convencional para o mesmo material.

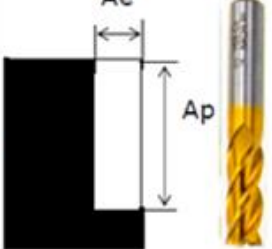
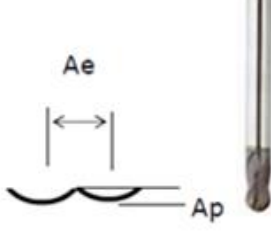
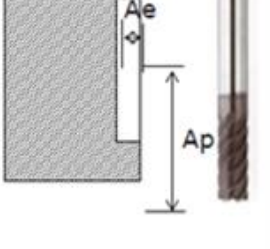
	Método convencional	Alta velocidade	Alto rendimento
R.P.M.	30-2.000	12.000-42.000	1.000-18.000
Avanço mm/min.	30-300	1.000-20.000	500-10.000
Prof. de corte (mm)	Ap:10-15 Ae:2-5 	Ap:0,3-4 Ae:0,3-1 	Ap:10-15 Ae:0,5-1 
Fresa Ø10mm			
Volume extraído	1-20 cm ³ /min.	1-60cm ³ /min.	1-150cm ³ /min.

Figura 5 – Parâmetros de corte da maquinação convencional, de alta velocidade e de alto rendimento

Fonte: *Tekniker* (2008)

Todavia, entre a maquinação de alta velocidade e a de alto rendimento são enunciadas outras diferenças além dos já referidos parâmetros de corte (ver Tabela 3) que podem influenciar os tempos de maquinação.

Tabela 3 – Diferenças entre a maquinação de alta velocidade e a maquinação de alto rendimento

	Maquinação de alta velocidade	Maquinação de alto rendimento
Magnitude de alcance	Rendimento superior (cm ² /min.)	Volume de apara por unidade de tempo (cm ³ /min.)
Programação	Fresagem volumétrica 3D Superfícies complexas	Fresagem volumétrica 2D Fatores determinantes ap, ae, fz
Capacidade da máquina	Capacidade de fresagem em 3D Elevada velocidade de avanço, dinâmica, amortecimento “construção ligeira”	Capacidade de fresagem em 2D Elevada força de corte, elevados pares, rigidez e robustez
Limalha/apara	Reduzido volume de apara Apara fina flutuante e em forma de agulha	Elevado volume de apara
Áreas de aplicação	Estampagem e acabamentos Construção de moldes e ferramentas de acabamento Fresagem de desbaste Estruturas de paredes finas	Setor aeroespacial Construção de moldes e ferramentas de desbaste Peças planas e placas Peças cúbicas e caixas Peças em séries em alumínio

Fonte: *Tekniker* (2008)

Na maquinação de alto rendimento conseguem-se melhorias significativas, pois o volume de material removido aumenta drasticamente com o aumento da velocidade de corte, que se traduz no avanço da ferramenta (mm/min)¹³. Apesar da elevada taxa de remoção de material, as forças de corte aplicadas no aço, através da ferramenta, diminuem drasticamente, pois o incremento (radial e axial) também é menor. Em simultâneo, a qualidade superficial maquinada é melhorada. Como em qualquer técnica, também existem aspetos menos favoráveis, como é o caso da vida útil da ferramenta que diminui com o aumento da velocidade de corte, pois sofre um maior desgaste (ver Figura 6).

¹³ mm/min (milímetro por minuto) é a unidade de medida do avanço da ferramenta

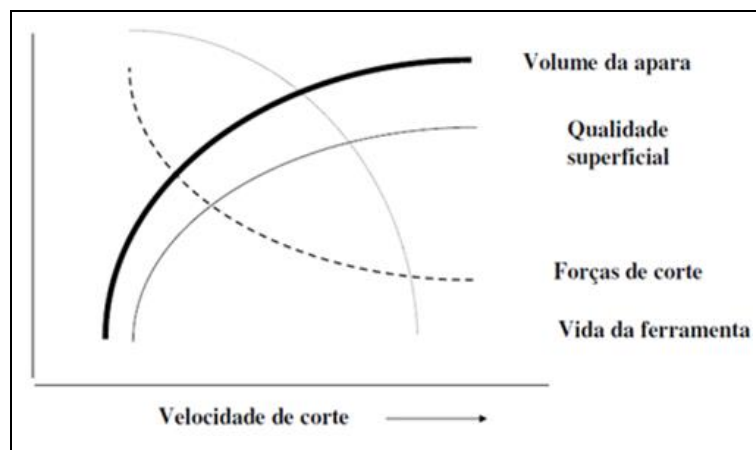


Figura 6 – Efeitos do incremento da velocidade de corte sobre a ferramenta

Fonte: *Tekniker* (2008)

Assim, a *Tekniker* mediu os tempos de consecução de diferentes operações, utilizando as três formas de maquinação supra-apresentadas (ver Tabela 4) e concluiu que a maquinação de alto rendimento permite uma redução de tempos na ordem dos 80% quando comparada com a convencional.

Tabela 4 – Medição dos tempos de maquinação – estudo da *Tekniker* (2008)

	Maquinação convencional	Maquinação de alta velocidade	Maquinação de alto rendimento
Maquinação de desbaste	58 min	20 min	11 min
Maquinação de redesbaste	28 min	26 min	26 min
Maquinação de pré-acabamento	5 H 30 min	5 H 30 min	13 min
Acabamento de raios	11 min	11 min	3 min
Acabamento de planos	1 H 20 min	1 H 20 min	47 min
Acabamento de bitangências	24 min	24 min	10 min
TOTAL	8 H 46 min	8 H 11 min	1 H 50 min

Fonte: *Tekniker* (2008)

5.5 A otimização do processo produtivo na Indústria Portuguesa de Moldes

A organização do processo produtivo é cada vez mais importante pois, atualmente, os clientes exigem prazos de entrega cada vez mais curtos. Desta forma, é imprescindível reduzir o tempo de produção, uma vez que este pode influenciar o cumprimento dos prazos de entrega dos moldes.

Para atingir este fim, a empresa poderá adotar duas estratégias: investir em mais equipamentos ou, por outro lado, utilizar melhor os recursos disponíveis na empresa. Mukherje e Ray (2005:18) afirmaram num dos seus artigos que “*não existe um método único para a otimização do processo de corte de metal*”, pelo que, neste estudo, se optou por uma estratégia sustentável de fresagem que implica a alteração dos parâmetros de corte.

O objetivo é observar, modificar e medir tempos numa das fases do processo produtivo do molde com o intuito de o tornar mais rentável, não pelo investimento, mas pela adoção de novas formas de execução: alterar o processo de maquinação, sem alterar o estado final de acabamento da zona moldante da peça, permitirá manter a mais-valia da qualidade do acabamento, característica da IPM, e simultaneamente reduzir o consumo de recursos, designadamente os energéticos. Desta forma, é importante identificar os maiores problemas na precisão da maquinação que, de acordo com Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997:325) são a “*fraca fiabilidade no processo devido à variabilidade entre as condições de corte especialmente no pré-acabamento; as forças de corte provocam flexão da ferramenta que por sua vez originam leves desvios provocando imperfeições na superfície fresada*”.

Para resolver os problemas identificados, Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997:325) apresentam como soluções a “*adaptação da velocidade de corte com a rotação recorrendo a softwares apropriados*” e a possibilidade de “*compensar o desvio/flexão da ferramenta e a compensação da ferramenta*”. Assim, a peça utilizada na simulação (ver Figura 7) realizada por Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997:326) “*é constituída por superfícies com elevados graus de inclinação e áreas planas. As ferramentas usadas foram fresas esféricas e fresas planas. A maquinação foi efectuada recorrendo a um software (não especificado) que cria percursos da ferramenta otimizados*”.

Na análise da Figura 7 pode-se observar, através da legenda, que se obtiveram diferenças entre o desenho 3D (imagem B) e a peça maquinada (imagem A). Estas disparidades devem-se ao facto da ferramenta fletir no contacto com o aço (durante a fresagem) originando desgaste, o que provoca pequenas alterações geométricas reais (que não existem no desenho 3D), quer por excesso quer por defeito relativamente ao valor nominal do modelo tridimensional.

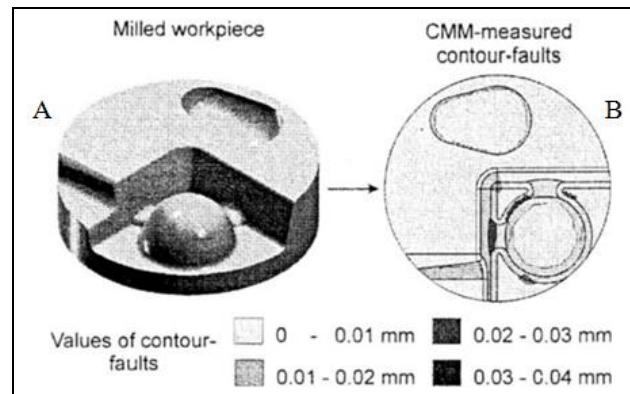


Figura 7 – Peça usada por Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997) para simulações contendo os desvios provocados pela ferramenta após experiência

Fonte: Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997:326)

As condições de maquinação usadas por Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997:326) foram “*executadas a temperatura ambiente, aço com dureza usada em moldes (1600 N/mm²) e maquinação directamente no aço com tecnologia de maquinação de alta velocidade (HSC - High Speed Cutting)*”. Os resultados obtidos por Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997) na maquinação relativamente à geometria 3D indicam que o resultado ótimo é compreendido entre 0,02 e 0,04 mm de desvio, o que indica que a ferramenta está sujeita a forças de corte que provocam a sua flexão, resultando num corte ora por excesso, ora por defeito. Os autores afirmam ainda que para atingir resultados satisfatórios em termos de acabamento superficial maquinação (valores compreendidos entre os 0,02 e 0,04 mm), o rácio altura/diâmetro da ferramenta não pode exceder o valor 5, uma vez que ao usar ferramentas altas (para maquinações profundas) os resultados de acabamento superficial são menos satisfatórios. Neste sentido depreende-se que se tem que usar um rácio altura/diâmetro da ferramenta diferente de 5.

A capacidade de otimizar os recursos humanos da empresa permite que esta beneficie, assim como o seu cliente, uma vez que este ficará satisfeito com o cumprimento dos prazos (aumento de competitividade) e o produtor rendibilizará os recursos da empresa. A melhor gestão de alguns recursos, nomeadamente mão-de-obra e energia, permitirá entregar o molde que o cliente deseja, com um custo de produção mais baixo devido à organização eficiente do processo produtivo, à diminuição do tempo de execução do trabalho e a uma maior eficiência do consumo energético, entre outros fatores. De acordo com El-Haggar (2007), ao diminuir os custos de produção a empresa poderá manter o preço de venda do molde, conseguindo aumentar o proveito gerado por esta e, simultaneamente, diminuir o impacto ambiental da organização ao minimizar consumos variados (como energia e consumíveis). Por outro lado, poderá incluir no molde um serviço que até então não poderia oferecer, ou seja, uma maior redução nos prazos de entrega mantendo a qualidade e aumentando a sustentabilidade económica e ambiental. Estas transformações repercutem-se no crescimento da satisfação dos fornecedores, colaboradores e clientes, numa melhor performance ambiental e social e no aumento dos proveitos (Epstein, 2008).

O consumo de energia e a sua repercussão nos custos de produção são um desafio para as empresas e, neste seguimento, a redução de tempos produtivos assume particular relevância uma vez que influencia diretamente o custo do produto e o consumo de energia por parte da empresa. É ainda importante referir que a redução no consumo de energia permite uma diminuição direta na emissão de dióxido de carbono (CO₂).

A 26 de Janeiro de 2012, o INE apresentou os resultados industriais de 2010 relativos ao nível da energia consumida na indústria transformadora, nos quais se inclui a IPM. Tal como indica a Figura 8, verificou-se uma diminuição generalizada na produção de dióxido de carbono (CO₂) no período de 2006-2009.

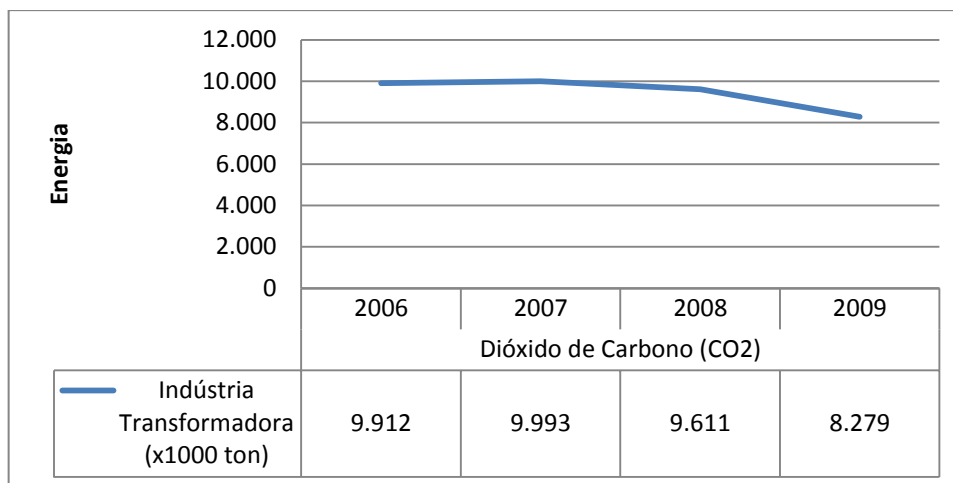


Figura 8 – Emissão de dióxido de carbono (CO₂) na indústria transformadora

Fonte: INE, relatório Estatística do Ambiente 2010, publicado em 2012 (INE, 2012)

Indo ao encontro do pedido feito internacionalmente pela ONU (2011a) relativo à escassez de recursos naturais, a Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) tem como “*objetivo promover a eficiência energética, consolidando o objetivo de redução de 20% do consumo de energia final em 2020*” (INE, 2012:25). A otimização do processo produtivo no setor dos moldes permite que as empresas contribuam para a eficiência energética, o que possibilita não só “*a redução de emissões pelo sector energético*” (INE, 2012:25), como “*a sustentabilidade ambiental do sector energético*” (INE, 2012:25) e o incremento da sustentabilidade ambiental e financeira da IPM.

É pertinente referir que, de acordo com o INE (2012), no período de 2006 a 2009, a indústria (de um modo geral) consumiu 27% da produção de energia elétrica, o que reflete um decréscimo de 15% devido à diminuição da atividade industrial resultante da crise económica mundial iniciada no final de 2008 (ver Figura 9).

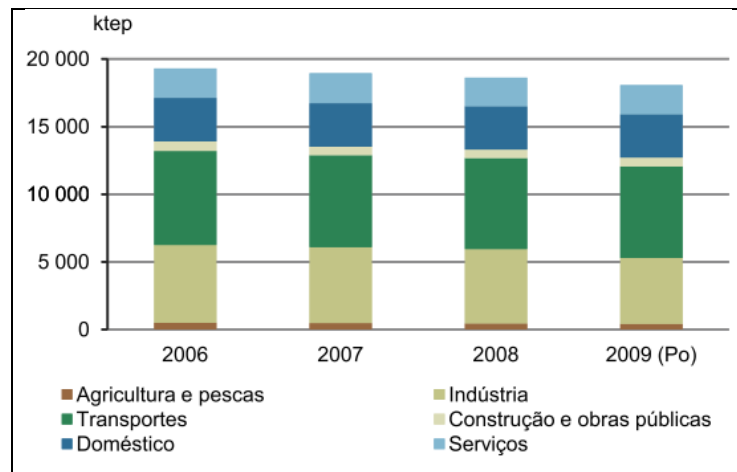


Figura 9 – Consumo de energia final por setor de atividade

Fonte: INE, relatório Estatística do Ambiente 2010, publicado em 2012 (INE, 2012)

6 Hipóteses

Com base na revisão da literatura, nas questões de partida e nos objetivos propostos, pretende-se testar as seguintes hipóteses, a saber:

H1 – A fresagem sustentável influencia diretamente os tempos do processo produtivo.

H2 – A fresagem sustentável permite diminuir o tempo de homem/máquina.

H3 – A fresagem sustentável permite diminuir o consumo de energia elétrica

H4 – A fresagem sustentável permite diminuir as emissões de dióxido de carbono (CO₂).

H5 – A fresagem sustentável aplica-se igualmente a moldes de diferentes tonelagens.

H6 – A área não projetada da zona de ajuste influencia os tempos do processo produtivo.

7 Modelo de investigação

Esta investigação foi construída em torno de diversos conceitos, operacionalizados entre si. Assim, foi construído um modelo de investigação:

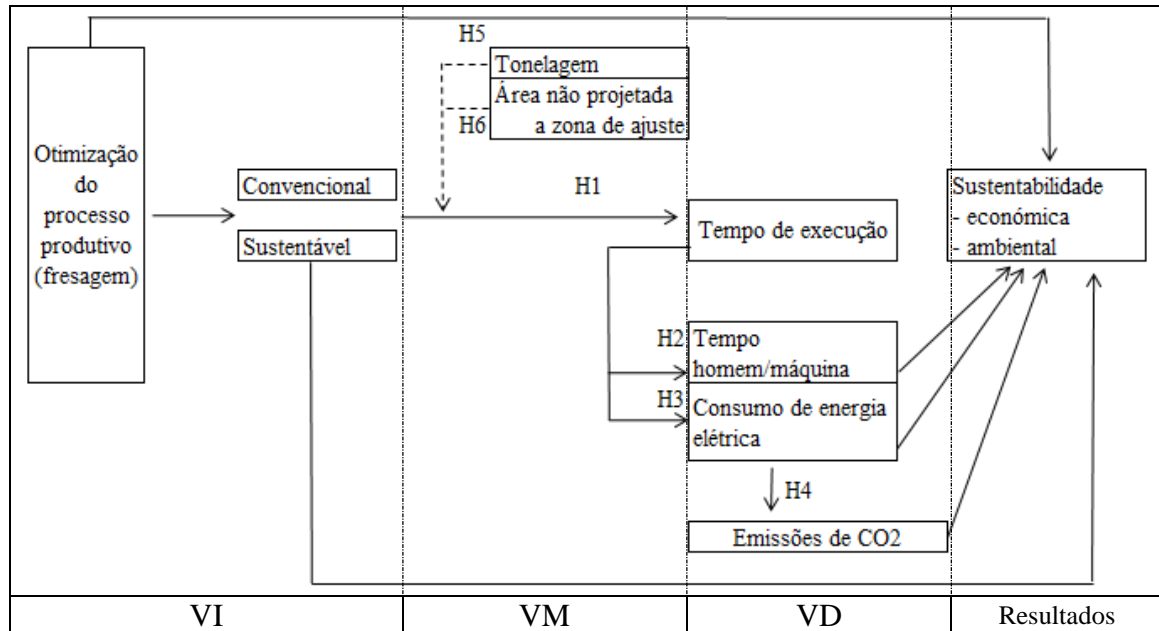


Figura 10 – Modelo de investigação

Fonte própria

PARTE II

Na segunda parte explica-se o processo de construção da investigação em todos os seus momentos: recolha de informação, tipo de investigação escolhido, população a que se destina, construção da amostra, caracterização da empresa onde se realizou o estudo, as variáveis e os grupos de controlo e experimental, a recolha e definição dos parâmetros de corte, o modelo de simulação por computador, o *software* utilizado e, por fim, a validade interna e externa do estudo.

8 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

Cada trabalho de investigação requer uma metodologia específica com o objetivo de proporcionar ao investigador um caminho próprio para atingir os fins propostos, melhorando os seus conhecimentos. Assim, será caracterizado o contexto em que o estudo foi desenvolvido e será explicada a metodologia que permitirá os resultados a apresentar.

8.1 Recolha de informação: dados primários e secundários

Segundo Silva (1981), a utilização de computadores permite atingir maior precisão, pois consegue-se um melhor armazenamento de modelos de simulação, bem como maior flexibilidade na construção desses modelos e da programação efetuada no *software*, pelo que foi o meio definido para obter os dados primários.

A informação primária caracteriza-se pelo facto de ainda não existir antes de se desenvolver uma investigação, uma vez que é criada especificamente para ela. Neste caso concreto, os dados primários serão obtidos por simulação, com o objetivo de validar, ou não, as hipóteses a testar no final do estudo. Para isso, as referidas simulações realizar-se-ão numa empresa de moldes da Marinha Grande, no distrito de Leiria, Portugal.

Nesta investigação deu-se importância não só ao modo como a informação foi obtida, como também à sua qualidade. Assim, a seleção da informação foi feita tendo em atenção a sua atualidade, precisão e relevância, uma vez que se entende por informação secundária todos os dados que existem e que estão disponíveis para serem utilizados. Neste contexto foram consultadas outras investigações, artigos científicos, obras científicas, revistas da especialidade “O Molde” e outras com informação relevante para

esta investigação. É importante salientar que em todo o processo de recolha de informação, não se conseguiu encontrar estudos empíricos semelhantes a este no setor dos moldes.

8.2 Tipo de investigação

Nesta dissertação pretende-se comparar os tempos da simulação de fresagem convencional com os tempos da simulação de fresagem sustentável (a desenvolver neste estudo). Para se conseguir este propósito, o investigador enveredará por uma investigação experimental do tipo preditivo-causal (Fortin e Filion, 2006; Sampieri, Collado e Lucio, 2006), pois pretende-se que uma variável produza um efeito sobre a outra (Fortin e Filion, 2006; Sampieri *et al*, 2006).

Assim, será utilizada uma população de elementos sobre os quais incidirá o estudo e se medirá os efeitos das variáveis definidas.

8.3 População

A população estudada nesta dissertação é constituída pelos moldes para a injeção de plástico produzidos na empresa onde decorreu a investigação num determinado intervalo espaço-temporal durante o ano de 2010. Escolheu-se este grupo de moldes por dois motivos:

- segundo a gerência, foi um ano representativo da atividade da empresa;
- a empresa produz moldes para diferentes setores, o que remete para um mercado abrangente quanto ao tipo de moldes e tonelagem.

Desta forma, a população alvo (56 moldes) utilizada na investigação foi toda a produção de moldes para a injeção de plástico no ano 2010, numa empresa da Marinha Grande. No entanto, o estudo incide sobre um total de 112 peças, pois como cada molde tem as respetivas cavidade e bucha, assim a simulação de maquinação incide sobre 56 cavidades e 56 buchas.

Neste sentido, a cada um dos moldes irá ser atribuído um número-sequência para melhor identificação na fase dos resultados, isto é, à cavidade do primeiro molde será

atribuído 1C e à respetiva bucha será atribuído 1B. Deste modo saber-se-á sempre qual a peça de que se trata (cavidade ou bucha) e de que molde.

De seguida explicar-se-á o modo como se construiu a amostra para esta investigação.

8.4 Amostra

De modo a homogeneizar a população alvo por dimensão de moldes (tonelagem), antes do estudo propriamente dito efetuou-se o emparelhamento em blocos por dimensões de moldes (tonelagem) (Fortin e Fillion, 2006), uma vez que os referidos autores deixam a opção de se poder fazer antes ou depois do estudo. Como os blocos do emparelhamento têm tamanhos diferentes, efetuou-se uma amostragem aleatória com cada estrato proporcional ao tamanho da população, permitindo “*ao investigador utilizar uma amostra mais pequena e obter o mesmo grau de representatividade que com uma amostra maior*” (Fortin e Fillion, 2006:317; Sampieri *et al*, 2006). A amostra em estudo é constituída por 36 moldes (número máximo de moldes que se estabeleceu ser possível de analisar através de simulação, tendo em conta o período de tempo disponível para a realização da dissertação), organizados em estratos (ou classes) por tonelagem, cuja quantidade de moldes para cada estrato foi calculada com base na proporção da amostra em relação à população, de forma a controlar os efeitos desta variável moderadora.

Como a Associação Nacional da Indústria de Moldes (Cefamol) não possui uma escala de dimensionamento de moldes, Rodrigues (2002:169) criou uma na sua Tese de Doutoramento, baseando-se em entrevistas efetuadas a 63 gestores de topo da IPM. A unidade base para classificação da dimensão dos moldes será a tonelada (Ton). Estas classes estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Classes de dimensões dos moldes VS designação do tipo de molde
(unidade Tonelada)

Dimensão (Ton)	Designação do tipo de molde
]0 ; 0,25]	muito pequeno
]0,25 ; 0,75]	pequeno
]0,75 ; 2]	
]2 ; 5]	médios
]5 ; 10]	
]10 ; 20]	grande
]20 ; ∞[	muito grande

Fonte: Rodrigues (2002:169)

Classificaram-se os moldes da população estudada de acordo com os dados constantes na Tabela 5, o que permitiu estratificar todos os moldes compreendidos no estudo (ver Tabela 6).

Tabela 6 – Distribuição do n.º de elementos a analisar em cada estrato

Dimensão (Ton)	Elementos (Nh) ¹⁴
]0 ; 0,25]	3
]0,25 ; 0,75]	7
]0,75 ; 2]	23
]2 ; 5]	9
]5 ; 10]	8
]10 ; 20]	3
]20 ; ∞[	3
Total (N)	56

Fonte própria resultante do estudo

¹⁴ Nh é o valor estratificado, ou seja, é o número de elementos efetivos a analisar em cada estrato

A partir do tamanho da amostra, tornou-se necessário encontrar um fator (sh) que pudesse homogeneizar a quantidade de peças a retirar de cada estrato, por forma a haver igual representatividade de todos os estratos (Fortin e Filion, 2006), uma vez que “A estratificação aumenta a precisão da amostra e implica o uso deliberado de diferentes tamanhos de amostra para cada estrato” (Sampieri *et al*, 2006:259).

Com esta ponderação (proporção a utilizar em cada estrato – sh), a probabilidade de obter uma amostra (de moldes) representativa aumenta, Amyotte (1996)¹⁵. Assim, a Equação 1 apresenta a forma de cálculo para encontrar o referido fator de proporcionalidade, na qual N é o tamanho da população e n é o tamanho da amostra utilizada.

Equação 1 – Proporção a usar em cada estrato (sh)

$$sh = \frac{n}{N} = \frac{36}{56} \cong 0,64$$

Após calcular a proporção a utilizar em cada estrato ($sh = 0,64$), calculou-se a amostra de cada estrato (nh_i), recorrendo à multiplicação entre a proporção (sh) calculada na Equação 1 e o valor estratificado inicialmente (Nh_i) apresentado na Tabela 6, ou seja, o número de elementos efetivos a analisar.

Equação 2 – Tamanho da amostra para cada estrato i (nh_i)

$$nh_i = sh * Nh_i \quad , i=1, 2, \dots, 7.$$

Após encontrar o número definido de moldes a simular por estrato (nh_i), somaram-se todos os valores resultantes da Equação 2 de modo a constituir a amostra da investigação (n), ou seja,

¹⁵ in Fortin e Filion (2006)

Equação 3 – Tamanho da amostra probabilística estratificada (n)

$$n = \sum_i nh_i \quad , \text{ para cada estrato } i (i=1, 2, \dots, 7).$$

A Tabela 7, no seguimento da Tabela 6, tem os resultados provenientes da Equação 1, Equação 2 e Equação 3.

O tamanho da amostra estratificada utilizada nesta investigação é $n = 36$ moldes (36 cavidades e 36 buchas), perfazendo um total de 72 peças.

Depois de encontrado o tamanho da amostra para cada estrato i (nh_i), o investigador escolheu aleatoriamente quais os representantes de cada classe a incorporar na amostra resultante da Equação 3 (amostra probabilística estratificada n) e que estão na Tabela 7. A isto chama-se amostragem probabilística estratificada, pois todos os elementos de todas as classes têm igual probabilidade de fazerem parte da amostra, reforçando a representatividade da mesma (Fortin e Fillion, 2006). Os valores obtidos para cada amostra por cada estrato (nh_i) foram arredondados de modo usual.

Tabela 7 – Classes de dimensões dos moldes (unidade tonelada) com amostras por estrato

Dimensão (Ton)	Elementos (Nh)	Percentagem de elementos da amostra face à dimensão da população (sh)	Amostra por estrato (nh)
]0 ; 0,25]	3	0,64	2
]0,25 ; 0,75]	7		4
]0,75 ; 2]	23		15
]2 ; 5]	9		6
]5 ; 10]	8		5
]10 ; 20]	3		2
]20 ; ∞[	3		2
Total (N)	56			36

Fonte própria resultante do estudo

Tendo por base os resultados do estudo para a amostra de 36 moldes (ver Tabela 7) estimou-se o valor do desvio padrão da população a partir do valor do desvio padrão da amostra, de forma a calcular uma estimativa para o nível de precisão dos resultados. De modo a que o nível de confiança seja elevado, o investigador trabalhou com o grau de 95% e utilizou-se a fórmula de cálculo apresentada por Daniel e Terrell (1995), tal como expresso na Equação 4 (ver abaixo Amostra).

Uma vez que o estudo efetuado recai sobre 36 moldes constituídos pelas respetivas cavidades e buchas, apresenta-se no capítulo ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS (ver Fresagem) uma estimativa para os tempos de execução de ambas, a partir da Equação 4.

Equação 4 – Precisão da estimativa das diferenças dos tempos de simulação

$$d = Z \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{N-n}{N-1}},$$

em que:

d - Nível de precisão da estimativa de tempo obtida com base na amostra. Ou seja, o afastamento (ou erro) máximo da estimativa de tempo obtida com a amostra face ao tempo que se obteria com a população.

Z - Valor da distribuição Normal estandardizada correspondente ao grau de confiança desejado. Neste estudo trabalhou-se com um grau de confiança de 95%, pelo que o valor correspondente para Z é de 1,96.

σ - Desvio padrão da população (valor a estimar com base nos resultados do estudo para a amostra de 36 moldes).

n - Tamanho da amostra (36 moldes).

N - Tamanho da população (56 moldes).

8.5 Caracterização da empresa onde se realizou o estudo

Em 2010 (período em que se iniciou esta investigação) a empresa onde se realizou o estudo obteve a certificação NP EN ISO 9001:2008 pela TUV (Technischer Überwachungs-Verein – empresa alemã de prestação de serviços de inspeções e certificações) e faturou 3,5 milhões de euros com a fabricação de 56 moldes.

O parque de máquinas da empresa em 2012 é constituído por 9 fresadoras CNC (onde estão incluídos os centros de maquinação de 3 e 5 eixos), 3 fresadoras convencionais, 3 tornos, 6 retificadoras, 5 erosoras de penetração, 1 erosora de fio, 2 engenhos de furar, 2 CNC de furação profunda (uma de 3+1 eixos e outra de 3+2 eixos). Atualmente emprega 63 colaboradores.

8.6 Procedimentos para a simulação

Recorrendo a um *software* de programação de fresagem (criação do percurso da ferramenta para máquinas CNC) utilizado diariamente na empresa, pretende-se simular dois tipos de fresagem.

Na revisão da literatura efetuada pelo investigador não foi encontrado qualquer estudo semelhante ao que se pretende fazer (ver capítulo 5.5), pelo que foram definidos dois conceitos, de modo a clarificar os procedimentos adotados no estudo, a saber: simulação/fresagem convencional e simulação/fresagem sustentável.

A **simulação/fresagem convencional** é convencionada neste estudo como sendo o tipo de simulação/fresagem que se efetua atualmente – o mesmo tipo de maquinação na zona moldante e de ajuste.

A **simulação/fresagem sustentável** é convencionada neste estudo como sendo o tipo de simulação/fresagem que se pretende apresentar – implica a diferenciação de acabamentos entre a zona moldante e a zona de ajustamento. Neste tipo de fresagem, aumentar-se-á o incremento axial e/ou radial consoante a operação de acabamento.

Estas simulações serão efetuadas sobre as cavidades e buchas da amostra selecionada a partir dos 56 moldes (de diferentes dimensões/tonelagens) produzidos na empresa durante o ano de 2010.

Para atingir os objetivos propostos (ver capítulo 3.1) serão feitas simulações em computador, de forma a comparar os tempos das simulações convencional e sustentável. Para tal, recorrer-se-á a um *software* de maquinação (ver capítulo 8.11), que é utilizado quotidianamente na IPM.

Foi escolhido este método para recolha de dados (simulação), uma vez que, segundo Silva (1981), a simulação utilizada em contexto de investigação, pretende determinar os valores ótimos dos parâmetros que descrevem o processo em estudo, permitindo uma abordagem mais realista e precisa do problema. À semelhança do que Weinert *et al* efetuaram em 1997, também as peças simuladas nesta dissertação contêm superfícies “*com elevados graus de inclinação e áreas planas*”, nas quais serão usadas ferramentas esféricas e planas (ver Tabela 8), recorrendo a um *software* “*que cria percursos da ferramenta optimizados*” (*WorkNc*).

A Figura 11 ilustra uma cavidade ou uma bucha com a delimitação das zonas moldante (número 1) e de ajuste (número 2). Alguns moldes poderão ter uma ou mais cavidades moldantes, pelo que se apresentam duas zonas com o número 1.

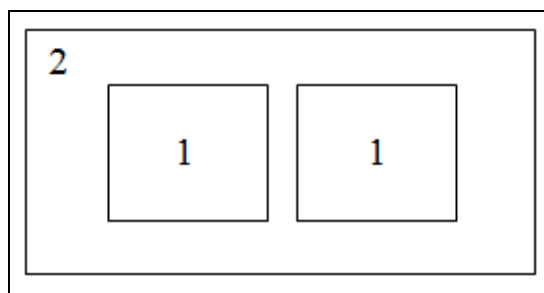


Figura 11 – Identificação da zona moldante (1) e da zona de ajuste (2) num molde

Fonte própria

Aquando da maquinação, muitos programadores não distinguem a zona moldante (número 1 da Figura 11) da zona de ajuste (número 2 da Figura 11), efetuando apenas uma janela de maquinação ou uma maquinação mista (a mesma janela contém parte da zona moldante e parte da zona de ajuste), de onde resulta uma fresagem única. Deste modo, a zona de ajuste mantém o mesmo nível de qualidade que a zona moldante. Este tipo de abordagem é designado por simulação/fresagem convencional, tal como descrito anteriormente.

A fresagem (sustentável), proposta nesta dissertação, consiste na utilização de duas janelas de maquinação, de modo a manter o tradicional nível de acabamento para a zona moldante (primeira janela de maquinação - número 1 da Figura 11), enquanto na segunda janela de maquinação (número 2 da Figura 11) se pretende um acabamento de nível bom, mas de qualidade diferente da efetuada na primeira janela (aumentando a passagem lateral ou axial, conforme a operação). Deste modo, a “alma” do molde é a zona moldante, enquanto a zona de ajuste tem como funções delimitar e suportar a força de fecho do molde.

A chamada “linha de junta do molde” (linha imaginária por onde o molde é aberto) permite a separação da cavidade e da bucha e o ‘desmolde’ da peça de plástico. Na fase de projeto, a linha de junta é definida após a conclusão da peça de plástico e, por conseguinte, é a complexidade de desmoldação da peça de plástico que definirá a complexidade da linha de junta, o que se reflete na linha de ajuste da cavidade e da bucha.

Na fase de montagem do molde (secção da bancada), os operadores de bancada têm que garantir que as zonas de ajuste da bucha e da cavidade encostem de forma a manter o mesmo intervalo ao longo de toda a área moldante. Desta forma, quando se injeta o plástico aquecido (líquido), este não sai da zona moldante. Quando estes aspetos técnicos não são conseguidos, a matéria-prima invade a zona de ajuste, dando origem à rebarba da peça.

Por mais perfeito que seja o acabamento da zona de ajuste, e por melhor que a fresagem respeite o 3D programado, os colaboradores de bancada têm sempre necessidade de as retocar/afinar, de modo a garantir que as zonas de ajuste da cavidade e da bucha coincidam, evitando infiltrações. Como os operadores de bancada têm sempre necessidade de retocar/afinar as zonas de ajuste (não moldante), estas podem ter uma qualidade de acabamento superficial diferente da realizada na zona moldante.

Em suma, os programadores têm que manter a qualidade superficial da zona moldante, tal como se faz atualmente, e podem sacrificar a qualidade superficial da zona de ajuste (comparativamente à moldante), aumentando os incrementos radiais e axiais (consoante a operação de acabamento), de modo a diminuir tempos de fresagem.

Em todo o processo, o programador deve ter em conta a qualidade do acabamento da superfície da zona de ajuste, de modo a que na fase de montagem (secção da bancada) os operadores de bancada não tenham trabalho acrescido, devido a excesso de material ou rugosidade excessiva nas zonas de ajuste, por exemplo.

Assim, os tempos de simulação (convencionais e sustentáveis) serão registados pelo investigador para o mesmo tipo de molde e posteriormente comparados, de forma a averiguar possíveis diferenças de tempo, com a finalidade de otimizar o processo produtivo e permitir economizar na utilização de recursos.

Após a obtenção dos tempos, pretende-se simular qual será a influência que estes têm relativamente ao consumo médio de energia pelos equipamentos na maquinaria, a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) emitido ou não emitido pelo consumo de energia elétrica, assim como as horas de homem-máquina necessárias à materialização das referidas simulações (convencional e sustentável).

Os resultados obtidos permitirão tirar conclusões a confrontar com as questões e hipóteses levantadas neste estudo.

8.7 Variáveis

Como foi referenciado anteriormente esta investigação é do tipo preditivo-causal, mais propriamente do tipo experimental, o que implica apresentar a definição e operacionalização de variáveis.

Segundo Tuckman (2000) e Fortin e Filion (2006), a variável independente (VI) é o elemento que é introduzido, manipulado e selecionado pelo investigador de forma a determinar a sua relação com o fenómeno observado, ou seja, a variável dependente (VD). A VI é modificada pelo investigador de modo a aferir qual a sua influência sobre a VD, ou seja, é uma causa necessária de uma determinada consequência; é o que provoca um determinado efeito. Assim, o que é estudado é o modo como esse fator se reflete noutra. Fortin e Filion (2006:171) afirmam ainda que *“a variável independente, também chamada de variável experimental, é considerada como a causa do efeito produzido na variável dependente”*.

Tuckman (2000) refere que a VD é o fator observado e medido para determinar o efeito da VI, ou seja, a VD “*é a que sofre o efeito da variável independente; é o resultado predito pelo investigador*” Fortin e Filion (2006:171). Esta VD também é designada por Fortin e Filion (2006) de variável critério ou variável explicada.

Neste estudo, além da VI e da VD também irão ser definidas variáveis moderadoras (VM), uma vez que se considera a possibilidade de estas influenciarem a relação entre a VI e a VD supra-apresentadas. A VM é uma variável independente secundária, selecionada para determinar se afeta a relação entre a variável independente essencial e a variável dependente (Tuckman, 2000):

“Se o investigador estiver interessado em estudar o efeito da variável independente X sobre a variável dependente Y, mas suspeitar que a relação entre X e Y está alterada pelo nível de um terceiro factor Z, então Z pode figurar, nesta análise, como uma variável moderadora.” (Tuckman, 2000:126).

Neste contexto, considera-se X (VI) os tipos de simulação (convencional e sustentável), Y (VD) o tempo resultante da simulação efetuada, consumo de energia e recursos humanos e Z (VM) a dimensão (tonelagem) do molde, a zona de ajuste do molde, a área não projetada da zona de ajuste, a dureza do aço a maquinar (2311, 2344, 2738, 2738HH, entre outras durezas), o parque de máquinas da empresa, a geometria da peça, entre outros fatores, uma vez que ‘se suspeita’ que estas variáveis moderadoras afetem diretamente a relação entre a variável independente e a variável dependente.

As variáveis de controlo (VC) são “*factores que o experimentador controla, para anular ou neutralizar qualquer efeito que, de outro modo, poderiam vir a ter sobre o fenómeno observado.*” (Tuckman, 2000:129). Esta é a razão pela qual, como foi referido anteriormente nos Procedimentos para a simulação, apenas se alterará entre simulações o incremento axial (operação em nível Z) e radial (operação de cópia) consoante o tipo de operação a efetuar, não se alterando qualquer outro tipo de parâmetro técnico na programação (rotação, avanço, entre outros), de forma a neutralizar qualquer influência destes fatores sobre os resultados do estudo.

As variáveis estranhas (VE) ou parasitas “*estão presentes em todos os estudos e podem exercer efeito sobre outras variáveis e influenciar assim os resultados de uma investigação*” (Fortin e Filion, 2006:172), pelo que, de acordo com Fortin e Filion

(2006), a função do investigador é reduzir os efeitos destas variáveis ao mínimo. Assim, o investigador efetuou as simulações (convencional e sustentável), de forma a diminuir o efeito das VE no estudo. Todavia, existem muitos fatores que influenciam diariamente a maquinação e os tempos reais de execução, ou seja, mesmo que a materialização dos programas simulados (convencional e sustentável) se efetue nas mesmas condições (o mesmo equipamento, mesmo colaborador, mesmo tipo de ferramentas, igual período/estação do ano, entre outros aspetos), existem sempre anomalias que estão inerentes ao processo e que não se conseguem controlar (VE), como é o caso de uma ferramenta partir, desgaste da ferramenta, temperatura ambiente, entre outros. No entanto, apesar do que foi referido, estudos como este são mais viáveis por simulação, pois *“as experiências reais são mais caras que os Modelos de Simulação”* Figueiredo (2010:19).

8.8 Grupo de controlo e grupo experimental

Tuckman (2000:171) designa o grupo de controlo como sendo *“um grupo de participantes numa determinada experiência, cuja selecção e experiência são o mais semelhantes possível ao grupo experimental ou de tratamento, à excepção do facto de não serem submetidos a esse tratamento”*.

Por oposição depreende-se que o grupo experimental será o grupo sobre o qual recairá toda a manipulação de variáveis, para que seja possível obter resultados diferentes.

Apesar dos 36 moldes escolhidos aleatoriamente serem submetidos à fase de simulação, optou-se por designar grupo de controlo aquele no qual ocorrerá a simulação convencional, por dois motivos que se interligam:

- é a simulação que atualmente se está a usar na fabricação da empresa onde decorre o estudo;
- é esta que vai ser o ponto de partida para tirar conclusões sobre o estudo.

O grupo experimental será aquele no qual ocorrerá a simulação sustentável, dito de outra forma, sobre o qual o investigador efetuará a manipulação da VI (incremento axial e radial), para que se consiga obter efeitos sobre a VD (tempos de maquinação).

8.9 Recolha e definição dos parâmetros de corte

Na construção do programa de acabamento (NC - Controlo Numérico), com recurso ao *software* de maquinação *WorkNc*, o investigador alterou apenas o incremento radial (deslocamento lateral da ferramenta) utilizando uma estratégia de acabamento por cópia (operação onde a trajetória da ferramenta acompanha o contorno 3D) em que foram utilizadas fresas de topo esférico, e um incremento axial (em Z) com o recurso a estratégias de maquinação por níveis em que são utilizadas fresas de topo raso (direitas).

Para se obter parâmetros de corte mais otimizados em acabamento de zonas de ajuste recorreu-se a várias fontes, tal como referido anteriormente: *software*, programadores e operadores de CNC. Desta forma, a tabela seguinte (ver Tabela 8) apresenta os valores que os programadores e os operadores de CNC utilizam usualmente para criar os referidos programas NC. Na referida tabela aparecem alguns espaços “sem valor”, o que é justificado pela especificidade da operação a utilizar na maquinação destas peças, isto é, maioritariamente as fresas esféricas são usadas em operações de cópia, existindo neste caso apenas incremento radial, enquanto as fresas de topo raso (direitas) são usadas em programas com incrementos em Z, existindo neste caso um incremento axial. Serão ainda apresentados os valores sugeridos pelo *software*. No entanto, os valores para o incremento axial (em Z) terão de ser definidos de acordo com a ferramenta a utilizar, uma vez que o *software* não faz qualquer sugestão.

A partir dos valores mínimos (dados dos programadores e colaboradores na CNC) e dos valores máximos (dados de *software*) sugerem-se os valores para a construção dos programas com simulação sustentável (ver Tabela 8).

Tabela 8 – Síntese dos parâmetros de corte

Tipo de Fresa	Diâmetro da Fresa (mm)	Convencional		<i>software</i>	Sustentável	
		Radial (mm)	Axial (mm)	Radial (mm)	Radial (mm)	Axial (mm)
Topo Esférico	6	0,2	Sem Valor	0,288	0,25	Sem Valor
	8	0,25		0,332	0,3	
	10	0,25		0,372	0,3	
	12	0,25		0,4	0,4	
	16	0,35		0,47	0,5	
Topo raso (direita)	6	Sem Valor	0,1	Sem Valor	Sem Valor	0,15
	8		0,1			0,15
	10		0,15			0,225
	12		0,15			0,25
	16		0,15			0,3
	20		0,175			0,3
	25		0,175			0,35
	32		0,2			0,35
	35		0,2			0,35

Fonte própria resultante do estudo

8.10 Modelo de Simulação por Computador

Silva (1981:322) considera que “*pode definir-se simulação como qualquer tentativa de obter informação sobre um processo por intermédio da realização de cálculos baseados no modelo matemático que descreve esse processo*” e Robinson (2004) entende a simulação como uma imitação (em computador) de uma configuração de recursos, combinada para prover bens ou serviços. Esta perspetiva também é a de Silva (1981:322), em que “*a obtenção da informação relativa ao processo ou sistema em estudo é realizada por intermédio de um computador e traduz-se na identificação, ajustamento do estudo, das suas características, parâmetros e comportamentos.*”

Indo mais longe, Silva (1981) acrescenta que a importância dos modelos concetuais descritos e analisados em termos matemáticos clássicos foi influenciada pelas

resoluções obtidas através da utilização do computador, uma vez que estas possuem mais realismo e permitem obter soluções mais precisas.

O método de simulação apresenta ainda a vantagem muito importante de permitir “*abordagens empíricas baseadas em tentativa e erro*” (Carvalho, 2007:7), isto é, “*mesmo quando se utilizam programas de simulação, é frequente recorrer a essa metodologia através da realização de simulações sucessivas com diferentes valores para os parâmetros de processo*” (Carvalho, 2007:7). Deste modo, conseguem-se aplicar diferentes valores para o mesmo modelo tridimensional (ficheiro 3D), de forma a encontrar o valor ótimo para a peça em causa.

Figueiredo (2010) afirma que os modelos de simulação podem lidar com problemas muito mais complexos comparativamente aos modelos matemáticos. Deste modo, a simulação pode aplicar-se a situações hipotéticas e a situações reais (como é o caso deste estudo), com a vantagem de ser uma alternativa fiável e mais económica do que o método experimental:

“as experiências reais são mais caras que os Modelos de Simulação, especialmente se algo correr mal. Embora possa demorar uma quantidade de tempo considerável para desenvolver um modelo de simulação, uma vez concluído, permite ao modelador simular meses ou anos do comportamento do sistema em segundos, algo que não é viável com experiências” Figueiredo (2010:19).

O fator económico é extremamente importante, pois o setor dos moldes produz um bem extremamente dispendioso, o que torna impossível duplicar a maquinação de zonas moldantes (cavidades e buchas), sob as mesmas condições (máquina-ferramenta, ferramentas, operadores, condições de ambiente – térmicas – entre outros). Por outro lado, um molde é uma ferramenta protótipo pelo que replicar implicaria desperdício, uma vez que este segundo molde não seria utilizado.

Pelas razões apresentadas anteriormente, a simulação foi a escolhida para a realização desta investigação por ser a mais adequada, na ótica do investigador, para a recolha de tempos nas diferentes maquinações. Pesa ainda na decisão o facto de, com a simulação, se poder ajustar as características, parâmetros (incremento axial ou incremento radial) e comportamentos (Silva, 1981) das ferramentas às estratégias utilizadas (convencional e

sustentável), de forma mais rápida (Figueiredo, 2010) e económica, comparativamente à materialização das simulações.

8.11 *Software* utilizado

O *software* escolhido para recolha de dados (*WorkNc*) é um programa utilizado diariamente nas empresas de produção de moldes, o que comprova a fiabilidade dos resultados a obter.

8.11.1 Metodologia de desenvolvimento do modelo de simulação

Para trabalhar com o *software WorkNc* é obrigatório um ficheiro 3D sob o formato IGES (mais usual) ou outro formato compatível, pois de outra forma não se conseguirá importar o ficheiro para a área de trabalho do *software*. Após a importação, há que efetuar o reconhecimento por parte do *software*. O segundo passo será delimitar as janelas de programação, delineando as áreas a maquinar (zona moldante e zona de ajuste).

De seguida introduzem-se os dados para que o *software* possa gerar o percurso da ferramenta. Para isso abre-se uma janela de compilação de programas (Figura 12), que corresponde a uma operação de maquinação, num determinado local da peça, com uma determinada ferramenta e respetivos parâmetros de corte (incremento axial ou incremento radial consoante as operações), assim como outros detalhes intrínsecos ao processo/programa NC.

Mediante a estratégia (desbaste, pré-acabamento, acabamento ou outra) a efetuar na peça, em 1 define-se a operação ou o tipo de percurso pretendido (cópia, nível Z, contorno, tangente, entre outras), isto é, o que se pretende que a ferramenta execute na CNC.

Em 2 define-se a zona de maquinação: pode optar-se por maquinar no eixo Z ou noutro sentido, como é o caso de equipamentos que trabalham em 3+1, 5 ou mais eixos. Apesar de neste momento se poder indicar toda a superfície da peça, o programador tem a possibilidade de escolher em 3 qual a zona específica que quer executar, isto é, pode

optar-se por maquinar toda a superfície da peça ou então seleciona-se uma zona/janela de maquinação, que corresponde à janela de maquinação criada inicialmente.

Em 4 define-se a ferramenta a utilizar na operação escolhida, e esta pode ser uma ferramenta de topo raso (também designada por fresa direita) ou uma fresa esférica. Neste campo, o programador poderá escolher uma ferramenta que esteja integrada na base de dados deste *software*. Essa base de dados contém alguns parâmetros de corte associados que preencherão os campos 6, 7 e 8 automaticamente. Caso a ferramenta a utilizar não exista na base de dados, ela poderá ser introduzida manualmente. Para isso o operador terá que preencher os campos 4, 6, 7 e 8 de forma manual.

Em 5 indica-se o sentido de corte da ferramenta relativamente ao aço, isto é, a ferramenta corta a favor ou contra o material. Neste campo pode ainda ser definido se se pretende uma maquinação em espiral, em zig-zag ou num só sentido. Geralmente o sentido de corte mais favorável é contra o material (a ferramenta posiciona-se à esquerda do material) e com uma maquinação em espiral, por ser mais suave e contínua.

Em 6 colocam-se os parâmetros de corte referentes à rotação e avanço de corte que a ferramenta desempenhará aquando da execução na CNC.

O ponto 7 corresponde à tolerância pretendida para a estratégia definida. Coloca-se a sobre-espessura (*stock*) a deixar na maquinação, tolerância da malha de maquinação, incremento radial (passo lateral) e incremento axial (Z) a deixar na zona a maquinar. Quanto maior for a qualidade pretendida na zona a maquinar, menor será o valor da tolerância da malha de maquinação.

Em 8 indica-se como se iniciará e concluirá o percurso da ferramenta. O programador tem diferentes opções na definição da entrada: o ângulo de entrada pode ser suave (tangencial - preferível) ou perpendicular ao aço (desaconselhável, devido às forças de corte e do impacto da ferramenta no aço).

Em 9 pode verificar-se se existe a possibilidade da ferramenta, cone e cabeça da máquina entrarem em colisão com o aço, ou seja, é o campo onde se pode obter automaticamente a altura necessária da ferramenta, para que nenhum elemento colida com o aço. No programa a construir pode-se seleccionar o pretendido e o *software* garante que nenhum destes elementos colide com a peça, afastando-se desta. Em determinadas estratégias e operações o preenchimento deste campo não faz sentido, ou

por se tratar de ferramentas altas (rácio altura/diâmetro superior a 5; Weinert, Enselmann e Friedhoff (1997)) ou por serem superfícies abertas. Pode ainda limitar-se a entrada da ferramenta em determinadas áreas/caixas, por serem demasiado fechadas para a ferramenta em causa. Existem ainda subcampos específicos para redesbaste geral e de planos.

Em 10 define-se a altura da crista deixada entre passagens laterais da ferramenta. Mediante a fase de maquinação, as cristas podem ser toleradas ou não. Em desbaste pretende-se uma elevada taxa de remoção de material, logo as cristas podem ser altas, pois não são importantes. No acabamento não pode haver quaisquer cristas, atribuindo assim uma das características ao acabamento do molde (qualidade superficial).

Em 11 define-se a suavização dos raios de canto que se poderá inserir no programa NC para que a ferramenta efetue passagens suaves junto aos raios da peça, não sacrificando. Sempre que o raio da ferramenta seja superior ao raio da peça, esta opção é sempre de preencher com raios superiores aos existentes da ferramenta. Deste modo, a ferramenta não vibra ao chegar ao ponto máximo do raio de canto da peça, o que, ao não deixar marca, aumenta a qualidade de maquinação.

Depois de inserir todos os *inputs* para a criação do programa NC na janela de compilação, o programador pode dar a ordem para que se efetue o “cálculo”, processo esse que é efetuado internamente. O *output* resultante pode e deve ser visionado pelo programador com o intuito de verificar e validar visualmente o percurso efetuado pela ferramenta. Caso o percurso da ferramenta não corresponda ao pretendido, o programador terá que efetuar os reajustes que considerar pertinentes.

Após a validação de todos os passos anteriores, o programador transforma o programa criado em *WorkNc* em linguagem-máquina (NC), através de um processador (integrado em todos os *softwares* de programação). De seguida é atribuído um nome ao referido programa, que será encaminhado para a máquina-ferramenta CNC correspondente, para que possa ser executado.

A Figura 12 apresenta o quadro de criação de programas no *software WorkNc*, o que permite visualizar a descrição apresentada.

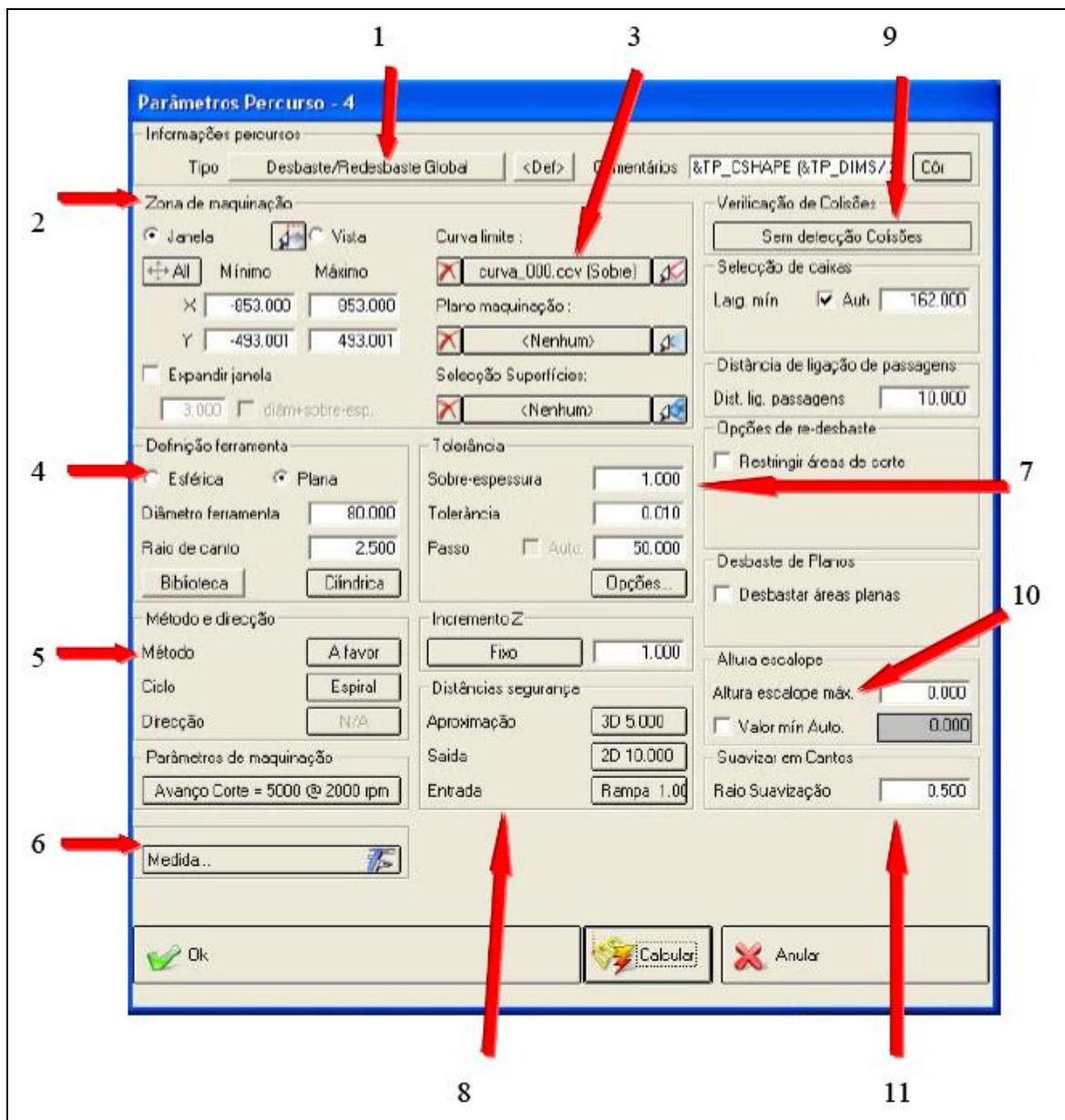


Figura 12 – Janela de compilação do programa *WorkNc*

Fonte própria resultante do estudo

8.12 Validade interna e validade externa

“A validade é um elemento de controlo que se aplica particularmente aos estudos experimentais” pois “é a que constitui a qualidade essencial de um estudo” (Fortin e Filion, 2006:226). Deste modo, a validade está diretamente relacionada com a pesquisa e a relação entre as variáveis. Esta validação experimental pode ser interna e/ou externa

consoante a origem e finalidade do estudo. Neste caso concreto pretende-se que o estudo tenha validade interna e externa.

A validade interna (Cano, 2004) ou carácter de certeza (Tuckman, 2000) é o grau de certeza de que o efeito na VD (tempos de maquinação) foi causado única e exclusivamente pela VI (tipos de maquinação) da experiência. Noutras palavras, é a certeza de que foi a causa pesquisada, e não outro fator, que produziu os efeitos observados. Tuckman (2000:173) corrobora esta ideia e acrescenta “*que as diferenças ocorrem como resultado do tratamento experimental*” e não oriundas de qualquer outra origem, como o caso das VE.

Quando a confiança na inferência causal é alta, considera-se que o estudo tem uma validade interna alta. Quando não se tem certeza do que causou a mudança (ou a estabilidade) na VD, considera-se que tem uma validade interna baixa, entendendo-se por validade interna a inferência causal entre causa (VI) e efeito (VD) (Cano, 2004). Cano (2004) refere ainda que a validade externa indica em que medida a relação causal proposta pode ser generalizada a outros momentos, e/ou a outras formas de medir as variáveis em questão. Isto significa que se a relação entre as variáveis em estudo for generalizada a outros contextos e/ou modos de operacionalizar as variáveis, o estudo tem uma validade externa alta. E quando a inferência causal, mesmo sendo clara e inequívoca, não puder ser alargada a outros contextos devido à sua especificidade contextual, conclui-se que o estudo tem uma validade externa baixa.

Alguns autores consideram que a validade interna é condição *sine qua non* do estudo científico mas, este facto, não justifica dar prioridade absoluta à validade interna em detrimento da externa, uma vez que esta também contribui para a utilidade da investigação (Kampbel e Standley, 1963¹⁶). Segundo Cano (2004), uma das formas convencionais de elevar a validade interna é aumentar o controlo experimental: controlar melhor o contexto experimental, medir ou equacionar todas as variáveis que possam constituir para uma explicação alternativa à linha causal proposta.

Assim, foram adotados procedimentos com o objetivo de criar um estudo com elevada validade interna, ou seja, garantir que a VD resulta única e exclusivamente da VI, e uma elevada validade externa (generalizar este estudo a toda a IPM para a injeção de

¹⁶ in Cano, 2004

plástico). Assim sendo, neste estudo irão ser utilizadas várias técnicas para garantir a sua validade, a saber:

- controlo do contexto experimental: todos os dados serão inseridos pelo investigador, de forma a neutralizar qualquer influência externa (fator humano ou outro) aos resultados;
- a medição da variável dependente será através dos processos de simulação;
- determinação de variáveis moderadoras (dimensão do molde, zona moldante, entre outros), uma vez que podem ser fatores de influência na relação entre a VI (tipos de maquinação) e a VD (tempo de maquinação).

PARTE III

Na terceira parte serão analisados e discutidos os resultados relativos às diferenças de tempos entre as simulações convencional e sustentável (simulação proposta nesta dissertação) relativamente ao processo da fresagem e dos recursos (humanos, energéticos e ambientais) e apresentadas as implicações para o conhecimento académico e para a gestão. Serão ainda enunciadas as limitações do estudo e algumas sugestões para futuros estudos.

9 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o presente estudo encontraram-se valores de parâmetros de corte mais otimizados/sustentáveis (ver Tabela 8) para a fresagem nas zonas de ajuste em cavidades e buchas de moldes para a injeção de plástico, de modo a tornar o processo produtivo e a empresa mais sustentável economicamente, ambientalmente e socialmente.

A opção pela simulação como técnica de recolha de dados permitiu criar os percursos das ferramentas em moldes produzidos durante o ano de 2010 na empresa onde decorreu o estudo, tornando possível não só a comparação entre resultados (medição dos tempos de simulação), como a eliminação de algumas variáveis moderadoras e de muitas variáveis externas ao processo de simulação, tais como os tempos de *setups* (colocar e tirar a peça da máquina, troca e calibração de ferramentas, chamada de programas e outros tempos de paragem não programados) e os tempos ‘mortos’ inerentes ao processo de maquinação e que não são contabilizados aquando da realização das simulações.

9.1 Fresagem

Tal como referido anteriormente, este estudo centra-se nas zonas de ajuste da peça (cavidade e bucha), pelo que o investigador efetuou programas de simulação para estas áreas não alterando a maquinação das zonas moldantes, mantendo a qualidade do acabamento. Após definir quais os parâmetros de corte convencionais e os sustentáveis (ver Tabela 8) a utilizar no processo de fresagem, construíram-se os programas no *software WorkNc* que permitiram obter os tempos de simulação (das fresagens convencional e sustentável) apresentados na Tabela 9, bem como a respetiva diferença

de tempos (para análise mais pormenorizada consultar o Anexo 1). Apesar de todos os moldes da população estarem indicados (com respetivas cavidade e bucha) e organizados por estratos de acordo com a tonelagem (ver Tabela 6), apenas os que constituem a amostra aleatória estratificada (constituída por 36 moldes, isto é, 36 cavidades e respetivas buchas, perfazendo um total de 72 peças) têm a indicação das simulações. Como referido anteriormente, foi atribuído um número sequencial aos moldes da amostra, sendo o número 1C a cavidade do molde 1 e o 1B a bucha do mesmo molde.

A tabela do Anexo 1 contempla ainda a área não projetada da superfície da peça percorrida pela ferramenta em simulação. Os valores apresentados estão expressos em milímetros quadrados (mm^2), pois esta é a unidade usada no setor dos moldes em Portugal. Esta informação, apesar de não estar diretamente relacionada com a medição da VD é uma VM importante, uma vez que poderá refletir-se em algumas medições.

Na preparação de qualquer simulação, o programador teve que efetuar uma análise crítica, avaliando se se podem majorar (ver Procedimentos para a simulação), e quanto, os valores de incremento radial e axial face à peça a fresar. Assim, mantém-se a qualidade mínima necessária da fresagem das zonas de ajuste, por forma a garantir um correto ajustamento do molde e a redução significativa do tempo de montagem (na secção da bancada).

Os resultados obtidos, sintetizados na Tabela 9, mostram que todos os tempos da simulação sustentável foram inferiores aos da simulação convencional. Nas cavidades, a simulação convencional efetuou-se em 667h37min enquanto que a sustentável efetuou-se em 497h43min, resultando numa diferença de 169h54min. No que respeita à simulação das buchas, o método convencional efetuou-se em 756h57min comparativamente às 553h02min do método sustentável, resultando um diferencial de 202h55min.

Os tempos de simulação da fresagem sustentável das cavidades e buchas representam uma poupança de 74,56% e 73,17% respetivamente, o que vai ao encontro dos resultados obtidos pela *Tekniker* (a maquinaria de alto rendimento permite uma redução de tempos na ordem dos 80% quando comparada com a convencional), uma vez que, ao utilizar a fresagem sustentável, obtém-se uma redução média de tempos na ordem dos 73,87%, o que pode traduzir-se em 46,6 dias efetivos de trabalho.

Considerando que o horário laboral de cada colaborador português é de 8 horas diárias e em média 22 dias efetivos de trabalho por mês, o tempo referido em cima representa aproximadamente 2 meses e 5 dias efetivos de trabalho (ver Tabela 9).

Tabela 9 – Síntese dos tempos das simulações efetuadas

Fatores	Cavidade		Bucha		Totais
	Convencional	Sustentável	Convencional	Sustentável	
Subtotais (hh:mm)	667:37	497:43	756:57	553:02	---
Tempos (hh:mm)	169:54		202:55		372:47
%	74,56		73,17		73,87
Dias efetivos	---		---		46,6
Meses efetivos	---		---		2,12

Fonte própria resultante do estudo

É fundamental salientar que os 2,12 meses poderão contribuir ainda para a entrega atempada de moldes, indo ao encontro das necessidades dos clientes e abrindo as possibilidades de ganhar novos clientes, aumentando a produção anual, e de melhorar o prestígio e a competitividade da empresa.

Tendo por base os resultados do estudo para a amostra de 36 moldes (ver Tabela 7) estimou-se o valor do desvio padrão da população a partir do valor do desvio padrão da amostra, de forma a calcular uma estimativa para o nível de precisão dos resultados das diferenças de tempos de simulação. De modo a que o grau de confiança seja elevado, o investigador trabalhou com o grau de 95% e utilizou-se a fórmula de cálculo apresentada por Daniel e Terrell (1995), tal como expresso na Equação 4 (ver Amostra).

Uma vez que o estudo efetuado recai sobre 36 moldes constituídos pelas respetivas cavidades e buchas, apresenta-se uma estimativa para os tempos de execução de ambas, a partir da Equação 4.

Com base na amostra, o cálculo da estimativa para o desvio padrão (σ) das cavidades permitiu chegar ao valor de 5,87857 horas, enquanto que para as buchas o valor é de 6,60023 horas. Deste modo, a precisão da estimativa das diferenças dos tempos de simulação será efetuada sobre as cavidades e buchas, tal como está expresso a seguir:

$$d_{cavidades} = 1,96 \cdot \frac{5,87857}{\sqrt{36}} \cdot \sqrt{\frac{56-36}{56-1}} \approx 1,16h, \text{ e}$$

$$d_{buchas} = 1,96 \cdot \frac{6,60023}{\sqrt{36}} \cdot \sqrt{\frac{56-36}{56-1}} \approx 1,3h$$

Assim, pode-se afirmar com um grau de confiança de 95%, que os resultados apresentados terão um nível de precisão da estimativa das diferenças dos tempos de simulação (afastamento ou erro máximo da estimativa do tempo observado em relação ao que se obteria na população dos 56 moldes) de 1,16h (ou seja 1h09min) para as cavidades e de 1,3h (ou seja 1h18min) para as buchas.

De acordo com o que foi referido, pode-se concluir que o incremento dos parâmetros de corte (ver Procedimentos para a simulação), recolhidos nas indicações de utilização do *software*, programadores e operadores CNC (ver Tabela 8), e que foram aplicados nas operações de simulação em cópia e por níveis (Z) presentes neste estudo contribuiu para a diferença de tempos obtidos com as simulações. Assim, a partir dos resultados apresentados na tabela do Anexo 1, depreende-se que quanto maior for o incremento da ferramenta (proveniente da Tabela 8), menores são os tempos de simulação e consequentemente de fresagem.

Observa-se ainda que, quanto maiores são os tempos de simulação convencionais, maiores são as diferenças de tempo relativamente à estratégia sustentável. Assim, verifica-se uma oscilação média de 2 a 4 horas, até ao escalão de 2 a 5 Ton, mas acima deste escalão (5 a 20 Ton) as diferenças são maiores, indo das 11 às 18 horas.

Os dados da tabela do Anexo 1 permitem verificar que, de um modo geral, os tempos de simulação aumentam com a dimensão (tonelagem) do molde, pois um molde de maior dimensão terá uma maior área não projetada (moldante e de ajuste), aumentando a área que a ferramenta terá que percorrer de forma a maquinar toda a superfície. Desta forma, é natural que os tempos de maquinação (convencional e sustentável) vão aumentando à medida que os estratos são constituídos por moldes de maior dimensão.

Todavia, pode-se verificar na Tabela 10 que a dimensão da zona de ajuste a maquinar não está diretamente relacionada com a tonelagem do molde, uma vez que, em termos genéricos, existem moldes de pequena tonelagem mas com uma grande área não projetada (e.g. molde 1) e moldes de grande tonelagem com menor área não projetada (e.g. molde 25). Ao nível dos estratos pode-se constatar que existem moldes de tonelagem inferior, cuja zona de ajuste a maquinar é superior à dos moldes de maior tonelagem (e.g. molde 23 vs molde 33); moldes do mesmo estrato dimensional (tonelagem) mas com áreas díspares (e.g. moldes 1 e 2) e, por último, moldes de diferentes estratos dimensionais que têm áreas aproximadas (e.g. moldes 11 e 25). Constata-se ainda que, no mesmo molde, como é o exemplo do molde 20, a diferença das áreas não projetadas (cavidade e bucha) poderá ser grande, o que não se verifica sempre (e.g. molde 3).

Tabela 10 – Exemplo de diferenças entre áreas não projetadas intra estratos e entre estratos

Dimensão (toneladas - Ton)		Identificação		Áreas não projetadas (mm ²)	
		Cavidade	Bucha	Cavidade	Bucha
]0 ; 0,25]	0.140	1C	1B	271315	145204
	0.220	2C	2B	33452	84728
]0,25 ; 0,75]	0.300	3C	3B	21084	21316
]0,75 ; 2]	1.070	11C	11B	97584	79053
	1.900	20C	20B	176589	63088
]2 ; 5]	2.920	23C	23B	394535	567709
	3.300	25C	25B	63294	97104
	4.470	27C	27B	176680	209732
]10 ; 20]	14.340	33C	33B	264456	368571

Fonte própria resultante do estudo

Em virtude do que foi referido, é possível concluir que a geometria da peça (constituída pela cavidade e pela bucha), considerada uma VM, é um elemento importante para a maquinação e permite que este estudo se aplique a moldes de diferentes tonelagens.

Assim, peças relativamente simples poderão ter uma desmoldação complexa e o contrário também poderá acontecer, o que remete para outro fator importante: a complexidade da área não projetada.

É importante salientar que a complexidade geométrica da zona moldante não está diretamente relacionada com o dimensionamento (tonelagem) do molde, isto porque, de acordo com a Tabela 5 (Rodrigues, 2002), moldes de grande e muito grande dimensão poderão ter uma complexidade média (como o caso da indústria de jardinagem), moldes muito pequenos e de pequena dimensão poderão ter uma complexidade elevada (como o caso da indústria elétrica/eletrônica) e moldes de média dimensão poderão ter uma complexidade média (como é o caso da indústria de utilitários domésticos), ou seja, um molde de qualquer tonelagem poderá ter qualquer nível de complexidade (baixa, média ou alta) (Rodrigues, 2002).

De acordo com o que foi referido, as diferenças de tempos entre as simulações convencional e sustentável justificam-se não só com o tamanho dos moldes, mas também com a dimensão e complexidade das áreas não projetadas, isto é, quanto maior e/ou mais complexa for a área não projetada da peça a simular/programar, maior será o tempo de simulação e por conseguinte de maquinação, independentemente da tonelagem.

A complexidade da área não projetada explica que moldes com áreas superiores, comparativamente a outras, poderão ter tempos de simulação inferiores (e.g. moldes 27B vs 1B), ou que moldes com áreas não projetadas de diferentes dimensões poderão ter tempos de simulação muito similares (e.g. moldes 1C vs 8C; moldes 4C vs 14C). Estas particularidades poderão dever-se ao facto de existirem moldes menos complexos em termos técnicos, ou seja, têm zonas mais planas que não obriguem a ferramenta a fazer muitos percursos, mudanças de direção, avanços/velocidade, entre outros.

9.2 Economia na utilização dos recursos

A redução nos tempos de simulação, e por conseguinte nos tempos de produção, permitiu apurar qual a repercussão da utilização da fresagem sustentável na necessidade de mão-de-obra, no consumo energético (traduzido monetariamente em euros) e na emissão de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera (traduzida em quilogramas).

9.2.1 Recursos humanos: custo da hora homem-máquina

Na empresa em que decorre o estudo, a média do preço da hora homem/máquina para o parque de máquinas onde serão efetuadas as maquinações das cavidades e buchas é de 30€/h. Com a diminuição de horas de simulação, também o tempo de execução diminui, o que implica menos horas do operador com determinada peça. Em virtude da diminuição de tempos na fresagem das peças, a empresa consegue acrescentar valor ao produto através da redução dos custos de produção, mantendo a qualidade final. Assim, construiu-se a Equação 5, recorrendo ao preço da hora de homem/máquina praticado na empresa em causa e à diferença de tempos de simulação, tal como consta na tabela do Anexo 2 para calcular a “economia em homem/máquina”.

Equação 5 – Economia em homem/máquina resultante da diferença de simulação

$$\begin{aligned} \text{Economia em homem/máquina(€)} &= \\ &= \text{Diferença de tempos de simulação (h)} * \text{preço médio da hora homem/máquina (€/h)} \end{aligned}$$

Os resultados calculados através da Equação 5 (sintetizados na Tabela 11) mostram que as reduções de tempos registadas anteriormente recorrendo à simulação sustentável, permitem economizar um total de 11.184€ em mão-de-obra utilizada (horas em homem/máquina) (para análise mais pormenorizada consultar o Anexo 1).

Tabela 11 – Síntese da economia em recursos humanos devido à simulação sustentável

Peça		Qde peças	Diferenças de tempo de simulação (hh:mm)	Tempo de simulação (hh)	Economia em homem/máquina (€)
nº	tipo				
TOTAL	C	36	169:54	169,89	11.184
	B	36	202:55	202,91	
		72	372:49	372,8	

Fonte própria resultante do estudo

9.2.2 Recursos energéticos

Para encontrar os valores referentes ao consumo da “economia energética (€)” (ver síntese na Tabela 13), encontrou-se o valor de “consumo médio das CNC (kW)” (ver Tabela 12), recorrendo aos consumos teóricos (de catálogo) em quilowatt (kW) dos referidos equipamentos, pois é impossível prever em qual dos equipamentos se poderia concretizar a simulação feita em *WorkNc* e nem todas as máquinas têm o mesmo consumo energético. Desta forma, conseguem-se minimizar os efeitos das oscilações nos consumos dos equipamentos (variáveis moderadoras), contribuindo para uma maior validade (interna e externa). A Tabela 12 mostra o parque de máquinas e a respetiva potência de catálogo, que o investigador também considera como sendo uma variável moderadora (VM).

Tabela 12 – Consumo médio das CNC (kW)

Equipamento	Potência Máq. (kW)
Moriseiki - SV 500	50
Anayak - VH 3000 Plus	43
Huron - KX 30	54
Anayak - P 3200	40
Anayak - H 3000 MG	50
Mori Seiki - NV 6000	36
HURON - Kx10Five	63
HURON - Nx40	54
HURON - Kx20	54
MÉDIA	49,33(3)

Fonte própria

A partir da diferença horária e do consumo médio das CNC, obteve-se o consumo energético médio correspondente a cada simulação. Para tal efetuou-se o cálculo:

Equação 6 – Consumo energético médio na simulação (kWh)

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético médio na simulação (kWh)} &= \\ &= \text{Consumo médio CNC (kW)} * \text{Diferença de tempos de simulação (h)} \end{aligned}$$

O cálculo da economia energética (€) proveniente da diferença de tempos entre a fresagem convencional e a fresagem sustentável (Equação 7) nas diversas simulações resulta dos valores provenientes da Equação 6 (apresentados estratificadamente na tabela do Anexo 3) e do valor unitário por kWh:

Equação 7 – Economia energética (€) proveniente da diferença de tempos de simulação

$$\begin{aligned} \text{Economia energética (€)} &= \\ &= \text{Consumo energético médio na simulação (kWh)} * \text{Valor unitário por kWh(€)} \end{aligned}$$

Assim, em 2010, ano em que decorre este estudo, o valor unitário por kWh aplicado à empresa pela EDP (Energias de Portugal) foi de 0,11€ (onze cêntimos de euro) e a partir da conversão dos tempos relativos à fresagem sustentável, constantes Tabela 9, para quilowatt (kW), horas (h) e euros (€), foi possível constatar que, através do recurso à fresagem sustentável, a empresa poderá economizar 2.022,92€ em energia elétrica, mantendo o nível de produção (ver Tabela 13) (para análise mais pormenorizada consultar o Anexo 3).

Tabela 13 – Síntese da economia energética com recurso à simulação sustentável

Peça		Qde peças	Tempo de simulação (hh)	Consumo médio na simulação (kWh)	Economia energética (€)
nº	tipo				
TOTAL	C	36	169,89	18.390,22	2.022,92
	B	36	202,91		
		72	372,8		

Fonte própria resultante do estudo

9.2.3 Recursos ambientais: emissões de dióxido de carbono (CO₂)

Com o valor do consumo energético médio obtido através da simulação (kWh) (Equação 6), pode-se calcular a quantidade média de dióxido de carbono (CO₂) cuja emissão para a atmosfera se conseguirá evitar, através da economia de energia elétrica. Para tal, utilizar-se-á o valor oficial fornecido pelo sítio da EDP na internet (<http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>, consultado a 24 de janeiro de 2011), onde consta que o valor médio de emissão de dióxido de carbono (CO₂) em 2010 foi de 226,74 g/kWh. Este valor engloba todos os recursos de produção de energia, sendo elas a hídrica, eólica, nuclear, cogeração e microgeração, assim como a proveniente da queima de carvão, fuel, gás natural e outras formas de menor expressão energética não mencionadas no sítio.

A Tabela 14 (tabela sintetizada da tabela do Anexo 3) indica a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) não emitido para a atmosfera, em virtude da diferença de tempos de maquinação por peça. Os valores apresentados estão expressos na unidade do SI (Sistema Internacional), grama (g), mas para melhor compreensão foi convertido para quilograma, Kg. Na Tabela 14 pode observar-se que, recorrendo à simulação sustentável, a empresa deixa de emitir mais de 4 Toneladas de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera, o que corresponde a 226,74 g/kWh, uma vez que consumiu menos energia (ver Tabela 13). De acordo com o INE (2010) registam-se progressos no desempenho ambiental da indústria portuguesa, nomeadamente nas emissões de gases com efeito de estufa. No que à IPM diz respeito, é importante frisar que a fresagem sustentável poderá aumentar a redução da emissão dos gases com efeito de estufa, nomeadamente o CO₂, já que

“em 2008, estima-se que se tenha registado uma diminuição da intensidade das emissões de gases de efeito estufa em 2,1%, em relação a 2007. De facto, enquanto em 2007 emitiu-se 579,4 g de CO₂ por euro de VAB gerado, em 2008 o valor foi de 567,1 g de CO₂, reforçando a tendência, verificada a partir de 2006, de uma menor variação relativa destas emissões, comparativamente com o crescimento da actividade económica” (INE, 2010:1).

Neste sentido, a empresa contribui para a resolução de um problema global (indo ao encontro do referido anteriormente pela ONU, 2011a), enquanto melhora a sua imagem

junto do consumidor/cliente, ao assumir uma postura de responsabilidade relativamente ao seu impacto ambiental (Ferreira, 2010).

Tabela 14 – Síntese da quantidade de dióxido de carbono (CO₂) não emitido para a atmosfera com recurso à simulação sustentável

Peça		Qde peças	Tempo de simulação (hh)	Consumo médio na simulação (kWh)	CO2 (Kg) não emitido
nº	tipo				
TOTAL	C	36	169,89	18.390,22	4.169,79
	B	36	202,91		
		72	372,8		

Fonte própria resultante do estudo

A Tabela 15 apresenta a síntese de todos os resultados obtidos nesta investigação recorrendo à simulação sustentável em detrimento da convencional.

Esta investigação permite constatar que a utilização da fresagem sustentável em detrimento da convencional permite reduzir o tempo de simulação em 372:49 horas, o que corresponde a 46,6 dias (aproximadamente 2 meses e 5 dias) de trabalho efetivo e a 11.184€ em horas de homem/máquina. De referir ainda que ao adotar este tipo de fresagem, a empresa deixaria de consumir 18.390,22 kWh de energia o que significa um encaixe direto de 2.022,92€. Assim, é possível afirmar que a adoção da simulação/fresagem sustentável representaria uma poupança de 13.206,92€ anuais para a amostra analisada.

Para além dos ganhos monetários diretos para a empresa, a diminuição dos tempos de fresagem pode representar um ganho indireto para a organização, traduzido na fidelização de clientes, na entrega de moldes nos prazos acordados ou em prazos mais curtos (competitividade), na produção de mais moldes com os mesmos recursos, entre outros aspetos. Por outro lado, evita-se a emissão de mais de 4 Toneladas de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera, contribuindo para a diminuição do impacto ambiental da empresa, melhorando a sua imagem junto dos *stakeholders*.

Assim, a otimização do processo de fresagem e a consequente diminuição dos tempos utilizados, é importante pela economia na utilização dos recursos humanos e energéticos e pelo contributo para o potencial competitivo da empresa e para a sua sustentabilidade ambiental.

Tabela 15 – Síntese dos resultados da investigação

Dimensão (Tonelada)	Tamanho da amostra	Diferença de tempo de simulação		Consumo na simulação (kWh)	Economia em homem/máquina (€)	Economia energético (€)	CO ₂ não emitido para a atmosfera		Economia total (€)
		(h)	(dias)				(g)	(Kg)	
]0 ; 0,25]	2	9:09	1,14	451,37	274,50	49,65	102343,52	102,34	324,15
]0,25 ; 0,75]	4	8:41	1,08	427,69	260,10	47,05	96974,68	96,97	307,15
]0,75 ; 2]	15	51:36	6,45	2544,93	1547,70	279,94	577038,48	577,04	1827,64
]2 ; 5]	6	54:51	6,86	2705,75	1645,50	297,63	613501,87	613,50	1943,13
]5 ; 10]	5	123:03	15,38	6070,06	3691,50	667,71	1376324,61	1376,32	4359,21
]10 ; 20]	2	45:55	5,74	2265,23	1377,60	249,18	513619,08	513,62	1626,78
]20 ; ∞[	2	79:34	9,95	3925,19	2387,10	431,77	889997,15	890,00	2818,87
TOTAL	36	372:49	46,60	18.390,22	11.184,00	2.022,92	4.169.799,39	4.169,79	13.206,92

Fonte própria resultante do estudo

10 CONCLUSÕES

Este estudo teve como ponto fundamental a otimização do processo de fresagem e o seu contributo para a sustentabilidade. A escolha efetuada deve-se ao facto de, por um lado, a fresagem ser considerada o ‘coração’ do processo produtivo da empresa de moldes, pois quase todas as peças passam por esta secção e, por outro lado, ser fundamental melhorar a competitividade das empresas, contribuindo para a sua sustentabilidade económica e ambiental.

Para testar as hipóteses orientadoras da investigação e na impossibilidade de materializar os moldes, foram realizadas simulações por computador através da utilização de um *software* de geração de trajetórias de maquinação (*WorkNc*), comumente utilizado pela IPM na fabricação de moldes para a injeção de plástico. Estas simulações são centradas nas zonas de ajuste das cavidades e buchas do molde com o propósito de reduzir tempos produtivos. Deste modo, as zonas moldantes (alma do molde) não são afetadas neste estudo, o que implica manter a qualidade de acabamento superficial, tal como se faz atualmente.

A população do estudo engloba moldes de diversas dimensões, organizados por estratos, de acordo com a escala de Rodrigues (2002:169), de modo a possibilitar ao estudo uma maior abrangência, uma vez que a IPM para a injeção de plástico é constituída por empresas especializadas em todo o tipo de dimensionamento de moldes (tonelagem). Dos 56 moldes da população, foi constituída uma amostra probabilística estratificada de 36 moldes, perfazendo um total de 72 peças (36 cavidades e respetivas buchas), pois este tipo de amostragem permite que os elementos de todas as classes tenham igual probabilidade de fazer parte da amostra, reforçando a sua representatividade (Fortin e Filion, 2006).

Na perspetiva experimental do estudo foram definidas variáveis, nomeadamente a variável independente (VI) (simulação convencional e sustentável) e a variável dependente (VD) (tempo de simulação). No entanto, em investigações experimentais o investigador deve controlar outro tipo de variáveis para que estas não influenciem o resultado final, pelo que as variáveis moderadoras (VM) (dimensão do molde) foram devidamente controladas e o efeito das variáveis externas (VE) foi neutralizado. Deste modo, garante-se que os resultados obtidos (VD, ou seja, tempos de simulação) apenas são influenciados pela VI (tipo de fresagem). Desta forma, apenas se alteraram os

incrementos axial (operação em nível Z) e radial (operação de cópia), consoante o tipo de operação a efetuar, não se alterando qualquer outro tipo de parâmetro técnico na programação, de forma a neutralizar qualquer outra influência sobre os resultados que não a VI. Procedendo desta forma, o investigador garantiu a validade interna do estudo e permitiu a comparação de resultados entre o grupo de controlo (peças sujeitas à simulação convencional) e o grupo experimental (peças sujeitas à simulação sustentável).

A partir dos resultados obtidos é possível verificar que a fresagem sustentável contribuiu, de forma significativa, para a redução dos tempos de simulação e por consequência de produção (H1), o que permite a redução do tempo homem/máquina (H2) e do consumo de energia elétrica (H3) que, por sua vez, permitiu um decréscimo nas emissões de CO₂ para a atmosfera (H4). Os resultados obtidos mostram que é possível manter a qualidade dos moldes produzidos e reduzir os prazos de entrega aos clientes (El-Haggar, 2007), enquanto se modera a utilização e consumo de recursos (ONU, 2011a) contribuindo para a sustentabilidade económica e ambiental da empresa.

A redução de tempos na fresagem verifica-se em todos os estratos, pois a estratégia sustentável pode-se aplicar a moldes de diferentes tonelagens (H5). Neste processo constatou-se que a área não projetada da zona de ajuste influencia os tempos do processo produtivo (H6) e que, a este facto, se pode acrescentar a complexidade da linha de junta (que define a área não projetada da cavidade e da bucha), pois também contribuiu para a diferença de tempos observada. Em consequência, a diferença de tempos é influenciada pela área não projetada, pela complexidade da linha de junta e pela tonelagem do molde, pelo que a estratégia sustentável pode permitir a diminuição de tempos de fresagem em moldes de diferentes tonelagens.

Em virtude do que foi referido, é ainda importante salientar que a estratégia da fresagem sustentável permite não só a poupança, através da utilização otimizada dos recursos humanos e energéticos, como potencia o desenvolvimento da empresa, uma vez que se registou um decréscimo nos tempos de consecução da fresagem sustentável relativamente à convencional e, por consequência, na necessidade de mão-de-obra utilizada, bem como nos consumos de energia e nas emissões de dióxido de carbono (CO₂), tal como está sintetizado na Tabela 15. No seguimento de Young (2007) e El-Haggar (2007), as empresas lucram com a sustentabilidade, aos níveis económico

(redução de tempos de produção, que se repercute nas horas de homem/máquina e no consumo de energia elétrica) e ambiental (a redução do consumo de energia elétrica implica a redução da produção e consequente emissão de CO₂ para a atmosfera).

No final do processo de investigação, é possível afirmar que, apesar dos moldes terem diferentes tonelagens, o aumento dos incrementos axial e radial no programa de simulação (fresagem sustentável) permite melhores tempos no processo produtivo de moldes para a injeção de plástico. Efetivamente, a orientação para práticas sustentáveis permite à empresa criar vantagem competitiva ao produzir em menos tempo e com menos recursos, uma vez que lhe permite outras variáveis na negociação com os clientes e abre a possibilidade de procurar novos nichos de mercado. Em suma, a adoção de formas produtivas ambientalmente mais corretas pode aumentar a produtividade e a competitividade, devido à melhoria da imagem da empresa no mercado, à redução de custos e diminuição do impacto ambiental (Melo, 2006; Young, 2007).

Como foi referido por Ferreira (2010), a adoção de soluções que contribuam para a sustentabilidade implica uma perspetiva a longo prazo, otimização e eficiência, interdependência e cooperação permitindo, tal como defendem Young (2007) e Ferreira (2010), melhorar a competitividade da empresa a médio/longo prazo. Epstein (2008) e a ONU (2011b) reforçam a ideia e acrescentam que as empresas que conseguirem desenvolver estratégias para enfrentar a escassez de recursos energéticos, a necessidade de recursos humanos e de consumíveis ganharão competitividade. Neste contexto, as empresas adquirem um papel preponderante para a sua sustentabilidade económica e ambiental, bem como para a preservação da natureza, assumindo um papel ativo no desenvolvimento sustentável.

10.1 Implicações para o conhecimento académico

Esta investigação contribui para o conhecimento académico uma vez que não existe qualquer estudo semelhante no setor dos moldes, aquando da revisão da literatura nesta dissertação, o que torna este estudo numa mais valia para o conhecimento académico. Assim, a simulação de uma forma sustentável de operacionalizar a fresagem forneceu dados relevantes para a competitividade da Indústria Portuguesa de Moldes e para futuros estudos. A importância da adaptação dos processos produtivos, nos seus diversos momentos, é um fator estratégico em setores industriais predominantemente exportadores.

Apesar de Jorge (2011) ter um estudo semelhante no processo produtivo, relativo à utilização de recursos, esta investigação foi mais longe, uma vez que, a partir da medição dos tempos de simulação da fresagem se calculou as necessidades de recursos humanos, consumo de energia e consequentes emissões de CO₂, numa abordagem inédita ao processo de produção de moldes em Portugal.

Ainda é importante referir que a transformação no modo como se organizam os processos produtivos, sem recorrer a quaisquer investimentos adicionais, pode ser um campo de investigação interessante para aumentar a competitividade empresarial.

10.2 Implicações para a gestão

A otimização do processo produtivo é de extrema importância para a Indústria Portuguesa de Moldes para a injeção de plástico, uma vez que interfere diretamente com os tempos produtivos, a produtividade da empresa e os recursos utilizados (humanos, energéticos, entre outros). Se este processo de melhoria não implicar novos investimentos, mas apenas a utilização dos recursos disponíveis e, mesmo assim, propiciar competitividade pode considerar-se que os ganhos são efetivamente significativos.

Ao minimizar tempos produtivos consegue-se produzir mais em menos tempo, diminuir os custos de produção e, assim, aumentar a competitividade da empresa a nível nacional e internacional (El-Haggar, 2007), pois entrega-se o molde final mais rapidamente, o que acrescenta valor ao serviço prestado pela empresa. Por outro lado, as medidas sugeridas para o processo de otimização implicam que a empresa se torne mais rentável

economicamente e sustentável ambientalmente, o que poderá abrir portas a novas áreas de negócio e nichos de mercado, uma vez que a contribuição para a sustentabilidade ambiental pode ser uma característica diferenciadora e uma mais-valia para a imagem da empresa relativamente aos seus *stakeholders*. Em consequência, otimizar o processo produtivo não só é uma necessidade económica para a IPM como é fundamental para a sua competitividade, devendo ser entendida pelos atores da gestão como uma estratégia de negócio e não como um assunto secundário.

Em função do que foi referido, espera-se que os resultados do estudo venham a ser um contributo para a otimização do processo produtivo na IPM, uma vez que permitirá melhorar a sua competitividade e contribuir para o desenvolvimento deste setor industrial, tão importante para o país.

10.3 Limitações do estudo

Este estudo apresenta algumas limitações que deixam em aberto pontos de partida para futuras investigações. Apesar da simulação em computador ser uma enorme vantagem, minimizando o tempo da investigação, não implica a materialização das simulações, o que também pode ser entendido como uma desvantagem para o estudo, uma vez que as simulações não estão sujeitas ao imprevisto e se concretizam em contextos ideais.

A inexistência de estudos semelhantes no setor dos moldes, aquando da revisão da literatura nesta dissertação, pode ser considerada uma limitação ao estudo, uma vez que não existem resultados prévios que permitam comparar com os obtidos, de modo a dar uma maior validade à investigação. Por outro lado, a construção e operacionalização metodológica foram mais difíceis pela impossibilidade de uma replicação.

10.4 Sugestões para estudos futuros

Sugere-se que, em futuras investigações, se replique este estudo, mas a partir da construção de uma peça simples, com relevo, que permita testar as operações massivamente utilizadas (simulação por cópia e por níveis).

Seria ainda cientificamente pertinente que estudos semelhantes se realizem noutras empresas, de forma a poder ampliar os resultados a moldes de maiores dimensões, a uniformizar parâmetros de corte e que utilizassem outro(s) *software(s)*.

Este estudo pode ainda servir de base para outros que analisassem moldes, tendo em atenção a tonelagem e a indústria-cliente para a qual se destinam. Desta forma, seria possível analisar a importância e a rentabilidade de cada uma delas, percebendo a sua importância estratégica para a IPM.

Por tudo o que foi referido, é óbvio que existe ainda um longo caminho a percorrer para um conhecimento mais profundo e sistematizado sobre o tema, mas espera-se que este estudo tenha contribuído não só para a otimização e sustentabilidade da IPM, bem como para a abertura de novos caminhos de investigação.

11 Referências Bibliográficas

- Adamczyk, Z. (2004) *Integration concept of CAM system and tool diagnostic system in optimization of machining processes*, Journal of Materials Processing Technology, 157-158, pp 8-15.
- Agapiou, J.S. (1992) *Cutting Tool Strategies for Multifunctional Part Configurations: Part I: Analytical Economic Models for Cutting Tools*, Wayne State University, Detroit, USA.
- Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal (AICEP) (2012) *Portugal: Comércio Internacional de Moldes (NC 8480)*, Lisboa, Portugal.
- Associação Nacional da Indústria de Moldes (Cefamol) (1996) *Posicionamento Internacional do Setor dos Moldes*, Marinha Grande, Portugal.
- Associação Nacional da Indústria de Moldes (Cefamol) (2011) *A Indústria Portuguesa de Moldes*, Marinha Grande, Portugal.
- Beira, E. (2007) *Indústria de moldes no Norte de Portugal: Protagonistas – uma colecção de testemunhos*, Edição Centimfe, ISBN 978-972-98872-7-7
- Cano, I. (2004) *Introdução à avaliação de programas sociais*, FGV Editora, 2ª edição, ISBN 85-225-0379-6.
- Carvalho, J. (2007) *Metodologia de Optimização de Processos de Conformação Plástica*, Universidade de Aveiro, Portugal, Tese de Mestrado.
- Daniel, W. e Terrell, J. (1995) *Business Statistics for Management and Economics*, 7ª edição, Houghton Mifflin Company, Boston.
- El-Haggag, S. (2007) *Sustainable Industrial Design and Waste Management: Cradle-to-cradel for Sustainable Development*, Academic Press Title, USA, ISBN 978-0-12-373623-9.
- Epstein, M. (2008) *Making sustainability work: Best practices in Managing and measuring corporate social, environmental and economic impacts*, Berrett-Koehler Publishers Inc., EUA, ISBN 978-1-906093-05-1.
- Faustino, J. (2012) *in suplemento integral da edição nº 3906 do Jornal Região de Leiria e da edição nº 854 do diário de Lisboa, Porto e Oliveira de Azeméis de 27 de Janeiro de 2012*, p 10.
- Ferreira, I. (2001) *Caracterização da indústria de moldes da região da Marinha Grande, na ótica da Qualidade*, Escola de Gestão do Porto, Universidade do Porto, Dissertação de Mestrado.
- Ferreira, M. (2010) *Gestão do Design e sua adequação a um novo paradigma regido pela sustentabilidade*, Faculdade de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Dissertação de Mestrado.

- Figueiredo, D. (2010) *Otimização da produção de coletores solares: caso de estudo na WS Energia*, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Dissertação de Mestrado.
- Fortin, M. e Filion, J. (2006) *Fundamentos e etapas do processo de investigação*, Editora Lusodidacta, ISBN 978-989-8075-18-5, Lisboa.
- Gomes, S. (2009) *As práticas de Sustentabilidade Estratégica nas Empresas Portuguesas – Estudo de Caso: Corticeira Amorim*, Universidade do Porto, Portugal, Dissertação de Mestrado.
- Hatna, A., Grieve, R. e Broomhead, P. (1998) *Automatic CNC milling of pockets: geometric and technological issues*, Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 11, nº 4, pp 309-330.
- Hoffman, A. e Bazerman, M. (2008) *Changing practice on sustainability: understanding and overcoming the organizational and psychological barriers to action*, Berrett-Koehler Publishers Inc., EUA, ISBN 978-1-906093-05-1.
- Instituto Nacional de Estatística (INE) (2007) *Índice Alfabético da Classificação Portuguesa das Actividades Económicas, Revisão 3 (CAE-Rev.3)*, Lisboa, Portugal, ISBN 978-972-373-918-0.
- Instituto Nacional de Estatística (INE) (2010) *Indicadores Económico-ambientais 1995-2008*, edição setembro 2010, Lisboa, Portugal.
- Instituto Nacional de Estatística (INE) (2012) *Estatística do Ambiente 2010*, edição 2011, publicado em 26 de Janeiro de 2012, Lisboa, Portugal, ISBN 978-989-25-0127-7.
- Jorge, M. (2011) *Reduction in water consumption during the process of wine production*, Esporão S.A., <http://www.bcsdportugal.org/2010/2002.htm> consultado a 2 de Junho de 2012.
- Lin, T. (2002) *Optimisation Technique for Face Milling Stainless Steel with multiple performance characteristics*, Advances in Manufacturing Systems Engineering, ASME 19, pp 330–335.
- Malakooti, B. e Deviprasad, J. (1989) *An interactive multiple criteria approach for parameter selection in metal cutting*, Operations Research, Vol 37, nº 5, pp 805-818.
- Melo, L. (2006) *Apoio Institucional como Determinante para Ecoeficiência nas Micro e Pequenas Empresas Industriais: um estudo de caso para o Município de Maceió*, Universidade Federal de Alagoas, Dissertação de Mestrado.
- Menezes, U., Kneipp, J., Rosa, L. e Gomes, C. (2010) *Estratégia de Inovação Sustentável: um estudo multicase no setor químico*, XIII SEMEAD, ISSN 2177-3866.
- Mukherje, I. e Ray, P. (2005) *A review of optimization techniques in metal cutting processes*, Computers & Industrial Engineering, Vol 50, pp 15–34.
- Oliveira, A. (2008) *Ecoeficiência na indústria de lacticínios na Ilha de São Miguel*, Universidade dos Açores, Açores, Dissertação de Mestrado.

Organização das Nações Unidas (ONU) (1991) *O Nosso Futuro Comum* in Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Fundação Getúlio Vargas, 2ª edição, Brasil, ISBN 001-435-010-8.

Organização das Nações Unidas (ONU) (2011a) *Manufacturing: investing in energy and resource efficiency*, Green economy, ONU.

Organização das Nações Unidas (ONU) (2011b) *UNEP's ground-breaking report: Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*, ONU <http://www.unep.org/GreenEconomy/> consultado em outubro de 2011.

Park, K. e Kim, S. (1998) *Artificial intelligence approaches to determination of CNC machining parameters in manufacturing - a review*, Artificial Intelligence in Engineering, 12, pp 121–134.

Pereira, J. (2009) *Sustentabilidade: Diferentes Perspetivas, um Objetivo Comum in Global Economics and Management Review*, nº1, pp 115–126, ISSN 0873-7444.

Ravindran, A., Ragsdell, K. e Reklaitis, G. (2006) *Engineering optimization: methods and applications*, 2ª edição, John Wiley & Sons, Inc., EUA, ISBN 0-471-55814-1.

Revista (2011) *INVEST*, nº 80, Invest.

Revista (1993) *O molde*, nº 20, Cefamol.

Revista (1993) *O molde*, nº 21, Cefamol.

Revista (2011) *O molde*, nº 89, Cefamol.

Robinson, S. (2004) *Simulation: the practice of model development and use*, John Wiley and Sons, Ltd., ISBN 0-470-84772-7.

Rodrigues, S. (2002) *Business strategy and organizational performance: An analysis of the Portuguese mould industry*, Universidade de Wolverhampton, Reino Unido, Tese de Doutorado.

Sampieri, R., Collado, C. e Lucio, P. (2006) *Metodologia de pesquisa*, 3ª edição, McGraw-Hill, ISBN 85-8680493-2.

Savitz, A. (2007) *A empresa sustentável: o verdadeiro sucesso é o lucro com responsabilidade social e ambiental*, Elsevier, Rio de Janeiro.

Silva, A. (1981) *Simulação em Engenharia Química*, Separata da Revista da Universidade de Coimbra, Vol XXIX, pp 321–328.

Sönmez, A., Baykaso, A., Dereli, T. e Hüseyin I. (1999) *Dynamic optimization of multipass milling operations via geometric programming*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol 39, nº 2, pp 297–320.

Sun, W. e Yuan, Y. (2006) *Optimization theory and methods: nonlinear programming*, Springer, ISBN 0-387-24975-3.

Tocha, R. (2012) *in suplemento integral da edição nº 3906 do Jornal Região de Leiria, nº 854 do Diário de Lisboa, Porto e Oliveira de Azeméis de 27 de Janeiro de 2012, p 22.*

- Tolouei-Rad, M. e Bidhendi, M. (1996) *On the optimization of machining parameters for milling operations*, International Journal of Machine Tools & Manufature, Vol 37, nº 1, pp 1–16.
- Tuckman, B. (2000) *Manual de investigação em educação*, Fundação Calouste Gulbenkian, 4.ª ed., ISBN 972-31-0879-8.
- Vasconcelos, S. e Filho M. (2009) *Vantagem competitiva com a prática de responsabilidade social e sustentabilidade?*, Ciências Sociais Aplicadas em Revistas, nº 2, pp 97–112.
- Vieira, F. (2007) *Distritos industriais e inovação: o setor dos moldes em Portugal*, Universidade do Minho, Portugal, Tese de Doutoramento.
- Wang, J. (1998) *Computer-aided economic optimization of end-milling operations*, International Journal of Production Economics, 54, pp 307–320.
- Weinert, K., Enselmann, A. e Friedhoff, J. (1997) *Milling Simulation for Process Optimization in the Field of Die and Mould Manufacturing*, University of Dortmund, Dortmund, Alemanha.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2010) *Vision 2050: The new agenda for business*, Geneva, Suíça.
- Young, C. (2007) *Sustentabilidade e Competitividade: O Papel das Empresas*, Revista de Economia Mackenzie, Vol 5, nº 5.

12 Webgrafia

http://www.brasilmatic.com.br/a2c_cms//ckeditor/uploads/File/8.-%20Mejoras%20de%20procesos_2_PTB.pdf

consultado a 20 de outubro de 2012.

Banco de Portugal (2012)

http://www.bportugal.pt/pt-PT/EstudosEconomicos/Publicacoes/RelatorioAnual/Publicacoes/RA_11_p.pdf

consultado a 9 de setembro de 2012.

<http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>

consultado a 24 de janeiro de 2011.

Faustino, J. (2012) *in* Jornal Região de Leiria, edição online de 30 de Abril de 2012

<http://www.regiaodeleiria.pt/blog/2012/04/30/moldes-precisam-de-mao-de-obra/>

consultado a 30 de Julho de 2012.

ANEXOS

Anexo 1 – Tempos das simulações efetuadas

Dimensão (Tonelada)	Tamanho amostra	Tempos de simulação (hh:mm)								Áreas não projetadas (mm ²)			
		Identificação		Cavidade		Bucha		Diferenças		Cavidade	Bucha		
		Cavidade	Bucha	Convencional	Sustentável	Convencional	Sustentável	Cavidade	Bucha				
]0 ; 0,25]	0.140	2	1C	1B	4:43:00	2:58:00	17:21:00	11:12:00	1:45:00	6:09:00	271315	145204	
	0.200												
	0.220		2C	2B	2:07:00	1:35:00	1:52:00	1:09:00	0:32:00	0:43:00	33452	84728	
]0,25 ; 0,75]	0.300	4	3C	3B	0:43:00	0:25:00	0:50:00	0:29:00	0:18:00	0:21:00	21084	21316	
	0.415		4C	4B	5:56:00	4:00:00	5:25:00	3:37:00	1:56:00	1:48:00	33049	86582	
	0.430		5C	5B	5:56:00	4:00:00	5:25:00	3:37:00	1:56:00	1:48:00	33049	86582	
	0.560		moldes de torno										
	0.600		moldes de torno										
	0.600		moldes de torno										
	0.690		6C	6B	0:46:00	0:32:00	1:29:00	1:09:00	0:14:00	0:20:00	14868	25354	
]0,75 ; 2]	0.840	15	7C	7B	2:19:00	1:37:00	5:22:00	3:33:00	0:42:00	1:49:00	56828	63088	
	0.910		8C	8B	4:18:00	3:29:00	2:37:00	1:55:00	0:49:00	0:42:00	77747	112530	
	0.910												
	0.960		9C	9B	2:49:00	2:13:00	1:40:00	1:11:00	0:36:00	0:29:00	30201	29930	
	0.960		10C	10B	2:37:00	2:05:00	1:31:00	1:11:00	0:32:00	0:20:00	30201	29930	
	1.070		11C	11B	2:00:00	1:14:00	3:37:00	2:14:00	0:46:00	1:23:00	97584	79053	
	1.120												
	1.190												
	1.190												
	1.190		12C	12B	2:58:00	2:26:00	3:08:00	2:09:00	0:32:00	0:59:00	30201	29930	
1.250	13C	13B	2:37:00	1:50:00	4:35:00	3:25:00	0:47:00	1:10:00	56828	63088			

Dimensão (Tonelada)	Tamanho Amostra	Tempos de simulação (hh:mm)								Áreas não projetadas (mm ²)	
		Identificação		Cavidade		Bucha		Diferenças		Cavidade	Bucha
		Cavidade	Bucha	Convencional	Sustentável	Convencional	Sustentável	Cavidade	Bucha		
]0,75 ; 2]	1.260										
	1.440	14C	14B	5:21:00	3:06:00	10:47:00	6:12:00	2:15:00	4:35:00	170244	187276
	1.450	15C	15B	2:17:00	1:26:00	6:52:00	4:27:00	0:51:00	2:25:00	87351	131127
	1.480	16C	16B	1:37:00	1:00:00	7:10:00	4:09:00	0:37:00	3:01:00	66024	150875
	1.650	18C	18B	6:20:00	3:50:00	9:20:00	5:20:00	2:30:00	4:00:00	144459	210411
	1.670										
	1.695										
	1.695	17C	17B	18:19:00	13:47:00	6:12:00	4:38:00	4:32:00	1:34:00	198148	201131
	1.740										
	1.750	19C	19B	5:48:00	3:33:00	7:48:00	4:29:00	2:15:00	3:19:00	145453	159936
	1.900	20C	20B	7:47:00	5:27:00	9:43:00	6:44:00	2:20:00	2:59:00	176589	63088
1.905	21C	21B	1:33:00	0:54:00	5:43:00	3:35:00	0:39:00	2:08:00	43333	186797	
]2 ; 5]	2.175										
	2.325	22C	22B	9:36:00	6:12:00	11:01:00	8:49:00	3:24:00	2:12:00	130938	166006
	2.920	23C	23B	74:09:00	69:35:00	111:33:00	105:10:00	4:34:00	6:23:00	394535	567709
	2.920	24C	24B	74:09:00	69:35:00	111:33:00	105:10:00	4:34:00	6:23:00	394535	567709
	3.000										
	3.300	25C	25B	5:35:00	4:16:00	6:37:00	4:13:00	1:19:00	2:24:00	63294	97104
	4.190										
	4.205	26C	26B	23:30:00	16:01:00	21:24:00	15:09:00	7:29:00	6:15:00	379527	362374
	4.470	27C	27B	19:45:00	12:30:00	6:27:00	3:48:00	7:15:00	2:39:00	176680	209732

Dimensão (Tonelada)	Tamanho Amostra	Identificação	Tempos de simulação (hh:mm)								Áreas não projetadas (mm ²)	
			Cavidade		Bucha		Diferenças		Cavidade	Bucha		
			Cavidade	Bucha	Convencional	Sustentável	Convencional	Sustentável			Cavidade	Bucha
]5 ; 10]	5.215											
	5.460	28C	28B	55:42:00	36:49:00	32:58:00	22:36:00	18:53:00	10:22:00	795560	807547	
	5.485	29C	29B	32:46:00	20:58:00	41:26:00	26:21:00	11:48:00	15:05:00	790162	815576	
	5.920	30C	30B	29:09:00	17:58:00	33:23:00	21:31:00	11:11:00	11:52:00	730770	442890	
	7.050											
	7.970											
	8.765	31C	31B	64:41:00	45:42:00	38:29:00	26:46:00	18:59:00	11:43:00	1217278	720812	
	9.055	32C	32B	5:31:00	3:18:00	25:40:00	14:43:00	2:13:00	10:57:00	449437	470262	
]10 ; 20]	14.340	33C	33B	21:31:00	15:57:00	23:39:00	17:10:00	5:34:00	6:29:00	264456	368571	
	15.000											
	15.000	34C	34B	45:02:00	26:55:00	39:10:00	23:25:00	18:07:00	15:45:00	1247391	1161015	
]20 ; ∞]	21.900	35C	35B	48:46:00	41:19:00	69:39:00	42:13:00	7:27:00	27:26:00	1434334	1632046	
	21.900											
	22.000	36C	36B	68:54:00	49:11:00	64:31:00	39:33:00	19:43:00	24:58:00	1047565	1641018	
Somatório	36			667:37:00	497:43:00	755:57:00	553:02:00	169:54:00	202:55:00			

Fonte própria resultante do estudo

Anexo 2 – Economias em recursos humanos devido à simulação sustentável

Peça		Qde peças	Diferenças de tempo de simulação (hh:mm)	Tempo de simulação (hh)	Economia em homem/máquina (€)
nº	tipo				
1	C	1	1:45	1,75	52,5
	B	1	6:09	6,15	184,5
2	C	1	0:32	0,53	15,9
	B	1	0:43	0,72	21,6
3	C	1	0:18	0,3	9
	B	1	0:21	0,35	10,5
4	C	1	1:56	1,93	57,9
	B	1	1:48	1,8	54
5	C	1	1:56	1,93	57,9
	B	1	1:48	1,8	54
6	C	1	0:14	0,23	6,9
	B	1	0:20	0,33	9,9
7	C	1	0:42	0,7	21
	B	1	1:49	1,82	54,6
8	C	1	0:49	0,82	24,6
	B	1	0:42	0,7	21
9	C	1	0:36	0,6	18
	B	1	0:29	0,48	14,4
10	C	1	0:32	0,53	15,9
	B	1	0:20	0,33	9,9
11	C	1	0:46	0,77	23,1
	B	1	1:23	1,38	41,4
12	C	1	0:32	0,53	15,9
	B	1	0:59	0,98	29,4
13	C	1	0:47	0,78	23,4
	B	1	1:10	1,17	35,1
14	C	1	2:15	2,25	67,5
	B	1	4:35	4,58	137,4
15	C	1	0:51	0,85	25,5
	B	1	2:25	2,42	72,6
16	C	1	0:37	0,62	18,6
	B	1	3:01	3,02	90,6
17	C	1	2:30	2,5	75
	B	1	4:00	4	120
18	C	1	4:32	4,53	135,9
	B	1	1:34	1,57	47,1
19	C	1	2:15	2,25	67,5
	B	1	3:19	3,32	99,6
20	C	1	2:20	2,33	69,9
	B	1	2:59	2,98	89,4

Peça		Qde peças	Diferenças de tempo de simulação (hh:mm)	Tempo de simulação (hh)	Economia em homem/máquina (€)
nº	tipo				
21	C	1	0:39	0,65	19,5
	B	1	2:08	2,13	63,9
22	C	1	3:24	3,4	102
	B	1	2:12	2,2	66
23	C	1	4:34	4,57	137,1
	B	1	6:23	6,38	191,4
24	C	1	4:34	4,57	137,1
	B	1	6:23	6,38	191,4
25	C	1	1:19	1,32	39,6
	B	1	2:24	2,4	72
26	C	1	7:29	7,48	224,4
	B	1	6:15	6,25	187,5
27	C	1	7:15	7,25	217,5
	B	1	2:39	2,65	79,5
28	C	1	18:53	18,88	566,4
	B	1	10:22	10,37	311,1
29	C	1	11:48	11,8	354
	B	1	15:05	15,08	452,4
30	C	1	11:11	11,18	335,4
	B	1	11:52	11,87	356,1
31	C	1	18:59	18,98	569,4
	B	1	11:43	11,72	351,6
32	C	1	2:13	2,22	66,6
	B	1	10:57	10,95	328,5
33	C	1	5:34	5,57	167,1
	B	1	6:29	6,48	194,4
34	C	1	18:07	18,12	543,6
	B	1	15:45	15,75	472,5
35	C	1	7:27	7,45	223,5
	B	1	27:26	27,43	822,9
36	C	1	19:43	19,72	591,6
	B	1	24:58	24,97	749,1
TOTAL	C	36	169:54	169,89	11.184
	B	36	202:55	202,91	
		72	372:49	372,8	

Fonte própria resultante do estudo

Anexo 3 – Economia energética e quantidade de dióxido de carbono (CO₂) não emitido para a atmosfera devido à simulação sustentável

Peça		Qde peças	Tempo de simulação (hh)	Consumo médio das CNC's (kW)	Consumo médio na simulação (kWh)	Economia energética (€)	CO ₂ não emitido para a atmosfera		
nº	tipo						(g)	(Kg)	
1	C	1	1,75	49,33	86,3275	9,50	19573,9	19,57	
	B	1	6,15		303,3795	33,37	68788,27	68,79	
2	C	1	0,53		26,1449	2,88	5928,09	5,93	
	B	1	0,72		35,5176	3,91	8053,26	8,05	
3	C	1	0,3		49,33	14,799	1,63	3355,53	3,36
	B	1	0,35			17,2655	1,90	3914,78	3,91
4	C	1	1,93	95,2069		10,47	21587,21	21,59	
	B	1	1,8	88,794		9,77	20133,15	20,13	
5	C	1	1,93	95,2069		10,47	21587,21	21,59	
	B	1	1,8	88,794		9,77	20133,15	20,13	
6	C	1	0,23	11,3459		1,25	2572,57	2,57	
	B	1	0,33	16,2789		1,79	3691,08	3,69	
7	C	1	0,7	49,33		34,531	3,80	7829,56	7,83
	B	1	1,82			89,7806	9,88	20356,85	20,36
8	C	1	0,82			40,4506	4,45	9171,77	9,17
	B	1	0,7			34,531	3,80	7829,56	7,83
9	C	1	0,6			29,598	3,26	6711,05	6,71
	B	1	0,48			23,6784	2,60	5368,84	5,37
10	C	1	0,53			26,1449	2,88	5928,09	5,93
	B	1	0,33			16,2789	1,79	3691,08	3,69
11	C	1	0,77			37,9841	4,18	8612,51	8,61
	B	1	1,38			68,0754	7,49	15435,42	15,44
12	C	1	0,53			26,1449	2,88	5928,09	5,93
	B	1	0,98			48,3434	5,32	10961,38	10,96
13	C	1	0,78		38,4774	4,23	8724,37	8,72	
	B	1	1,17		57,7161	6,35	13086,55	13,09	
14	C	1	2,25		110,9925	12,21	25166,44	25,17	
	B	1	4,58		225,9314	24,85	51227,69	51,23	
15	C	1	0,85		41,9305	4,61	9507,32	9,51	
	B	1	2,42		119,3786	13,13	27067,9	27,07	
16	C	1	0,62		30,5846	3,36	6934,75	6,93	
	B	1	3,02		148,9766	16,39	33778,95	33,78	
17	C	1	2,5	123,325	13,57	27962,71	27,96		
	B	1	4	197,32	21,71	44740,34	44,74		
18	C	1	4,53	223,4649	24,58	50668,43	50,67		
	B	1	1,57	77,4481	8,52	17560,58	17,56		
19	C	1	2,25	110,9925	12,21	25166,44	25,17		
	B	1	3,32	163,7756	18,02	37134,48	37,13		
20	C	1	2,33	114,9389	12,64	26061,25	26,06		
	B	1	2,98	147,0034	16,17	33331,55	33,33		

Peça		Qde peças	Tempo de simulação (hh)	Consumo médio das CNC's (kW)	Consumo médio na simulação (kWh)	Economia energética (€)	CO ₂ não emitido para a atmosfera	
nº	tipo						(g)	(Kg)
21	C	1	0,65	49,33	32,0645	3,53	7270,3	7,27
	B	1	2,13		105,0729	11,56	23824,23	23,82
22	C	1	3,4	49,33	167,722	18,45	38029,29	38,03
	B	1	2,2		108,526	11,94	24607,19	24,61
23	C	1	4,57		225,4381	24,80	51115,83	51,12
	B	1	6,38		314,7254	34,62	71360,84	71,36
24	C	1	4,57		225,4381	24,80	51115,83	51,12
	B	1	6,38		314,7254	34,62	71360,84	71,36
25	C	1	1,32		65,1156	7,16	14764,31	14,76
	B	1	2,4		118,392	13,02	26844,2	26,84
26	C	1	7,48		368,9884	40,59	83664,43	83,66
	B	1	6,25		308,3125	33,91	69906,78	69,91
27	C	1	7,25		357,6425	39,34	81091,86	81,09
	B	1	2,65		130,7245	14,38	29640,47	29,64
28	C	1	18,88		931,3504	102,45	211174,39	211,17
	B	1	10,37		511,5521	56,27	115989,32	115,99
29	C	1	11,8		582,094	64,03	131983,99	131,98
	B	1	15,08		743,8964	81,83	168671,07	168,67
30	C	1	11,18	551,5094	60,67	125049,24	125,05	
	B	1	11,87	585,5471	64,41	132766,95	132,77	
31	C	1	18,98	936,2834	102,99	212292,9	212,29	
	B	1	11,72	578,1476	63,60	131089,19	131,09	
32	C	1	2,22	109,5126	12,05	24830,89	24,83	
	B	1	10,95	540,1635	59,42	122476,67	122,48	
33	C	1	5,57	274,7681	30,22	62300,92	62,3	
	B	1	6,48	319,6584	35,16	72479,35	72,48	
34	C	1	18,12	893,8596	98,32	202673,73	202,67	
	B	1	15,75	776,9475	85,46	176165,08	176,17	
35	C	1	7,45	367,5085	40,43	83328,88	83,33	
	B	1	27,43	1353,1219	148,84	306806,86	306,81	
36	C	1	19,72	972,7876	107,01	220569,86	220,57	
	B	1	24,97	1231,7701	135,49	279291,55	279,29	
Total	C	36	169,89	---	18.390,22	2.022,92	4.169.799,4	4.169,79
	B	36	202,91					
		72	372,8					

Fonte própria resultante do estudo