

Otimização do fabrico de um registo para um ventilador industrial

Frederico dos Santos Maia Santa-Bárbara

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. José Duarte Ribeiro Marafona

Orientador na Curval Metalworks: Eng. Simão Curval



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho de 2020

Resumo

Nas últimas décadas tem-se verificado um crescente desenvolvimento na área da indústria metalomecânica. Com a concorrência e o aparecimento dos mercados emergentes, é cada vez mais importante garantir elevadas taxas de produção e de qualidade.

O tema desta dissertação, otimização do fabrico de um registo para um ventilador industrial, desenvolvida em contexto empresarial na Curval Metalworks, surge da necessidade de competir neste mercado cada vez mais exigente, na tentativa de redução do tempo e custos de fabrico.

O projeto iniciou com a observação e aprendizagem das práticas e procedimentos diretos ou indiretamente relacionados com o processo industrial da empresa, para recolher os dados representativos da produção de um registo para um ventilador industrial. Para tal, procedeu-se à análise e respetivo mapeamento dos processos envolvidos, na produção de um registo, por forma a identificar perspetivas de otimização e possíveis soluções.

Com a referida caracterização, verificou-se que era recorrente a montagem e desmontagem dos componentes constituintes do registo, por forma a garantir que o mesmo funcionasse corretamente antes de ser efetuada a soldadura dos conjuntos compostos pelo veio, pás e fechos das pás. Como sugestão para a otimização do processo em estudo, foi desenvolvido um protótipo de uma ferramenta, capaz de simular o correto posicionamento de cada peça do conjunto (veios, pás e fecho das pás) garantindo assim, que o registo esteja de acordo com as especificações pretendidas.

A utilização desta ferramenta permitirá a eliminação das etapas de montagem e desmontagem, reduzindo assim o tempo de produção e conseqüentemente o seu custo.

Optimizing the manufacturing process of a damper for an industrial ventilator

Abstract

In the last decades there has been an increasing development in the metal industry. With competitiveness and the appearance of immersive markets, it is increasingly important to ensure high production rates and quality.

The theme of this dissertation, optimizing the manufacturing process of a damper for an industrial ventilator, developed in an industrial environment at Curval Metalworks, arises from the need to compete in this increasingly demanding market, in an attempt to reduce manufacturing time and costs.

The project started with the observation and learning of practices and procedures directly or indirectly related to the company's industrial process, to collect the representative data of the production of an industrial ventilator damper. As so, observation and respective processes mapping were made, in the production of an industrial damper, in order to identify prospects for optimization and possible solutions.

With the referred characterization, it was verified that the assembly and disassembly of the constituent components of the damper were usual, in order to ensure that it worked correctly before welding the assemblies composed of the shaft, blades and blade closures. As a suggestion for the optimization of the process in study, a prototype of a tool was developed, capable of simulating the correct positioning of each part of the set (shafts, blades and blade closures) ensuring that the damper is in accordance with the specifications required.

The use of this tool will allow the elimination of assembly and disassembly steps, thereby reducing production time and therefore its cost.

Agradecimentos

Ao longo da realização desta dissertação, foram várias as pessoas que me apoiaram e ajudaram, e assim gostaria de lhes deixar um agradecimento.

Começo por agradecer ao meu orientador, Professor José Duarte Ribeiro Marafona, pelo apoio que prestou no decorrer deste trabalho.

Gostaria de deixar um agradecimento ao meu orientador na empresa, Engenheiro Simão Curval e a toda a equipa da Curval Metalworks, pelo acompanhamento e partilha de conhecimento, providenciando uma ajuda preciosa na elaboração desta dissertação.

Um especial agradecimento à empresa Curval Metalworks, que me integrou e que me fez sentir em casa, pela simpatia e prestabilidade ao longo da realização da dissertação.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, por tudo o que me proporcionaram e que me permitiu chegar a este ponto, mas principalmente pelo apoio incondicional que demonstraram ao longo do meu percurso académico.

Quero deixar um especial agradecimento à minha namorada Joana, pela ajuda, apoio e principalmente paciência ao longo deste percurso.

Por último, um agradecimento a todos os meus amigos que me apoiaram, incentivaram e proporcionaram momentos de descontração sempre que necessário.

A todos, muito obrigado.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto	1
1.2	Objetivos	1
1.3	A Curval Metalworks.....	1
1.4	Metodologia	2
1.5	Estrutura da dissertação	2
2	Enquadramento teórico.....	3
2.1	Metalomecânica	3
2.2	Desenho.....	4
2.3	Processos	6
2.3.1	Processo de corte	7
2.3.2	Processo de conformação	15
2.3.3	Processo de maquinagem.....	19
2.3.4	Processo de união	27
2.3.5	Processo de montagem	32
2.4	Método de custos - Custeios	34
2.5	Lean Manufacturing.....	36
3	O estudo de caso – Curval Metalworks	41
3.1	A empresa Curval Metalworks	41
3.2	Cadeia de Valor da Curval Metalworks	43
3.3	O Processo de fabrico do registo para um ventilador	45
3.4	Identificação de constrangimentos do processo	52
4	Proposta de otimização do processo de fabrico de um registo	54
4.1	Requisitos.....	54
4.2	Processo de desenvolvimento dos constituintes da ferramenta	55
4.3	Processo de montagem da ferramenta.....	63
4.4	Especificações dos constituintes da ferramenta	68
4.5	Estimativa de redução de custos	70
5	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	71
5.1	Conclusões	71
5.2	Perspetivas de trabalhos futuros.....	72
	Referências	73
	ANEXO A: Desenho técnico do protótipo	75

Siglas

AIMMAP – Associação dos Industriais Metalúrgicos, Metalomecânicos e Afins de Portugal

ANSI – *American National Standards Institute*

CNC – Controlo Numérico Computorizado

GMAW – *Gas metal arc welding*

ISO – *International Standards Organization*

LASER – *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

MAG – *Metal Active Gas*

MIG – *Metal Inert Gas*

QCD – *Quality Cost and Delivery*

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

TIG – *Tungsten Inert Gas*

TPS – *Toyota Production System*

VSM – *Value Stream Map*

Índice de Figuras

Figura 1 – Método diédrico (Simões Morais, 2007)	4
Figura 2 – Exemplo de desenho técnico (Almacinha, 2008).....	5
Figura 3 – Corte por plasma: arco transferido (esquerda); arco não transferido (direita) (Fernandes, 1991)	8
Figura 4 – Corte por plasma (adaptado de Groover, 2010).....	9
Figura 5 – Corte por laser (Santos et al., 1993).....	11
Figura 6 – Corte de chapa metálica através de duas arestas de corte (adaptado de Groover, 2010).....	12
Figura 7 – Vista lateral (a) e vista de frente (b) do processo de corte por guilhotina (adaptado de Groover, 2010).....	13
Figura 8 – Processo de conformação (adaptado de Groover, 2010).....	15
Figura 9 – Processo de quinagem (adaptado de Groover, 2010).....	16
Figura 10 – Tipos de quinagem (Rodrigues & Martins, 2005)	16
Figura 11 – Processo de calandragem (Groover, 2010)	17
Figura 12 – Diferentes tipos de calandras (Rodrigues & Martins, 2005).....	18
Figura 13 – Processo de maquinagem (adaptado de Groover, 2010).....	19
Figura 14 – Operação de torneamento (adaptado de Groover, 2010)	20
Figura 15 – Furadora de coluna (adaptado de Groover, 2010).....	21
Figura 16 – Movimento de furar (Gerling, 1977).....	22
Figura 17 – Processo de fresagem (adaptado de Groover, 2010).....	22
Figura 18 – Processo de fresagem: execução de face curva (adaptado de Groover, 2010).....	23
Figura 19 – Operação de fresagem (adaptado de Gerling, 1977).....	23
Figura 20 – Máquina de escatelar (adaptado de Gerling, 1977).....	24
Figura 21 – Mandriladora horizontal (adaptado de Gerling, 1977).....	25
Figura 22 – Duas formas diferentes de mandrilagem (adaptado de Groover, 2010).....	26
Figura 23 – Mandriladora vertical (adaptado de Groover, 2010).....	26
Figura 24 – Processo de soldadura por arco elétrico (adaptado de Groover, 2010).....	28
Figura 25 – Máquina de soldar MIG/MAG (Weman, 2012).....	30
Figura 26 – Processo de soldadura TIG sem material de adição (adaptado de Groover, 2010)	30
Figura 27 – Processo de soldadura TIG com metal de adição (adaptado de Weman, 2012) ...	31
Figura 28 – Exemplo de dois tipos de aparafusamento (adaptado de Groover, 2010).....	32
Figura 29 – Tipo de cabeças de parafusos (adaptado de Groover, 2010).....	33
Figura 30 – House of <i>Gemba</i> (adaptado de Imai, 2012)	37
Figura 31 – Flexibilidade de trabalho: dimensões e níveis de flexibilidade (adaptado de Silva & Ferreira, 2019).....	40

Figura 32 – Empresa Curval Metalworks (Metalworks, 2020).....	41
Figura 33 – Cadeia de valor.....	43
Figura 34 – Fluxograma do processo produtivo de estrutura metálica (adaptado de Ferreira, 2011).....	44
Figura 35 – Exemplo de uma peça cortada com as respectivas marcações	46
Figura 36 – Fluxograma do processo de produção da estrutura do registo, pás, fechos das pás e bielas	47
Figura 37 – Fluxograma do processo de produção dos veios das pás	49
Figura 38 – Fluxograma do processo de produção dos centros das bielas	51
Figura 39 – Conjunto composto pelo veio, pás e fechos das pás	52
Figura 40 – Conjunto das pás e veio.....	52
Figura 41 – Posicionamento das pás em relação ao escatel do veio.....	53
Figura 42 – Comprimento do veio.....	54
Figura 43 – Raio do veio	54
Figura 44 – Comprimento das pás	55
Figura 45 – Largura do conjunto das pás	55
Figura 46 – Base da ferramenta.....	55
Figura 47 – Base da ferramenta vista superior	56
Figura 48 – Características dos furos roscados da base da ferramenta	56
Figura 49 – Pé da base da ferramenta.....	57
Figura 50 – Fixador da base da ferramenta	57
Figura 51 – Características do furo roscado do fixador da base da ferramenta.....	57
Figura 52 – Conjunto da base da ferramenta	58
Figura 53 – Características do cordão de soldadura	58
Figura 54 – Conjunto soldado: pé e base da ferramenta.....	58
Figura 55 – Conjunto soldado: fixadores e base da ferramenta	59
Figura 56 – Aumento da base da ferramenta	59
Figura 57 – Características dos furos roscados do aumento da base da ferramenta.....	59
Figura 58 – Guia do veio	60
Figura 59 – Posicionador do veio	60
Figura 60 – Batente do veio.....	61
Figura 61 – Batente lateral direito da pá.....	61
Figura 62 – Apoio inferior direito da pá.....	62
Figura 63 – Batente de topo da pá	62
Figura 64 – Montagem do aumento da ferramenta.....	63
Figura 65 – Montagem das guias do veio.....	64
Figura 66 – Montagem do posicionador do veio juntamente com o conjunto do veio	64

Figura 67 – Montagem do batente do veio	65
Figura 68 – Montagem dos batentes laterais	65
Figura 69 – Montagem dos apoios inferiores da pá.....	66
Figura 70 – Protótipo final da ferramenta (perspetiva 1)	66
Figura 71 – Protótipo final da ferramenta (perspetiva 2)	66
Figura 72 – Protótipo final da ferramenta (perspetiva 3)	67
Figura 73 – Protótipo final da ferramenta sem o conjunto das pás e veio.....	67
Figura 74 – Lista de materiais e suas características do conjunto da base da ferramenta	68
Figura 75 – Lista de materiais e suas características do conjunto final da ferramenta.....	69
Figura 76 – Desenho técnico do protótipo da ferramenta	75

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Capacidade de corte de diferentes técnicas (adaptado de Fernandes, 1991)	14
Tabela 2 – Características dos métodos de corte (adaptado de Hussary & Renault, 2007)	14
Tabela 3 – Seleção de parafusos standard em unidades métricas (ISO) e Americanas (ANSI) (adaptado de Groover, 2010)	33
Tabela 4 – Ferramentas <i>Lean</i> (Belekoukias et al., 2014)	38
Tabela 5 – Otimização de tempos de produção do registo	70
Tabela 6 – Otimização dos custos de produção do registo.....	70

1 Introdução

1.1 Enquadramento do projeto

O âmbito deste estudo enquadrado numa vertente de desenvolvimento em ambiente empresarial, na empresa Curval Metalworks, tem como principal objetivo a “Otimização do fabrico de um registo para um ventilador industrial”.

A inovação e otimização de processos têm-se revelado um fator fulcral para que as empresas consigam manter a sua competitividade num mundo empresarial cada vez mais global e competitivo, motivo pelo qual acresce a pertinência e mais valia deste estudo no processo da empresa, como tentativa de otimizar o seu processo de fabrico.

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular Dissertação, do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, especialização em Produção, Conceção e Fabrico, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, durante o segundo semestre do ano letivo de 2019/2020.

1.2 Objetivos

A finalidade desta dissertação consiste numa análise do processo de fabrico em ambiente empresarial tendo como objetivo a otimização do fabrico de um registo para um ventilador industrial. Para tal, surgem diversas questões que procuram resposta ao longo deste trabalho, nomeadamente quais os processos associados à atividade da empresa? Quais os benefícios, tanto a nível de tempo como de custos, associados às alterações propostas?

Para ser possível responder às questões referidas, foi imprescindível o acompanhamento de todos os processos e logística inerentes à atividade da empresa, os diversos intervenientes, perceber quais são as tarefas de verdadeira importância que potenciam a otimização de tempo e custos de produção do registo de um ventilador em estudo.

1.3 A Curval Metalworks

A Curval Metalworks é uma empresa metalomecânica, localizada em Vila do Conde com mais de 75 anos de história.

Evoluindo desde o fabrico de equipamentos ligados à agricultura, até à sua transformação em empresa metalomecânica média/pesada, tendo a certificação pela norma ISO 9001/2008, bem como a certificação de requisitos de qualidade de soldadura para fusão de metais metálicos ISO 3834-2.

Atualmente a empresa encontra-se dividida entre fabrico e prestação de serviços, nomeadamente:

- Fabrico de turbinas e ventiladores,
- Construção soldada média/pesada;
- Estruturas metálicas e caldeiras;

- Equilibragem de turbinas, rotores, rolos ou qualquer tipo de peça até 25 toneladas;
- Torneamento de veios até 8 metros e 10 toneladas;
- Calandragem chapa até 42 milímetros de espessura e 3 metros de largura;
- Corte CNC a laser ou oxi-corte até 300 milímetros de espessura e plasma até 50 milímetros com chanfragem até 45°;
- Roscagem de furos cilíndricos de diâmetro de 3 até 48 milímetros;
- Soldadura robotizada de peças até 7 toneladas.

1.4 Metodologia

A metodologia utilizada para a realização desta dissertação foi definida com base nos seguintes pressupostos:

- Análise teórica do estado da arte;
- Realização do estudo em ambiente empresarial, permitindo o contacto direto não só com os responsáveis pelas diversas áreas, mas também com todos os funcionários dos diferentes departamentos (desenho e produção), possibilitando a verificação dos procedimentos teóricos, aplicados na prática;
- Recolha e análise de dados relevantes dos processos em estudo;
- Proposta de otimização e respetivo desenvolvimento;
- Apresentação e aplicação na empresa em estudo.

1.5 Estrutura da dissertação

Por forma a responder às questões anteriormente descritas, o presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos distintos que, por sua vez, estão divididos em vários subcapítulos.

Neste capítulo introdutório, é apresentado o enquadramento do projeto, os objetivos do estudo, a empresa na qual decorreu o estudo, a metodologia seguida durante a realização da presente dissertação, bem como a respetiva estruturação da mesma.

O segundo capítulo baseia-se nos fundamentos teóricos, inerentes à cadeia produtiva da empresa em estudo, que servirão de base para a análise prática, nomeadamente em que consiste a metalomecânica, o desenho industrial, os diferentes processos de fabrico, os métodos de custos e por fim, *Lean manufacturing*.

Seguidamente, no terceiro capítulo, será aprofundada a história da empresa, assim como a sua atividade. Posteriormente será ilustrada a sua cadeia de valor, bem como, o processo de fabrico do registo para um ventilador, sendo por fim apresentados os constrangimentos do processo.

No quarto capítulo, será apresentada a sugestão de otimização do processo em estudo, nomeadamente no que diz respeito aos requisitos a serem cumpridos, o processo de desenvolvimento do protótipo, bem como o processo de montagem de todas as peças constituintes do mesmo. Posteriormente serão apresentadas as especificações dos constituintes da ferramenta e a estimativa de redução de custos associados à utilização desta mesma ferramenta.

Por fim, no quinto capítulo, são expostas as conclusões, bem como perspetivas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 Enquadramento teórico

Ao longo deste capítulo é efetuado o enquadramento teórico, abordando todos os conceitos ligados à atividade da empresa Curval Metalworks, nomeadamente o conceito de metalomecânica, de desenho, os diferentes processos, os conceitos base na elaboração de métodos de custos e por fim *Lean manufacturing*.

2.1 Metalomecânica

“O setor da Metalurgia e da Metalomecânica nacional caracteriza-se por ser a indústria mais exportadora da economia portuguesa, o que demonstra que a alta qualidade e a diversidade dos produtos deste setor são cada vez mais reconhecidas internacionalmente.” (C. Cardoso & Quelhas, 2014)

De acordo com o presidente da AIMMAP e, no seguimento da sua declaração acima, devido ao elevado reconhecimento internacional e à forte capacidade exportadora, os produtos portugueses desta indústria estão presentes em diferentes mercados externos, nomeadamente em Espanha, Alemanha, França, Reino Unido, Itália, Angola e Estados Unidos da América.

Pinto & Dominguez (2012), definem indústria de metalomecânica como sendo um processo de criação de um produto através da transformação de matérias-primas, isto é, a produção de um item específico construído para um cliente ou, iniciar e financiar internamente o desenvolvimento de um novo produto, visando o fabrico e venda em quantidade. Durante este processo, as várias funções como análise de custos, planeamento de produção, controlo de stocks, entre outras, devem ser planeadas e programadas de acordo com o processo de gestão de projetos.

A indústria metalomecânica, encontra-se portanto posicionada entre os fornecedores de aços e os clientes finais, sendo fornecedora de produtos acabados, serviços e equipamentos para outras indústrias, desempenhando um papel central na produção industrial e, consequentemente, no crescimento da economia (Pinto & Dominguez, 2012).

De acordo com o Vice-presidente da AIMMAP, em entrevista ao jornal Expresso, o setor da metalurgia e da metalomecânica nacional caracteriza-se por ser uma indústria exportadora, tendo vindo a bater records de crescimento nos últimos anos, sendo que o valor das exportações em 2019 rondou os 20 mil milhões de euros (M. Cardoso, 2019).

Neste sector, a inovação é continua sendo que a automatização dos métodos e processos tem sido uma constante assim como o crescente desenvolvimento de novas tecnologias. De acordo com Lundvall (2016), a inovação é um fenómeno fundamental e inerente, pois a constante competitividade externa entre empresas e economias nacionais, refletem quais as empresas com capacidade de inovar e, como tal, as empresas devem envolver-se em atividades que visam a inovação para que consigam manter a sua posição no mercado.

2.2 Desenho

“O homem tem usado, desde sempre, a representação gráfica para melhor transmitir ideias e, também, para suplementar a sua linguagem gutural” (Simões Morais, 2007).

Segundo Simões Morais (2007), as inscrições rupestres são as primeiras manifestações gráficas conhecidas do homem primitivo. A evolução das técnicas e dos suportes, possibilitou a melhoria dos desenhos, aliada às necessidades gráficas das diferentes áreas de utilização.

Assim, e de acordo com Simões Morais (2007), o desenho encontra-se subdividido em dois grupos:

- Desenho artístico: considerado como representação em que há a liberdade para o autor ilustrar a sua obra de forma própria;
- Desenho técnico: representação descritiva de objetos destinados a transmitir informações rigorosas sobre as formas e as dimensões dos objetos.

Esta diferenciação, de acordo com o autor, ganhou maior relevância com Leonardo da Vinci no quadro Gioconda;

Por forma a resolver questões do espaço a três dimensões, Gaspard Monge criou o método diédrico, utilizando projeções ortogonais em dois planos (diédrico), Figura 1, e o rebatimento de um dos planos até se sobrepor ao outro plano que se faz coincidente com o suporte do desenho (Simões Morais, 2007). No desenho técnico são usadas simplificações na representação, que melhoram a clareza e a rapidez de execução do desenho.

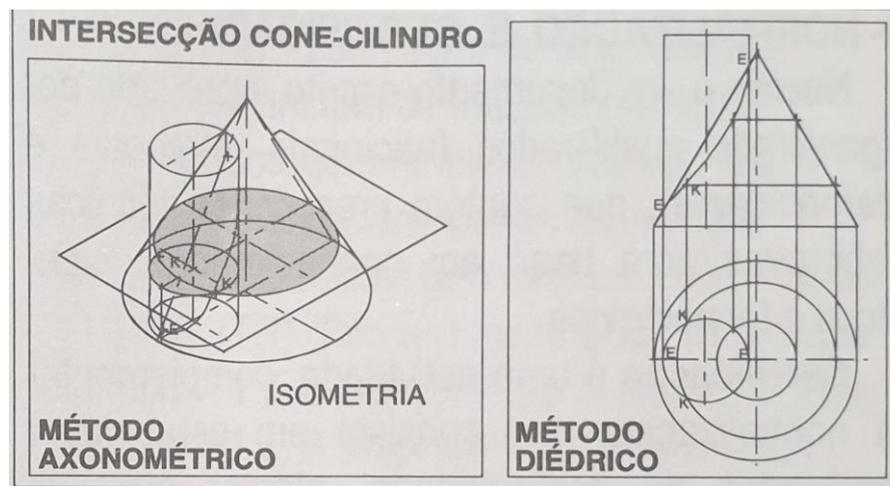


Figura 1 – Método diédrico (Simões Morais, 2007)

Assim, os desenhos técnicos são o principal meio em engenharia para comunicar visualmente como uma nova máquina ou componente funciona ou é construída. Estes são o resultado de um processo de design a partir de um conjunto de especificações que o produto final deve cumprir, sendo que esse processo de design, deve seguir um número regras (Van Daele et al., 2019).

Na mesma base, Yapici & Koldemir (2015), definem desenho técnico como método de fornecimento de todas as informações necessárias numa determinada escala, para produção e montagem de elementos estruturais, bem como das especificações a serem utilizadas no processo.

Este método de comunicação teve de ser aperfeiçoado e adaptado, pois anteriormente era usual que as empresas tivessem os seus serviços de conceção e de fabricação sediados no mesmo local, facilitando a comunicação entre o projetista e a unidade fabril. Nessa altura, as insuficiências dos desenhos técnicos, dos processos de medição, bem como das normas associadas não eram tão relevantes para o sucesso da produção (Almacinha, 2008).

Atualmente, com a contratação externa de tarefas produtivas, o contacto entre os projetistas e a unidade de produção nem sempre é possível, obrigando a que a documentação técnica elaborada pelos projetistas tenha de ser mais precisa.

O desenho técnico, Figura 2, deve então ser considerado como uma ferramenta de comunicação entre os projetistas e os executantes, contendo todas as informações necessárias à execução do projeto.

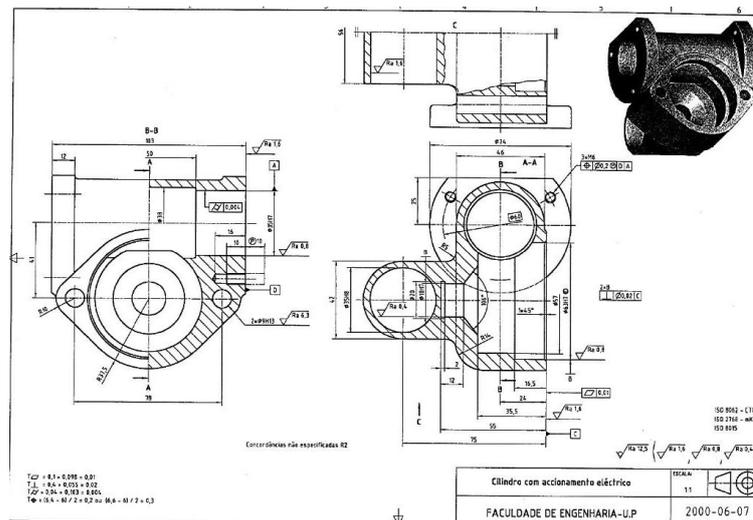


Figura 2 – Exemplo de desenho técnico (Almacinha, 2008)

No desenho técnico são utilizadas simplificações na representação que melhoram muito a clareza e a rapidez de execução do desenho. Para tal, foram estabelecidas normas de uso internacional, que tornam o desenho técnico numa linguagem universal, pois pode ser lida por qualquer técnico em qualquer país (Simões Morais, 2007).

Atualmente, os programas de projeto assistidos por computador aportam uma maior comodidade na produção de novos desenhos, aliados à ajuda dos simuladores de apoio que possibilitam a criação de peças num ambiente virtual, permitindo visualizar o movimento das peças, quais as forças sofridas durante a movimentação de materiais, tipos de materiais e apoio a todos os tipos de cálculos de engenharia, diminuindo drasticamente a margem de erro do desenho (Yapici & Koldemir, 2015).

De acordo com Almacinha (2003), a evolução tecnológica resulta da necessidade de produzir peças mais complexas, com maior grau de precisão, bem como da redução dos custos associados. As novas necessidades requerem mais flexibilidade nas normas que devem disponibilizar uma ampla variedade de ferramentas de cotagem e tolerânciamento.

Assim, a importância do desenho é bem notória, pois segundo a comissão técnica ISO/TC 213, dados empíricos mostram que quase 80% dos custos de um produto derivam de decisões tomadas durante as fases de conceção e de produção inicial desse produto. Outro dado relevante é que os custos médios resultantes das ambiguidades existentes nos desenhos técnicos podem atingir cerca de 20% do volume de negócios da produção. Assim, podemos concluir que definições incorretas e ambíguas dos requisitos da especificação geométrica de produtos são fatores que podem vir a representar um elevado risco económico para a indústria (Almacinha, 2003).

Em suma, e de acordo com o mesmo autor, uma vez que no contexto atual a interação humana direta é cada vez mais reduzida, a utilização de tecnologias baseadas em sistemas de computação é cada vez mais importante. Desta forma, torna-se necessário modelar o conhecimento relevante, através de métodos mais precisos para expressar os requisitos funcionais da peça, especificações completas e bem definidas, de forma a ser possível integrá-lo nos sistemas 3D CAD/CAM/CAQ.

2.3 Processos

Neste subcapítulo serão detalhados os processos utilizados na empresa em estudo, Curval Metalworks, subjacentes à sua tipologia de produtos comercializados, nomeadamente na área da ventilação, fabrico de rotores, construção soldada, estruturas médias/pesadas, bem como maquinagem.

Neste sentido far-se-á uma abordagem teórica do processo de corte, conformação, maquinagem, união e de montagens.

“Um processo de fabrico é um procedimento projetado que resulta em alterações físicas e / ou químicas num material de trabalho inicial, com objetivo de aumentar o valor do mesmo. Pode-se definir um processo de fabrico como sendo uma das diversas etapas necessárias para a transformação da matéria prima em produto final.” (Groover, 2010)

De acordo com o autor, e no seguimento do previamente descrito, as operações de fabrico podem ser divididas em dois tipos básicos:

- operações de processamento (Corte, conformação, maquinagem, união);
- operações de montagem.

Uma operação de processamento transforma um material de trabalho de um estado, para outro mais avançado, apresentando-se mais próximo do produto final desejado, acrescentando valor através da alteração da geometria e/ou propriedades do material inicial.

A operação de montagem une dois ou mais componentes para criar uma nova peça.

2.3.1 Processo de corte

De acordo com Pacheco (1992), o principio de corte consiste num processo tecnológico no qual ocorre a separação de um formato plano a partir de uma chapa ou banda.

Este processo pode ser efetuado por diversas formas sendo através de prensa ou puncionadora com ferramentas adequadas, através de laminas circulares, plasma ou por laser, por oxi-corte, etc. (Pacheco, 1992).

Assim, na produção de peças em pequenas séries, o recurso ao corte com ferramenta torna-se dispendioso, sendo desaconselhado. Para este tipo de produção, existem então outros processos de corte mais indicados:

- Oxi-corte;
- Corte por plasma;
- Corte por laser;
- Guilhotina;
- Etc.

- **Oxi-corte**

Os processos de corte térmico, conhecidos como corte por chama, usam o calor da combustão de certos gases combustíveis combinados com a reação exotérmica do metal com o oxigénio. A tocha de corte usada nesses processos é concebida para fornecer uma mistura de gás combustível e oxigénio nas quantidades adequadas e direcionar um fluxo de oxigénio para a zona de corte. O principal mecanismo de remoção de material no processo de corte por oxi-corte é a reação química do oxigénio com o metal base. O objetivo da combustão do oxi-combustível é aumentar a temperatura na região de corte para facilitar a reação (Groover, 2010).

Segundo o autor, estes processos são normalmente usados para cortar placas de metais ferrosos, nas quais a rápida oxidação do ferro ocorre de acordo com as seguintes reações:



O mecanismo de corte para metais não-ferrosos é um pouco diferente. Geralmente, esses metais são caracterizados por temperaturas de fusão mais baixas que os metais ferrosos e são mais resistentes à oxidação. Nesses casos, o calor da combustão da mistura de oxi-combustível desempenha um papel mais importante na conceção do corte. Além disso, para promover a reação de oxidação do metal, fluxos químicos ou pós metálicos são normalmente adicionados ao fluxo de oxigénio.

Assim, segundo Groover (2010), os combustíveis utilizados no processo de corte por oxi-corte incluem acetileno (C_2H_2), MAPP (metilacetileno e propadieno - C_3H_4), propileno (C_3H_6) e propano (C_3H_8). O acetileno dá origem à chama com maior temperatura e é o combustível mais utilizado para a soldadura e corte. No entanto, existem certos riscos com o armazenamento e o manuseamento de acetileno que devem ser considerados.

Os processos de corte por oxi-corte podem ser executados manualmente ou por máquina. Quando operado manualmente, as tochas são usadas para trabalhos de reparação, corte de sucata e operações similares que geralmente requerem menor precisão. Para o trabalho de produção, o corte por oxi-corte em máquina permite velocidades mais rápidas e maior precisão. Este equipamento geralmente é controlado numericamente, permitindo assim o corte de perfis (Groover, 2010).

- **Plasma**

“O processo PLASMA, utiliza um arco elétrico com estrangulamento mecânico de que resulta uma fonte de calor, sob a forma de um jato unidirecional de alta intensidade. O processo pode operar em dois modos distintos:

- *Modo de arco transferido ou direto (o arco é estabelecido entre o eléctrodo contido na tocha e a peça)*
- *Modo de arco não transferido ou indireto (o arco é estabelecido entre o eléctrodo e a tocha)”* (Fernandes, 1991)

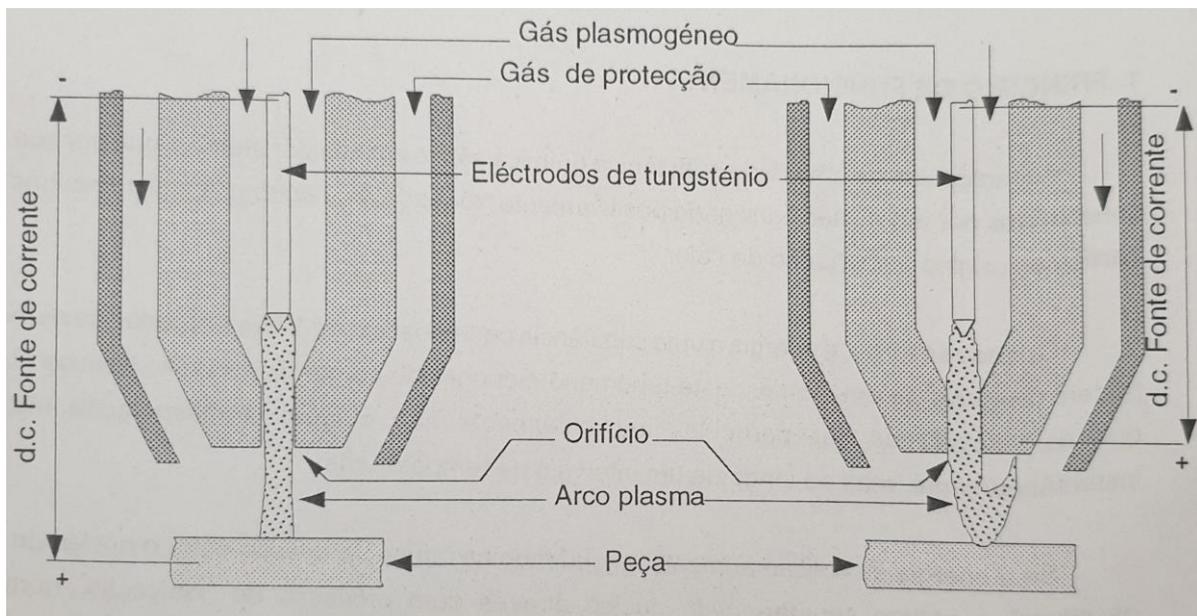


Figura 3 – Corte por plasma: arco transferido (esquerda); arco não transferido (direita) (Fernandes, 1991)

Fernandes (1991) refere que para a utilização do processo por arco transferido, a peça necessita de ser condutora, sendo que este processo envolve uma maior energia. Este método é então utilizado na maior parte dos sistemas de plasma. Já o processo por arco não transferido é utilizado quando a peça não é condutora ou quando se pretendem usar baixas energias térmicas.

Segundo o autor, um arco elétrico no processo Plasma opera a temperaturas entre 10.000 e 25.000 K e densidades de energia 10^5 a 10^7 W/cm².

Assim, o mesmo autor expõe que durante a operação de corte, o arco concentra-se numa pequena área da peça a cortar, fundindo o metal. O gás, que é pré aquecido pelo arco, expande-se e é acelerado através do orifício da tocha. O corte é realizado através da abertura de uma ranhura que resulta do metal que se encontra no estado de fusão e que é removido através da energia cinética provocada pela corrente de gás. Desta forma, é fundamental uma escolha acertada do gás a ser utilizado por forma a evitar a oxidação das superfícies a cortar.

Quando utilizado gases inertes, o processo de corte apenas está dependente da ação térmica e cinética do gás. Quando usado gases com a adição de pequenos teores de oxigénio, permite

aumentar a velocidade de corte em materiais como o aço macio e ferro fundido. A presença de oxigénio origina uma reação química de oxidação exotérmica, que permite o aumento da velocidade de corte (Fernandes, 1991).

Paralelamente, Groover (2010) afirma que o corte por plasma utiliza uma corrente de plasma operando na gama de temperaturas entre os 10.000°C e 14.000°C para cortar o metal por fusão, como mostra a Figura 4. A ação de corte consiste em direcionar a corrente de plasma de alta velocidade para a peça a cortar, fundindo-a e, removendo através do sopro o metal fundido no processo de corte. O arco de plasma é gerado entre um eléctrodo dentro da tocha e a peça de trabalho (ânodo). O plasma flui através de um bico refrigerado a água que restringe e direciona o fluxo para o local desejado da peça. O jato de plasma resultante consiste num fluxo de alta velocidade e bem colimado, com temperaturas extremamente altas no centro, quente o suficiente para cortar metal.

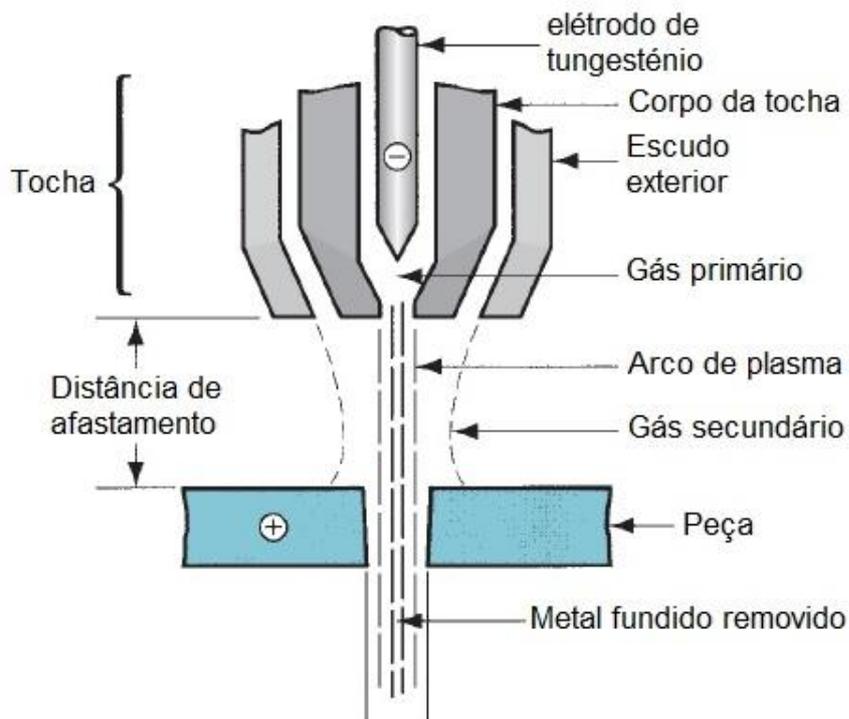


Figura 4 – Corte por plasma (adaptado de Groover, 2010)

Segundo Groover (2010), os gases utilizados para a criação do plasma no processo de corte por plasma incluem nitrogénio, argon, hidrogénio ou misturas desses gases. Estes são chamados de gases primários. Gases secundários ou mesmo água são frequentemente direcionados para cercar o jato de plasma e assim ajudar a delimitar o arco e limpar o corte do metal fundido à medida que ele se forma.

A maioria das aplicações do processo de corte por plasma envolve o corte de chapas de metal planas. As operações incluem furação e corte ao longo de um caminho definido. O caminho desejado pode ser cortado pelo uso de uma tocha manual manipulada por um operador humano ou indicando o caminho de corte da tocha através de controlo numérico. Para uma produção mais rápida e maior precisão, o controlo numérico é preferido devido ao melhor controle sobre as variáveis importantes do processo, como a distância de afastamento bico/peça e o avanço. O corte por plasma pode ser usado para cortar praticamente qualquer metal que seja considerado como condutor elétrico. Os metais mais cortados por este processo são o aço ao carbono, aço inoxidável e alumínio. A vantagem do controlo numérico nestas aplicações é a alta produtividade. As taxas de alimentação ao longo do caminho de corte podem chegar a 200 milímetros por segundo para chapa de alumínio de 6 milímetros de espessura e 85 milímetros por segundo para chapas de aço com 6 milímetros de espessura. As

taxas de alimentação devem ser reduzidas para material mais espesso. As desvantagens do processo de corte por plasma são a origem de superfícies de corte ásperas e o facto de os danos metalúrgicos provocados na peça serem os mais graves entre os processos de corte não-tradicionais de metais (Groover, 2010).

- **Laser**

“Um laser constitui uma fonte energética que emite radiação eletromagnética na gama habitualmente designada por luz, que, interagindo com meios materiais, se transforma em energia térmica.” (Appelt, 1991)

Os lasers são utilizados para uma ampla variedade de aplicações industriais, incluindo soldadura, medições, gravação, além do corte e furação. O termo laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) significa amplificação da luz por emissão estimulada de radiação. Um laser é um transdutor ótico que converte energia elétrica num feixe de luz bem definido. Um feixe de luz laser possui várias propriedades que o distinguem de outras formas de luz. É monocromático (teoricamente, a luz tem um único comprimento de onda) e altamente colimada (os raios de luz no feixe são quase perfeitamente paralelos). Estas propriedades permitem que a luz gerada por um laser seja concentrada, usando lentes óticas convencionais, num local extremamente pequeno resultando em potências de alta densidade. Dependendo da quantidade de energia contida no feixe de luz e do seu grau de concentração, podem assim ser realizados os processos de corte a laser (Groover, 2010).

Appelt (1991) refere que, para a produção industrial, existem dispositivos de potências elevadas, com preços acessíveis, igualmente fiáveis, que têm vindo gradualmente a serem inseridos como ferramentas para processar materiais. O corte de materiais por laser (corte bidimensional) é considerado uma tecnologia adquirida e dominada, apresentando inúmeras vantagens quando comparado com os processos ditos “clássicos”.

Assim, o mesmo autor, refere que o mecanismo do processamento de materiais com radiação laser pode ser visto como uma ação térmica resultando da absorção de energia luminosa por parte do material. Desta forma, pode-se afirmar que as características específicas da radiação laser são determinantes no processo, assim como as características óticas e térmicas do material.

Segundo Santos et al. (1993), o princípio do corte por laser baseia-se na produção na fonte de um feixe laser de alta intensidade, sendo que este feixe é focado na superfície do material através de um sistema ótico, resultando numa mancha focal de pequena dimensão (0.1 a 0.2 milímetros de diâmetro) que produzem densidades de energia muito elevadas.

Desta forma, Appelt (1991) conclui que da interação entre o laser e o material resulta a formação de calor de processamento que pode desencadear que o calor produzido, concentrado numa pequena zona da peça, leve à fusão, eventualmente vaporização, ou mesmo à passagem ao estado de plasma, sem que para isso haja um aquecimento significativo do material em seu redor.

Paralelamente, Santos et al. (1993), refere que o feixe laser aquece rapidamente o material, na zona de interação, em toda a sua espessura. A separação das duas partes dá-se após a injeção de gás pressurizado coaxialmente, que expelle o material fundido na zona de interação. Assim, o deslocamento relativo do material e da fonte de energia permite gerar o corte.

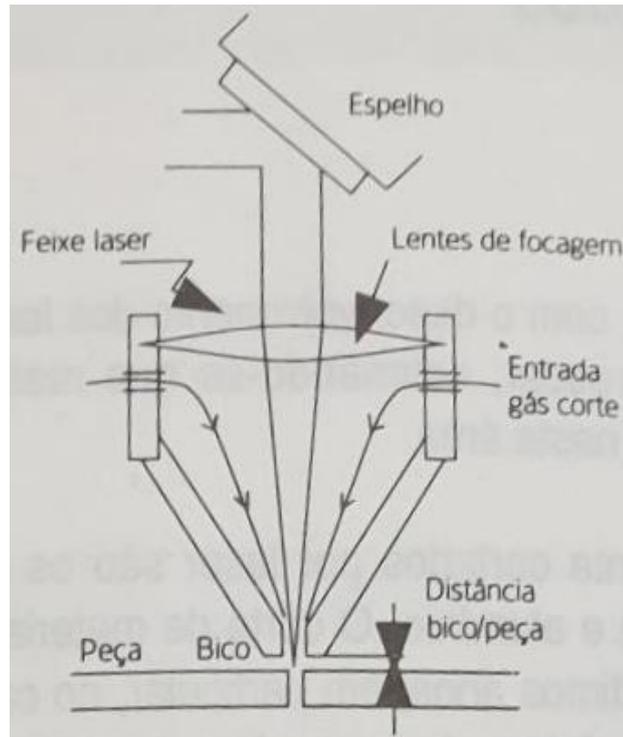


Figura 5 – Corte por laser (Santos et al., 1993)

Uma máquina de corte por laser, é constituída por três partes: o laser, uma mesa sobre a qual é colocado o material a cortar, e um sistema de interligação entre os dois componentes anteriores, que encaminhe o feixe desde a saída do laser até ao material, por forma a permitir a movimentação relativa entre este e o feixe. Junto à zona de interação entre o feixe e o material, haverá uma “cabeça de corte” constituída por uma unidade de focagem e um bico para emissão do gás de assistência ao corte (Appelt, 1991).

Segundo o mesmo autor, o corte por laser pode ser realizado através de dois tipos de laser de corte correntes, o CO₂ e o Nd:YAG. O laser Nd:YAG tem um décimo do comprimento de onda da radiação do laser de CO₂. A potência emitida por este tipo de lasers, tratando-se de lasers sólidos, é geralmente menor que a dos lasers de CO₂.

Este processo de corte poderá ser caracterizado essencialmente como apresentando larguras de corte muito reduzidas para baixas espessuras, aumentando à medida que a espessura aumente. Para baixas espessuras a largura do corte é da ordem de grandeza do diâmetro do feixe no ponto focal. Particularmente, no caso de o material fundido ser viscoso e difícil de separar por ação do gás, as superfícies podem apresentar estrias e rebarbas na face oposta à de incidência. Por fim, a extensão da zona termicamente afetada é reduzida, uma vez que a entrega térmica do processo é muito pequena, e também porque o gás fluido ao longo das paredes cortadas, as arrefece, impedindo a dissipação do calor para o material (Santos et al., 1993).

Em suma, o laser deve ser considerado como uma ferramenta versátil de processar materiais, correspondendo às necessidades dos mercados atuais. Sendo que a radiação emitida pelo laser é essencialmente energia luminosa, é manipulada recorrendo a meios técnicos simples e flexíveis. Associado a um CNC, que em sistemas mais evoluídos terá a montante um sistema CAD. Assim, o feixe de laser poderá ser conduzido para fazer qualquer contorno, bem como permitir o corte de uma vasta gama de materiais (Appelt, 1991).

- **Guilhotina**

De acordo com Pacheco (1992), o processo de corte mais corrente é o utilizado em guilhotinas, sendo que estas máquinas são compostas por lâminas direitas para efetuarem cortes retos em chapas planas.

A guilhotina é uma máquina constituída por uma estrutura, limitada nos seus extremos por dois montantes, nos quais se apoia uma mesa que suporta a lâmina fixa, porta lâminas, que suporta a lâmina móvel, uma unidade de acionamento do porta lâminas e um sistema de calcamento para manter fixa a chapa a cortar durante o processo de corte em questão (Pacheco, 1992).

O corte da chapa é realizado através de duas arestas de corte afiadas, estando este processo representado nos quatro esboços da Figura 6, nos quais a aresta de corte superior denominada de punção, passa por uma aresta de corte inferior estacionária, a matriz. À medida que o punção empurra a chapa a cortar, ocorre deformação plástica nas superfícies da chapa. Seguidamente, o punção continua o seu movimento descendente, ocorrendo uma penetração na qual o punção comprime a chapa e corta o metal. Essa zona de penetração é geralmente cerca de um terço da espessura da chapa. À medida que o punção continua a descer, dá-se a fratura na chapa nas duas arestas de corte. Se a folga entre o punção e a matriz estiver correta, as duas linhas de fratura encontram-se, resultando na respetiva separação da chapa em duas partes (Groover, 2010).

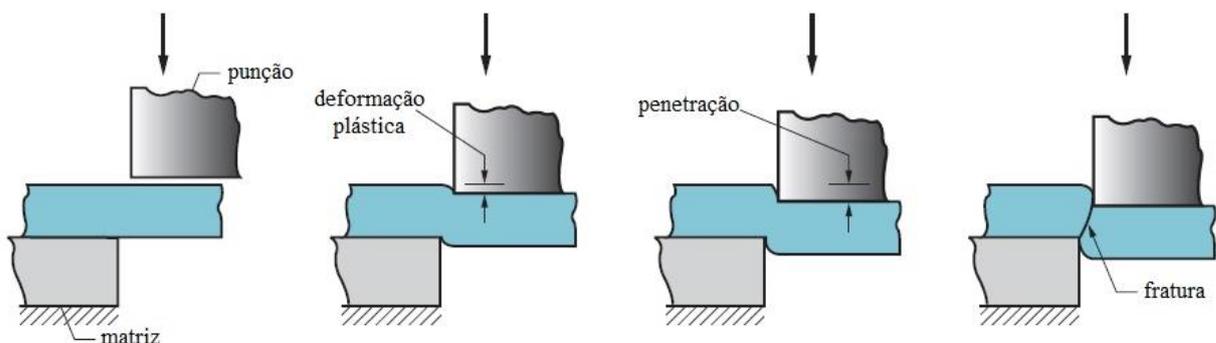


Figura 6 – Corte de chapa metálica através de duas arestas de corte (adaptado de Groover, 2010)

Finalizado o processo de corte, é possível fazer a distinção entre a zona de penetração das lâminas, pois esta apresenta-se brilhante, suave e bem definida, da zona de fratura, que se verifica grosseira, rugosa e com grânulos (Pacheco, 1992).

Segundo o autor, o processo de corte por guilhotina é uma operação de corte de chapa metálica ao longo de uma linha reta entre duas arestas de corte, conforme mostrado na Figura 7(a). Este processo é normalmente usado para cortar chapas de grandes dimensões em seções menores. Tal como o nome indica, esta operação é realizada numa máquina chamada guilhotina. A lâmina superior costuma ser inclinada, como mostrado na Figura 7(b), para reduzir a força de corte necessária.

Em suma, Pacheco (1992), refere que neste processo a chapa a cortar deverá ser colocada entre duas lâminas retas, sendo que uma deverá estar fixa e outra móvel, por forma a que o ângulo α entre as lâminas se mantenha constante ao longo de todo o curso. A este ângulo dá-se o nome de ângulo de corte.

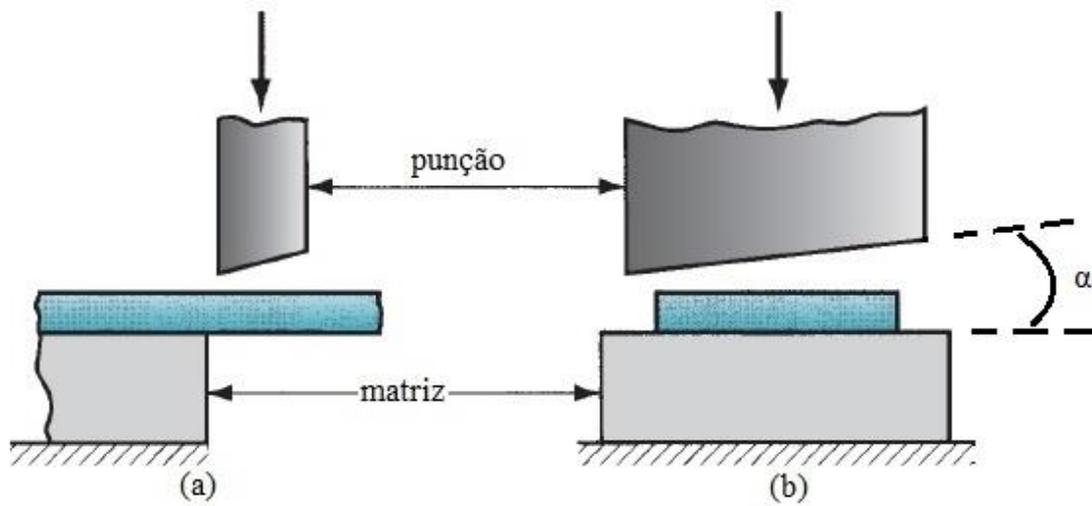


Figura 7 – Vista lateral (a) e vista de frente (b) do processo de corte por guilhotina (adaptado de Groover, 2010)

Assim, o corte em guilhotina é considerado o mais económico de entre os métodos de corte para a obtenção de formatos retos (Pacheco, 1992).

- **Comparação entre processos**

Tabela 1 – Capacidade de corte de diferentes técnicas (adaptado de Fernandes, 1991)

Formas de Corte Possíveis						
Método \ Formas	Corte retilíneo	Corte de chapa em duas	Vários cortes retilíneos simultâneos	Corte de forma em chapa plana	Vários cortes de forma	Cortes em chapa curva
Oxi-corte manual	S	S	N	S	N	S
Oxi-corte mecanizado	S	S	S	S	S	N
Plasma Manual	S	S	N	S	N	S
Plasma mecanizado	S	S	S	S	N	N
Laser CO ₂	S	S	N	S	N	N
Corte com Guilhotina	S	S	N	N	N	N

Tabela 2 – Características dos métodos de corte (adaptado de Hussary & Renault, 2007)

Métodos	Características		
	Pontos Principais	Custos	Espessuras de corte
Oxi-corte	Alta qualidade Baixa Precisão Média reprodutibilidade Baixa velocidade	Baixo investimento Alto custo operacional	Gama de espessuras baixas, médias e altas
Plasma	Média qualidade Média Precisão Média reprodutibilidade Alta velocidade	Médio investimento Baixo custo operacional	Gama de espessuras baixas e médias
Laser	Alta qualidade Alta precisão Alta reprodutibilidade Alta velocidade	Alto investimento Médio/Alto custo operacional	Gama de espessuras baixas ¹

→
A seta representa o aumento da espessura do material a cortar.

A intensidade da cor indica o intervalo ótimo da espessura do material a cortar.

¹ o corte a laser já é possível numa uma gama de espessuras médias

2.3.2 Processo de conformação

A conformação ou flexão na chapa, é definida como a deformação do material em torno de um eixo, como representado na Figura 8. Durante a operação de flexão, o material no interior do plano neutro é comprimido, enquanto que o metal na parte externa do plano neutro é esticado, estando essas condições ilustradas na Figura 8. O metal é deformado plasticamente, de modo a que a dobra adquira uma forma permanente após a remoção das tensões que deram origem a essa deformação, sendo que a dobra produz pouca ou nenhuma alteração na espessura da chapa (Groover, 2010).



Figura 8 – Processo de conformação (adaptado de Groover, 2010)

- **Quinagem**

“A *quinagem* é um processo de deformação plástica de chapa que permite o fabrico de superfícies planificáveis de geometria cilíndrica, cónica ou prismática.” (Rodrigues & Martins, 2005)

Pacheco (1992), define quinagem como sendo um processo de conformação plástica que consiste na realização de uma dobra linear numa chapa, pela penetração de uma ferramenta, designada por punção, numa ferramenta aberta designada de matriz.

A máquina utilizada para efetuar o processo de quinagem é denominada de quinadora, sendo o seu princípio de funcionamento semelhante à de uma prensa hidráulica. As quinadoras são constituídas por uma mesa comprida e estreita, onde se podem instalar diversos tipos de ferramentas com geometrias simples, mas capazes de obter peças com diversas geometrias. Este processo é normalmente utilizado para pequenas séries de fabrico (Rodrigues & Martins, 2005).

A quinagem é um processo de flexão elasto-plástica aplicado a uma viga retilínea, sendo que, enquanto a dobra é realizada, o material do lado interior é comprimido e o do lado exterior tracionado. A força aplicada e o valor de penetração criam um gradiente de tensão ao longo da espessura. Ao ultrapassar-se o limite elástico do material, isto é, deformações plásticas, é produzida a dobra pretendida (Pacheco, 1992).

Segundo Groover (2010), o metal é dobrado através de um ângulo de curvatura, resultando numa peça em chapa com um ângulo definido. O raio da dobra R , é normalmente especificado no interior da peça, em vez de no eixo neutro, e é determinado pelo raio da ferramenta usada para executar a operação. A dobra é feita sobre a largura da peça.

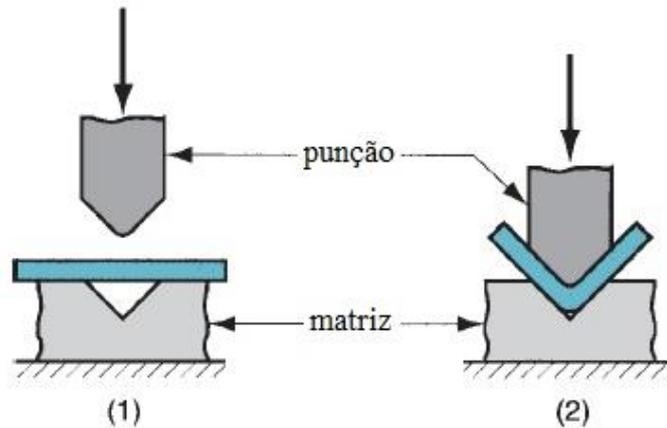


Figura 9 – Processo de quinagem (adaptado de Groover, 2010)

Segundo Rodrigues & Martins (2005), o processo de quinagem é diferenciado pela geometria das ferramentas utilizadas e pelo modo como a chapa é solicitada entre o cunho e a matriz. Os autores referem então que existem os seguintes tipos de quinagem:

- quinagem no ar (Figura 10(a));
- quinagem em V (Figura 10(b));
- quinagem em U (Figura 10(c));
- quinagem a fundo (Figura 10(d));
- quinagem de flanges com cunho de aresta (Figura 10(e));
- quinagem rotativa (Figura 10(f)).

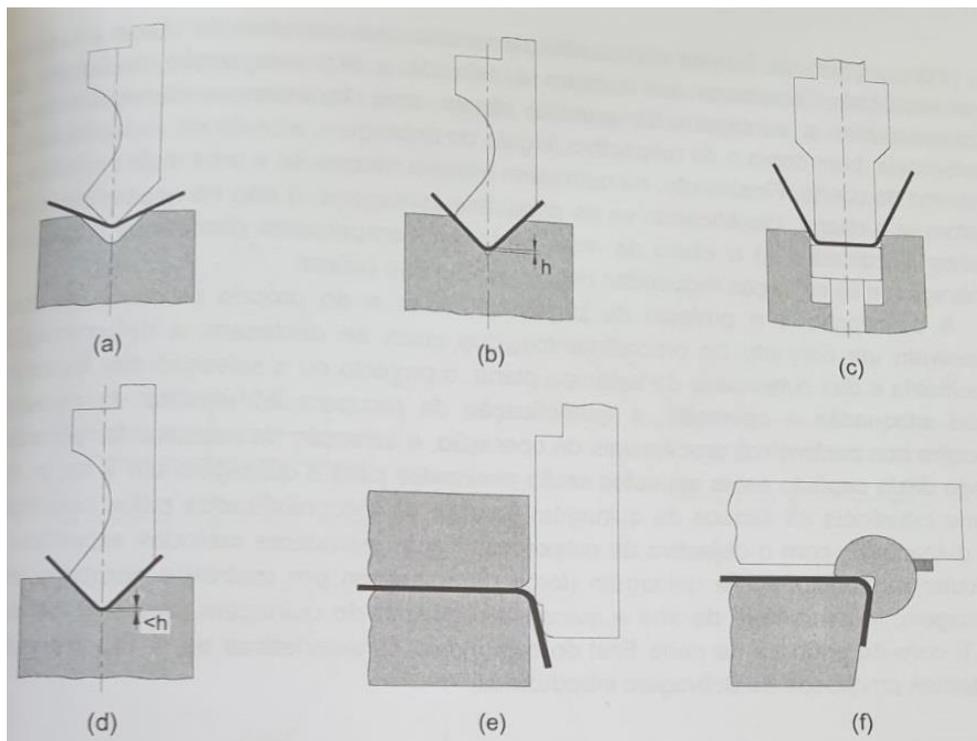


Figura 10 – Tipos de quinagem (Rodrigues & Martins, 2005)

- **Calandragem**

“A calandragem é um processo tecnológico que é utilizado para enformar chapas, barras, perfis ou tubos em geometrias variadas, fazendo passar o material entre um conjunto de rolos convenientemente posicionados.”(Rodrigues & Martins, 2005)

Paralelamente, Groover (2010), define calandragem como sendo uma operação na qual, as peças de chapa são por norma deformadas em seções curvas, por meio de rolos dando a forma pretendida à chapa. Uma possível disposição dos rolos é representada na Figura 11. À medida que a chapa passa entre os rolos, estes vão de encontro uns com os outros, dando origem a uma configuração que permita atingir o raio de curvatura desejado para o processo.

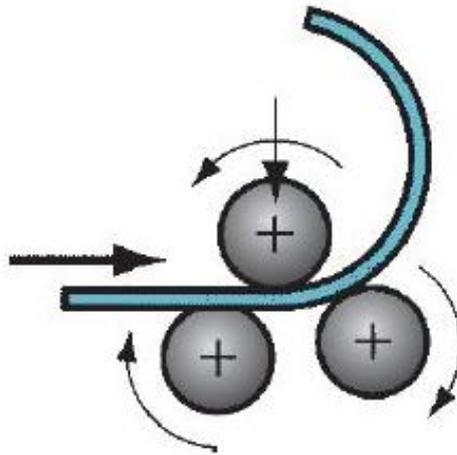


Figura 11 – Processo de calandragem (Groover, 2010)

Segundo Rodrigues & Martins (2005), a calandragem permite a dobragem continua da matéria prima, sendo que as máquinas que realizam este processo são chamadas calandras. A calandragem em chapas encontra-se dividida em três tipos:

- Calandragem cilíndrica: a máquina que permite efetuar esta operação tem como conceção básica, um conjunto de três rolos cilíndricos. Tendo em consideração o posicionamento dos eixos dos rolos, estas máquinas são normalmente denominadas de calandras de três rolos do tipo piramidal. Durante o processo, o fabrico da virola procede-se através do movimento dos rolos inferiores, que transmitem a energia necessária à deformação da chapa através das forças de atrito. Assim, a calandragem é um processo limitado no que diz respeito à capacidade de enformação uma vez que é condicionado pelo trabalho que é possível realizar com as forças de atrito.
- Calandragem de superfícies cónicas: este processo é realizado em calandras de três rolos, inclinando o rolo superior ou então os dois rolos inferiores. É crucial ter em consideração durante a execução deste processo o facto dos perímetros das extremidades do planificado serem diferentes, sendo necessário que a velocidade seja mais elevada junto do maior diâmetro, do que junto do menor. Para calandragem de superfícies cónicas, é também possível a utilização de calandras de quatro rolos.
- Dobragem das abas: segundo o autor, um dos problemas da calandragem é o da enformação das abas do planificado com o raio da curvatura desejado para a virola. A solução para esta questão está geralmente associada ao tipo de máquina utilizada.

No que diz respeito às calandras, de acordo com o autor, estas podem classificar-se segundo três tipos básicos, como demonstrado na Figura 12:

1. Calandras de três rolos do tipo piramidal, sem dispositivos de enformação das abas (a);
2. Calandras de três rolos do tipo piramidal, com dispositivos para enformação das abas (b);
3. Calandras de quatro rolos (c).

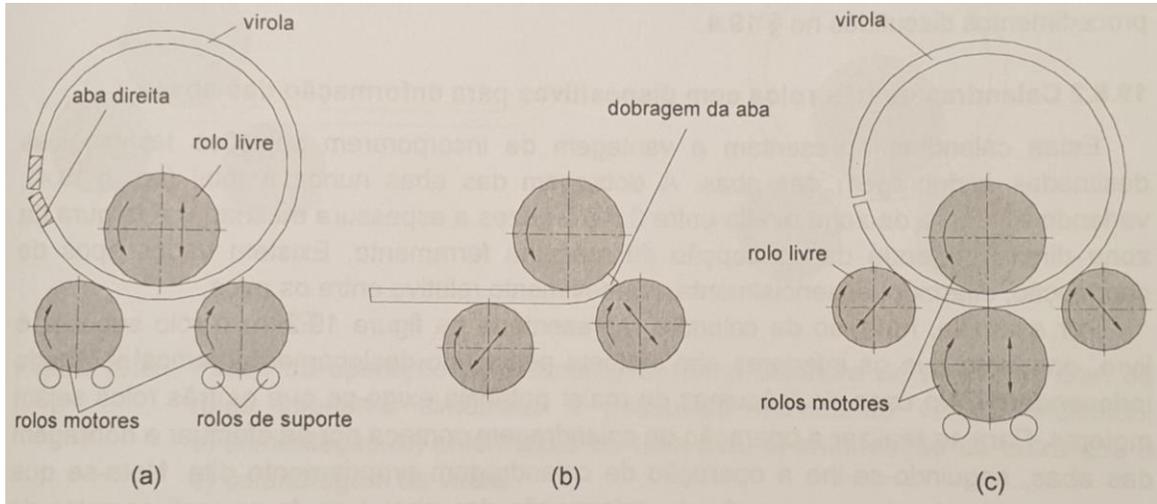


Figura 12 – Diferentes tipos de calandras (Rodrigues & Martins, 2005)

2.3.3 Processo de maquinagem

O processo de maquinagem pode ser definido como o processo de conversão de matérias-primas em produtos, incluindo o *design* do produto, seleção de matérias-primas e a sequência do processo de fabrico (Kadu et al., 2014).

De acordo com Groover (2010), a maquinagem é um processo de fabrico no qual uma ferramenta de corte afiada é usada para cortar o material e deixar a peça final com as dimensões desejadas. Assim, de acordo com o autor, os três principais processos de maquinagem são o torneamento, a furação e a fresagem.

A ação de corte predominante na maquinagem, envolve o corte por deformação do material de trabalho para formar a avara; à medida que a avara é removida, a nova superfície é exposta. A maquinagem é portanto o processo mais utilizado para trabalhar metais, estando representado na Figura 13 (Groover, 2010).

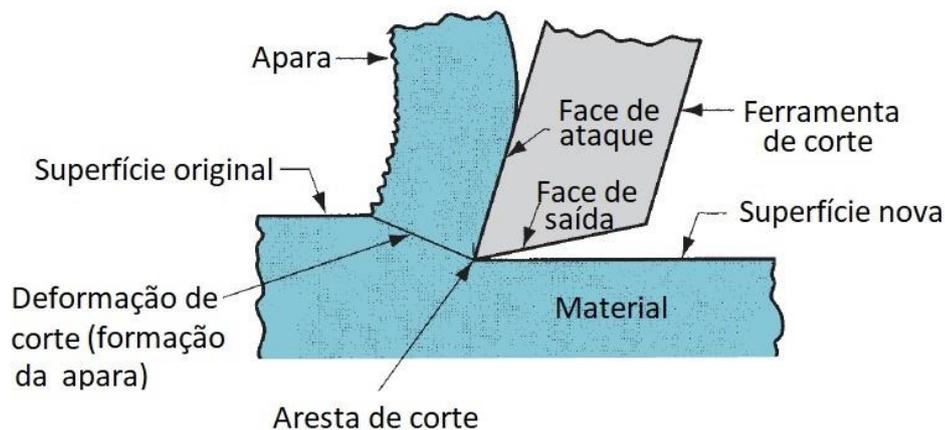


Figura 13 – Processo de maquinagem (adaptado de Groover, 2010)

Paralelamente, Gerling (1977), refere que as peças são levadas à forma que se lhes pretende dar, através do arranque de avara, por parte da ferramenta de corte. Em geral, para se dar a forma às peças iniciais, recorre-se previamente a processos como o de fundição, de tal forma que posteriormente se tenha apenas de retirar uma pequena quantidade de material por arranque de avara. Através do processo de maquinagem, obtém-se geralmente uma maior precisão e uma melhor qualidade de acabamento superficial, do que nos processos sem arranque de avara.

Desta forma, o processo de remoção de material consiste na eliminação do excesso de material da peça inicial, de forma a que a peça final fique com as dimensões geométricas pretendidas. Na maquinagem convencional, a ferramenta de corte é utilizada para cortar mecanicamente o material, por forma a obter a geometria desejada (Groover, 2010).

Por conseguinte, no processo de maquinagem, o arranque de avara por meio da máquina é efetuado pelos movimentos da ferramenta ou pela peça a trabalhar. Através deste processo, fabricam-se peças de formas cilíndricas, de faces planas, mas também peças que se devem munir de roscas e peças de qualquer outra forma. Portanto, todas estas máquinas se encontram divididas em máquinas de torner, máquinas de fresar, máquinas de furar, máquinas de mandrilar, máquinas de retificar, etc. (Gerling, 1977).

Em suma, e de acordo com Groover (2010), o processo de maquinagem fornece a geometria, as dimensões e o acabamento final à peça e, como tal, este processo é geralmente utilizado após outros processos de fabrico, como a fundição.

Assim, segundo o mesmo autor, o processo de maquinagem é comercialmente e tecnologicamente importante por diversas razões, nomeadamente:

- Grande variedade de materiais de trabalho: Praticamente todos os metais sólidos podem ser maquinados.
- Variedade de formas de peças e recursos geométricos: A maquinagem pode ser usada para criar qualquer forma geometria regular, tais como planos, furos e cilindros. Através da introdução de variações nas formas e trajetos da ferramenta, podem ser criadas geometrias irregulares.
- Alta precisão dimensional: A maquinagem pode atingir tolerâncias de $\pm 0,025$ milímetros.
- Bons acabamentos superficiais: A maquinagem é capaz de criar acabamentos superficiais de rugosidade inferiores a 0,4 micrones.

Por outro lado, o autor refere que este processo também apresenta desvantagens:

- Desperdício de material: A maquinagem é inerentemente um processo que gera desperdício de material, nomeadamente a apara gerada durante o processo de maquinagem.
- Processo demorado.

• Torneamento

Segundo Groover (2010), o torneamento é um processo de maquinagem, no qual uma ferramenta de corte remove o material da superfície de uma peça que se encontra em rotação sobre o seu próprio eixo. A ferramenta de corte é movimentada linearmente numa direção paralela ao eixo de rotação, para gerar uma geometria cilíndrica, conforme ilustrado na Figura 14.

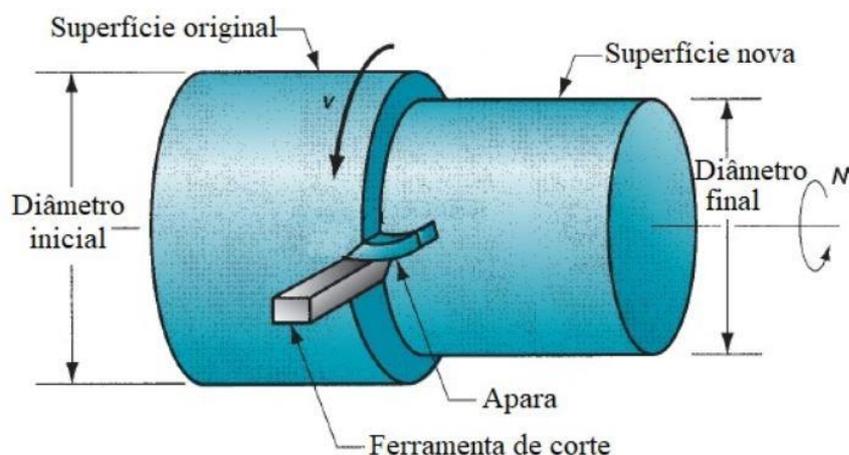


Figura 14 – Operação de torneamento (adaptado de Groover, 2010)

O processo de torneamento é realizado numa máquina-ferramenta denominada de torno, que promove o movimento de rotação da peça a tornear, girando a uma determinada velocidade de rotação, e alimentando a ferramenta de corte a uma taxa e profundidade específica de corte (Groover, 2010).

Como tal, Gerling (1977), descreve que para a obtenção de uma peça com forma cilíndrica, se coloca a peça, por meio da máquina de toronar, em rotação em torno do seu próprio eixo geométrico (eixo de rotação). A ferramenta de corte avança uniformemente, de forma a que o arranque de apara seja progressivo. A este movimento dá-se o nome de “avanço”. A ferramenta de corte é posteriormente ajustada na profundidade desejada, sendo este movimento designado como movimento de penetração. Assim, ao movimento de rotação da peça a trabalhar, designa-se por movimento principal ou de corte, e a velocidade com a qual a peça se move no levantamento de apara de encontro à ferramenta de corte, denomina-se de “velocidade de corte”.

De forma a facilitar a maquinagem de diversos tipos de peças, existem máquinas para toronar de diversos tipos de construção: Torno paralelo, torno vertical, torno de faces ou de cabeçote, entre outros.

- **Furadora**

Muitas peças apresentam furos sendo que estes podem ser furos passantes ou furos cegos. Os furos são utilizados para os mais diversos fins, como por exemplo, para o alojamento de rebites, parafusos, cavilhas, veios, etc. (Gerling, 1977).

O processo de furação é uma operação de maquinagem usada para criar um furo circular numa peça. A furação é geralmente realizada com uma ferramenta cilíndrica rotativa que possui duas arestas de corte na sua ponta. A ferramenta é chamada de broca sendo que a broca mais comum é a broca helicoidal. A broca que se encontra em rotação, vai de encontro à peça estacionária, realizando assim um furo cujo diâmetro é igual ao diâmetro da broca em utilização. A furação é normalmente realizada numa furadora de coluna, Figura 15, embora outras máquinas também possam realizar esta operação (Groover, 2010).

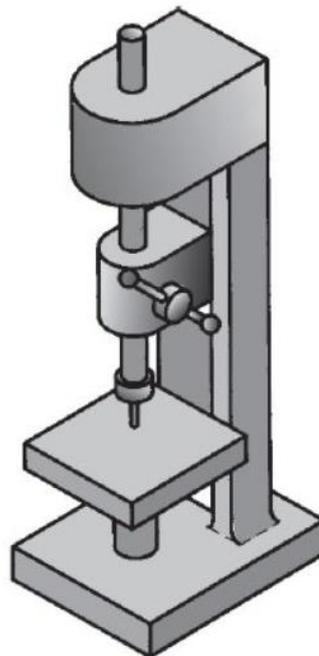


Figura 15 – Furadora de coluna (adaptado de Groover, 2010)

A furação é um processo que implica arranque de apara e que é utilizada para a execução de orifícios redondos, isto é, furos, em materiais metálicos ou não metálicos. Os furos são abertos na peça por meio de ferramentas cortantes. O processo de furação por arranque de apara, caracteriza-se pela simplicidade e facilidade de execução de um determinado diâmetro,

uma distância entre eixos fixada previamente ou uma superfície perfeita. É por esta razão que a furação é um dos processos de maior importância na indústria metalúrgica (Gerling, 1977).

Segundo o mesmo autor, a ferramenta utilizada preferencialmente na execução de furos é a broca helicoidal de dois gumes. Por forma aos gumes poderem arrancar aparas, são necessários dois movimentos simultâneos:

- A broca girar em torno do seu próprio eixo (A): este movimento de rotação designa-se por movimento de corte ou movimento principal.
- A broca deslocar-se em linha reta contra a peça que se encontra fixa (B): este movimento denomina-se movimento de avanço e determina a espessura da apana.

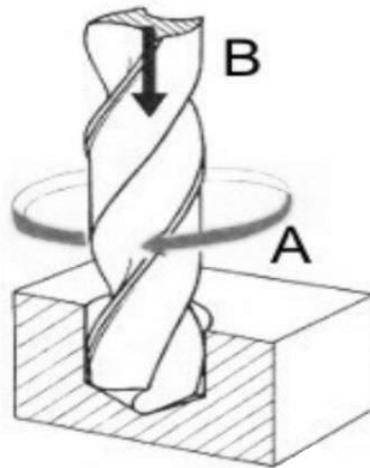


Figura 16 – Movimento de furar (Gerling, 1977)

• Fresagem

Através do processo de fresagem, podem-se produzir peças de diversos materiais, e com superfícies planas ou curvas, com entalhes, com ranhuras, etc. As superfícies das peças fresadas podem ser desbastadas ou alisadas. As peças que devem apresentar uma melhor qualidade de acabamento superficial, devem ser maquinadas através do processo de retificação (Gerling, 1977).

A Fresagem é uma operação de maquinagem na qual a fresa, ferramenta cilíndrica rotativa com várias arestas de corte, passa sobre a peça a fresar, removendo o material em excesso, conforme ilustrado na Figura 17. Em casos raros, é utilizada uma ferramenta com apenas uma aresta de corte. O eixo de rotação da ferramenta de corte (A) é perpendicular à direção do avanço (B). Essa orientação entre o eixo da ferramenta e a direção do avanço é uma das formas de distinguir a fresagem da furação (Groover, 2010).

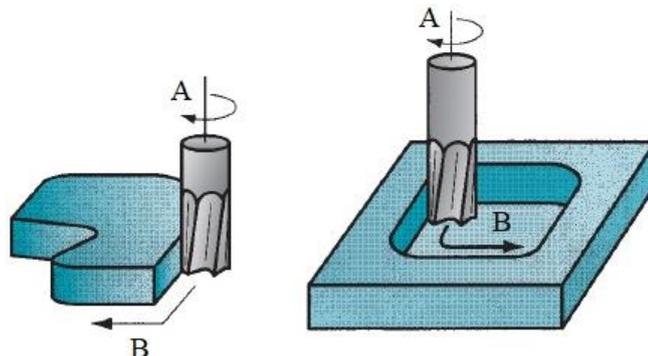


Figura 17 – Processo de fresagem (adaptado de Groover, 2010)

Segundo Groover (2010), a máquina-ferramenta que executa esta operação é chamada fresadora, sendo a ferramenta de corte denominada fresa, e as arestas de corte chamadas de dentes. Através do processo de fresagem, pode-se obter peças com uma superfície plana, mas também outras geometrias podem ser criadas, com recurso ao movimento de avanço (B) da ferramenta de corte, ou à forma dessa mesma ferramenta, como podemos observar na Figura 18. Devido à variedade de formas possíveis e sua alta taxa de produção, a fresagem é uma das operações de maquinagem mais versáteis e, portanto, amplamente usadas.

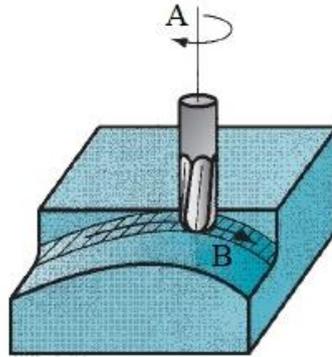


Figura 18 – Processo de fresagem: execução de face curva (adaptado de Groover, 2010)

Segundo Gerling (1977), durante o processo de fresagem, as aparas são levantadas por meio da rotação da fresa cujos dentes estão dispostos em forma de circunferência. A fresa é então uma ferramenta de vários cortes. De maneira a se poderem introduzir na peça a fresar, os gumes da fresa têm a forma de uma cunha. Ao movimento de rotação da fresa, dá-se o nome de movimento principal ou movimento de corte. Para se conseguir a espessura de avara pretendida, a peça executa um movimento de avanço retilíneo. Os movimentos principal e de avanço são originados pela fresadora.

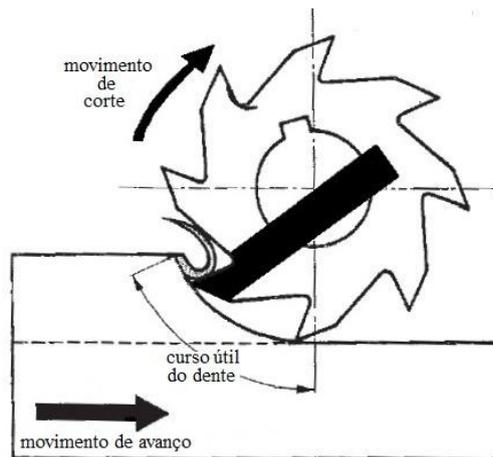


Figura 19 – Operação de fresagem (adaptado de Gerling, 1977)

A fresagem é uma operação de corte interrompida; os dentes da fresa entram e saem da peça a fresar, durante cada rotação. Esta ação de corte interrompida sujeita os dentes a um ciclo de força de impacto e choque térmico em cada rotação. O material da ferramenta e a geometria da ferramenta de corte deve ser projetada para suportar essas condições (Groover, 2010).

Durante o processo de fresagem, cada dente da fresa apenas se encontra a realizar levantamento de avara durante uma pequena parte da rotação completa da fresa. Na restante rotação, o dente roda em vazio, e desta forma é refrigerado. A solitação ou o esforço a que é submetido não é, portanto, tão elevado como no caso do torneamento, em que a ferramenta de corte se encontra constantemente a cortar (Gerling, 1977).

- **Escateladora**

De acordo com Gerling (1977), a máquina de escatelar pode executar ranhuras, escatéis interiores, rasgos, rebaixos, cavidades, etc. A escateladora caracteriza-se pela lentidão de execução, sendo utilizada para trabalhos em pequenas séries. A ferramenta executa o movimento principal vertical, sendo os restantes movimentos, nomeadamente o movimento de avanço e de ajustamento, executados pela mesa onde está fixa a peça.

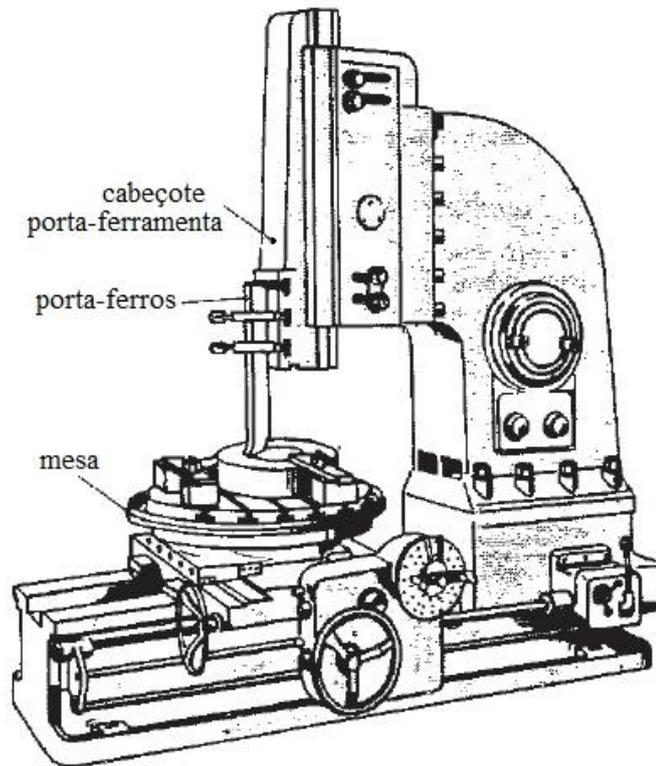


Figura 20 – Máquina de escatelar (adaptado de Gerling, 1977)

- **Mandrilagem**

O processo de mandrilagem, consiste num dos processos de maquinagem frequentemente usado. A mandrilagem permite a produção de perfis circulares internos em peças ocas, removendo o material da superfície do diâmetro interno da peça de trabalho. Nesse processo, a ferramenta de mandrilar, com uma ou várias arestas de corte, encontra-se em rotação com a velocidade desejada, enquanto que a peça a maquinar, se encontra em movimento com uma certa velocidade. Este processo é principalmente usado para conceber o tamanho específico de furos com alta precisão (Kadu et al., 2014), podendo ser realizado em máquinas horizontais (Figura 21) ou verticais, sendo o processo de mandrilagem automático realizado pelo controlo CNC (Controlo Numérico Computorizado).

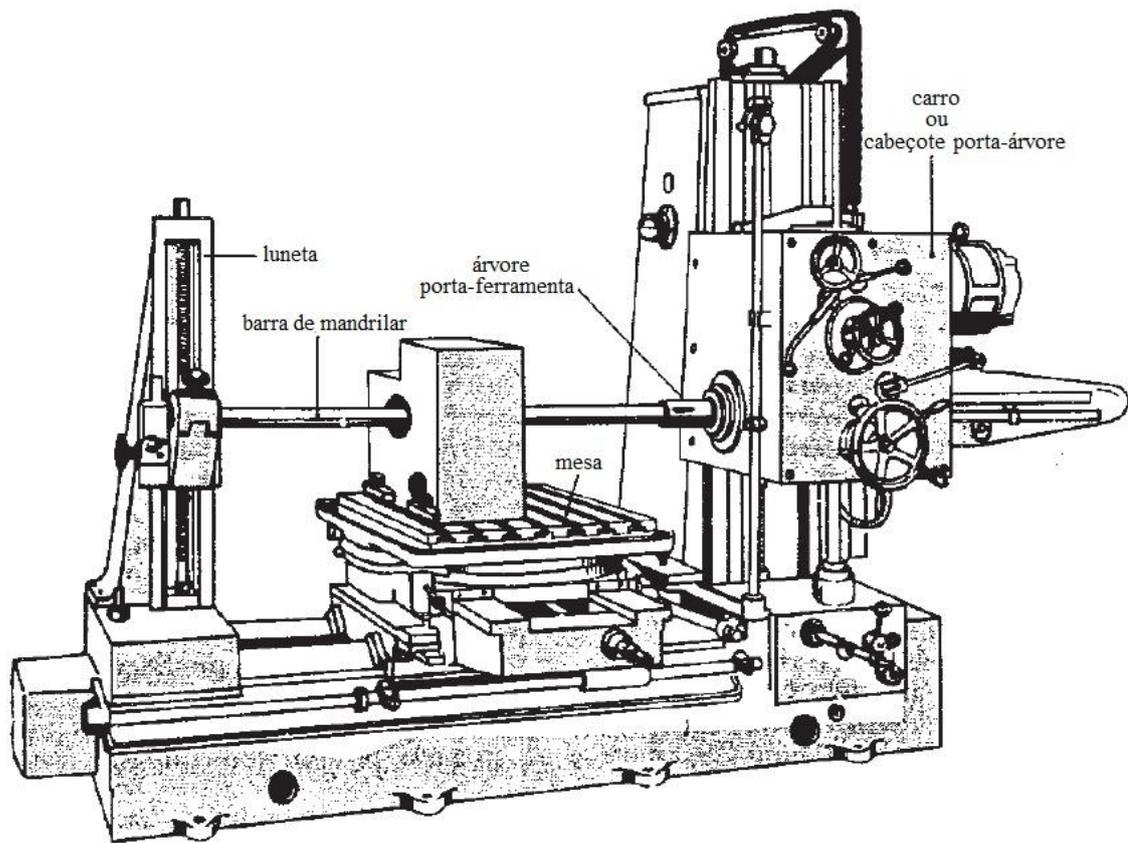


Figura 21 – Mandriladora horizontal (adaptado de Gerling, 1977)

A máquina-ferramenta utilizada para realizar operações de mandrilagem é chamada mandriladora (Groover, 2010). Segundo Gerling (1977), a mandriladora é utilizada para trabalhos de furação, mandrilagem, fresagem e torneamento em peças complicadas e de difícil manuseamento. Assim, as mandriladoras pertencem ao grupo de máquinas-ferramentas na qual é possível executar as mais diversas operações de maquinagem.

Este processo é semelhante ao torneamento, pois o processo de mandrilagem, usa uma ferramenta de ponto único que vai de encontro a uma peça que se encontra em rotação (Groover, 2010).

Segundo Groover (2010), as mandriladoras podem ser horizontais ou verticais, esta designação refere-se à orientação do eixo de rotação da máquina ou peça a maquinar. Numa mandriladora horizontal, existem dois tipos de configurações:

- A primeira configuração é aquela em que a peça a maquinar é fixada num eixo rotativo e a ferramenta de corte é montada numa barra do mandril, indo esta de encontro à peça a maquinar conforme ilustrado na Figura 22 (a). A barra do mandril deve ser rígida para evitar a flexão e vibrações durante o corte.
- A segunda configuração possível é aquela em que a ferramenta de corte é montada numa barra do mandril, sendo que a barra do mandril se encontra em rotação e suportada entre os centros. A peça é presa a um mecanismo da mesa que por sua vez vai de encontro à ferramenta de corte, Figura 22 (b).

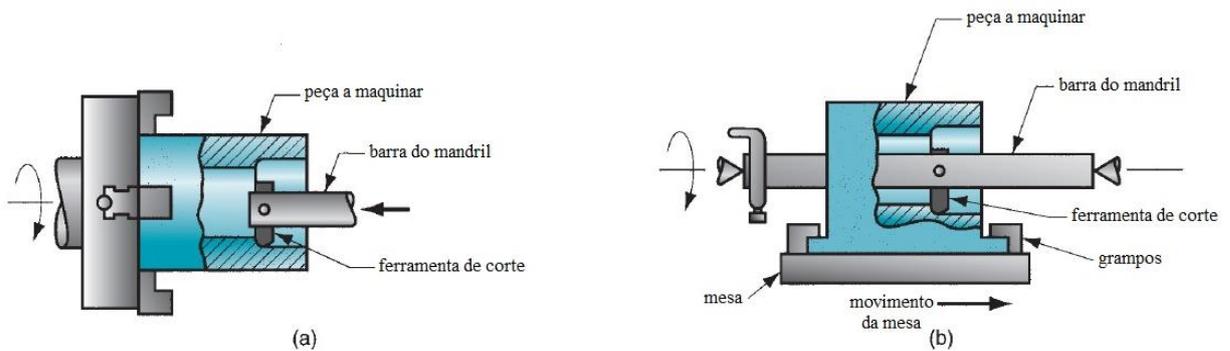


Figura 22 – Duas formas diferentes de mandrilagem (adaptado de Groover, 2010)

A mandriladora vertical é usada para peças grandes e pesadas com grandes diâmetros, sendo que geralmente o diâmetro da peça a maquinar é maior que o seu comprimento. Como se pode observar através da Figura 23, a peça é presa a uma mesa de trabalho que roda em relação à base da máquina. A mandriladora pode posicionar e alimentar várias ferramentas de corte simultaneamente. As ferramentas de corte são montadas em cabeçotes que podem ser alimentados horizontal e verticalmente em relação à mesa de trabalho. As ferramentas de corte montadas acima da peça a maquinar, podem ser usadas para facejamento e mandrilagem. Além das ferramentas que se encontram acima da peça a maquinar, uma ou duas cabeças de ferramentas adicionais podem ser montadas nas colunas laterais da máquina, para permitir o torneamento no diâmetro exterior da peça (Groover, 2010).

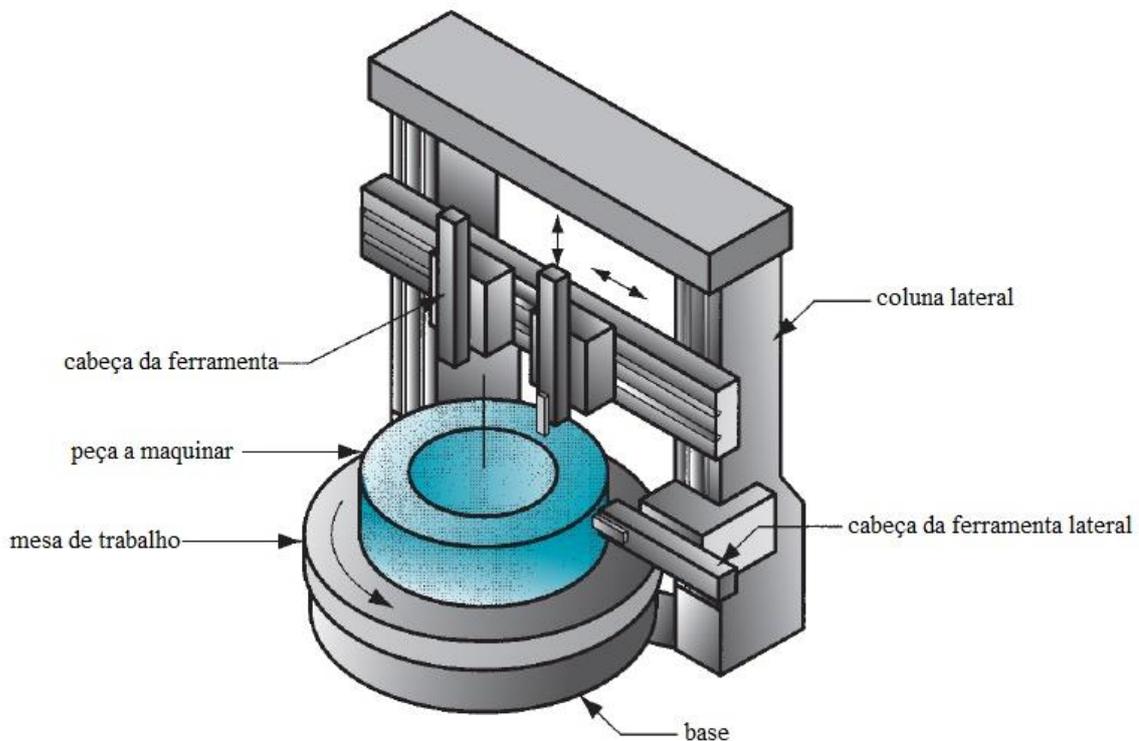


Figura 23 – Mandriladora vertical (adaptado de Groover, 2010)

A cabeça da ferramenta usada numa máquina de mandril vertical, inclui geralmente um revólver para acomodar várias ferramentas de corte. Alguns fabricantes de máquinas-ferramentas fazem a distinção entre o torno vertical como sendo usado para torner diâmetros até 2,5 metros, enquanto que a mandriladora vertical é usada para diâmetros maiores. Além disso, as mandriladoras verticais são frequentemente usadas em trabalhos únicos, enquanto os tornos de torre vertical são usados para produção em série (Groover, 2010).

2.3.4 Processo de união

O termo união é geralmente associado à soldadura, brasagem e colagem através de adesivos, que formam uma junta permanente entre as peças. Estas juntas não podem ser facilmente separadas (Groover, 2010).

- **Soldadura**

Groover (2010) define a soldadura como sendo um processo de união atómico de materiais no qual duas ou mais peças são ligadas através das suas superfícies de contato por uma aplicação adequada de calor e/ou pressão. Muitos processos de soldadura são realizados apenas pelo calor, sem pressão aplicada, outros por uma combinação de calor e pressão, e ainda outros apenas por pressão, sem envolver um fornecimento de calor externo. Em alguns processos de soldadura, é adicionado um material na junta a soldar, para facilitar a união das peças. A soldadura é por norma associada a peças de metal, mas o processo também é usado para unir plásticos.

Segundo o mesmo autor, a soldadura é um processo que apresenta uma importância comercial e tecnológica derivada dos seguintes pontos:

- A soldadura fornece uma junta permanente tornando as peças soldadas numa única entidade.
- A junta soldada pode ter maior resistência que os materiais originais das peças a unir, se for usado um metal de adição com propriedades de resistência superiores às das peças originais e se forem utilizadas técnicas de soldadura adequadas.
- A soldadura é geralmente a maneira mais económica de unir componentes em termos de uso de material e custos de fabrico. Métodos mecânicos alternativos de montagem requerem alterações de forma mais complexas (por exemplo, furação) e adição de elementos de fixação (por exemplo, rebites ou parafusos). O conjunto mecânico resultante é geralmente mais pesado que um conjunto de solda correspondente.
- A soldadura não se restringe ao ambiente fabril, sendo também possível ser realizado “no terreno”.

Embora a soldadura apresente várias vantagens, esta também possui certas limitações e desvantagens:

- As operações de soldadura são maioritariamente realizadas manualmente, sendo caras em termos de custo de mão-de-obra. Muitas destas, são consideradas "operações especializadas" e a mão-de-obra para realizá-las pode ser escassa.
- A maioria dos processos de soldadura é inerentemente perigosa porque envolve o uso de alta energia.
- Como a soldadura realiza uma ligação permanente entre os componentes, ela não permite uma desmontagem conveniente. Se o produto precisar ocasionalmente de ser desmontado (por exemplo, para reparo ou manutenção), a soldadura não deve ser usada como método de união.
- A junta soldada pode sofrer de certos defeitos de qualidade difíceis de detetar. Estes defeitos podem reduzir a resistência da ligação entre as peças soldadas.

Seguidamente, serão abordados os processos de soldadura mais utilizados pela empresa.

- **Arco eléctrico**

Num processo típico de soldadura a arco, existem muitos parâmetros importantes que influenciam a qualidade e a taxa de produção. O conhecimento da física do arco, as forças que atuam e a interação do mesmo com os diferentes gases de proteção, são essenciais para entender como otimizar o processo de soldadura (Weman, 2012).

Segundo Groover (2010), a soldadura a arco é um processo por fusão, no qual a coalescência dos metais é alcançada pelo calor de um arco eléctrico entre um eléctrodo e a peça. Um processo genérico de soldadura a arco eléctrico é mostrado na Figura 24. O arco eléctrico é uma descarga de corrente eléctrica através de uma interrupção num circuito, sustentado pela presença de uma coluna de gás ionizada termicamente (chamada plasma), através da qual a corrente flui. Para iniciar o arco, o eléctrodo é colocado em contacto com a peça e rapidamente separado por uma distância reduzida. A energia eléctrica do arco produz temperaturas de 5500°C ou mesmo superiores, suficientemente quentes para fundir qualquer metal. O metal fundido, formado pelo metal base e pelo metal de adição (se for utilizado) é formado próximo da ponta do eléctrodo. Na maioria dos processos de soldadura a arco eléctrico, o metal de adição é acrescentado durante a operação para aumentar o volume e a resistência da junta soldada. À medida que o eléctrodo percorre a junta, a solda fundida vai solidificando.

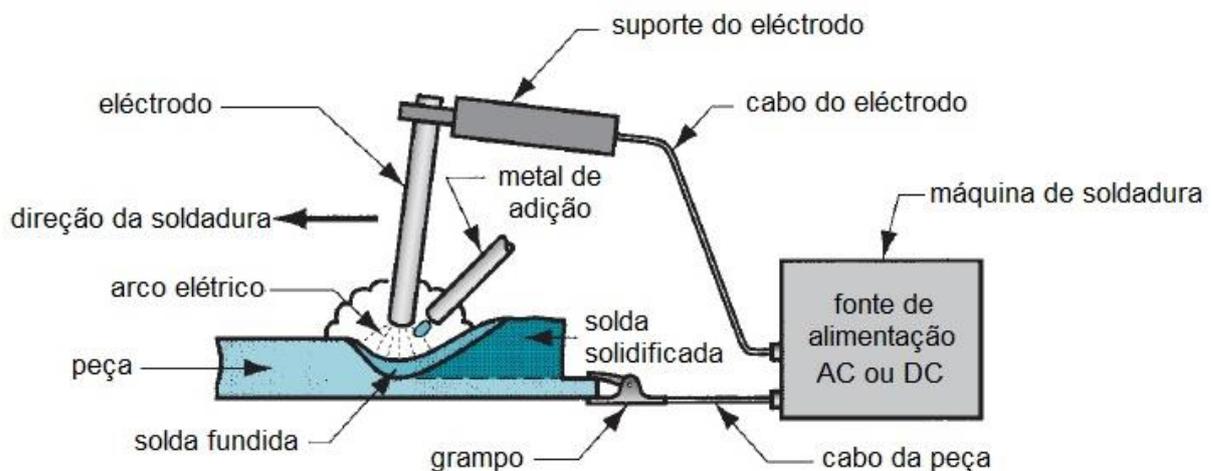


Figura 24 – Processo de soldadura por arco eléctrico (adaptado de Groover, 2010)

O movimento do eléctrodo em relação à peça, é realizado por um soldador (soldadura manual) ou por meios mecânicos (máquina de soldadura automática ou robot de soldadura).

Um dos aspetos problemáticos da soldadura a arco manual é o facto da qualidade da junta soldada depender da habilidade do soldador, e a produtividade deste método é relativamente baixa, pois o soldador necessita de períodos de descanso frequentes para superar a fadiga provocada pelo processo de soldadura a arco manual, que requer coordenação entre os olhos e as mãos em condições difíceis (Groover, 2010).

Paralelamente, Weman (2012) define um arco de soldadura como sendo uma descarga eléctrica entre dois eléctrodos. A corrente de soldadura é conduzida do eléctrodo para a peça através de um gás aquecido e ionizado, chamado plasma. A queda de tensão e a corrente no arco determinam a quantidade de energia eléctrica libertada, o calor que funde o eléctrodo e as faces da junta, permitindo que a soldadura ocorra.

A energia deverá ser alta o suficiente para manter a temperatura do arco, por forma a garantir uma corrente contínua. A temperatura mantém a ionização do gás ou plasma, criando partículas eléctricas que conduzem a corrente.

Dependendo da escolha do gás de proteção, são necessárias temperaturas diferentes para manter o plasma ionizado. O argon, por exemplo, é mais fácil de ionizar que o hélio. A soldadura com hélio ou gases misturados com hélio, produz uma queda de tensão mais elevada e uma maior transferência de calor para a solda fundida.

Se o arco ficar retido num gás multi-atómico, como o CO₂, as moléculas serão inicialmente dissociadas, ou seja, divididas em átomos, à medida que a temperatura aumenta. A dissociação requer energia, retirada das partes mais quentes do arco e perdida quando os átomos ou moléculas se associam a temperaturas mais baixas, significando que a condutividade térmica do arco aumenta (Weman, 2012).

• MIG/MAG

Até à década de 1970, o método de soldadura mais utilizado era o eléctrodo revestido. Hoje, o processo MIG/MAG é o principal processo de soldadura na maioria dos países industriais. A soldadura a arco de metal a gás, também chamada de soldadura MIG se o gás de proteção for inerte, como por exemplo o argon, ou soldadura MAG se o gás tiver o conteúdo de um gás ativo, como CO₂ (Weman, 2012).

Segundo Groover (2010), o processo de soldadura MIG/MAG pode ser também denominado de *Gas metal arc welding* (GMAW). O diâmetro do fio pode variar entre 0.8 a 6.5 milímetros, sendo que o diâmetro do mesmo depende da espessura das peças a serem unidas, bem como da taxa de deposição desejado. A seleção do gás/gases a utilizar dependem do metal a ser soldado. Os gases inertes são usados na soldadura de ligas de alumínio e aços inoxidáveis, enquanto que o CO₂ é normalmente usado na soldadura de aços com baixo e médio teor em carbono. A combinação do fio do eléctrodo e dos gases de proteção elimina a formação de escória no cordão soldadura e, como tal, impede a necessidade de retificação e limpeza da escória.

Assim, pode-se definir a soldadura MIG/MAG como sendo um processo de soldadura por arco eléctrico, no qual é utilizado um fio (eléctrodo consumível) de alimentação contínua, onde na ponta do mesmo é estabelecido o arco eléctrico, sendo o mesmo protegido por um gás.

Durante o processo de soldadura, o eléctrodo, o arco, a zona fundida e a peça a soldar são protegidos da contaminação atmosférica por um fluxo de gás ativo ou inerte que passa através da tocha da soldadura. Dado o diâmetro reduzido do fio (eléctrodo consumível) ocorre uma elevada densidade de corrente, bem como uma elevada taxa de fusão do fio.

Assim, e segundo Weman (2012), a soldadura MIG e MAG é um método particularmente flexível com uma ampla gama de aplicações. Esses incluem:

- Espessuras de chapas a soldar de 0,5 mm ou superiores. A baixa transferência de calor na soldadura MIG é particularmente útil na soldadura de chapas finas, pois minimiza a deformação e a distorção da chapa.
- A capacidade de soldar todos os materiais estruturais normalmente utilizados, como aço macio, liga leve e aço inoxidável, alumínio e suas ligas e vários outros metais não ferrosos como por exemplo, cobre, ligas de cobre, ligas de níquel, níquel, etc.
- Aplicação da técnica em todas as posições de soldadura.

Uma limitação do método MIG/MAG comparado ao método de eléctrodo revestido é que o equipamento de soldadura é mais complexo e, portanto, menos portátil. Tem também uma aplicação mais limitada ao ar livre, pois o gás de proteção deve ser protegido de correntes de ar.

Desta forma, pode-se concluir que a variedade de metais que pode ser soldada com o processo MIG/MAG é quase ilimitada, sendo apenas restringida pelas características de transferência do metal do fio para a peça.

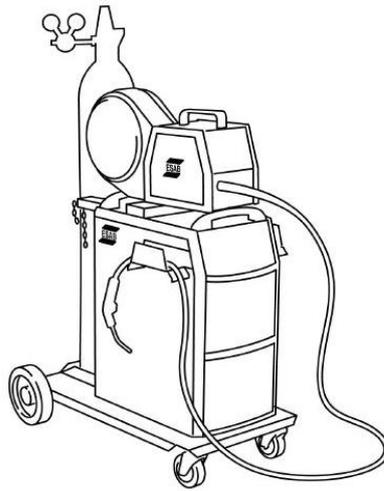


Figura 25 – Máquina de soldar MIG/MAG (Weman, 2012)

- **TIG**

A soldadura a TIG, é um processo de soldadura a arco que utiliza um eléctrodo de tungsténio não consumível e um gás inerte para a proteção do arco. A soldadura TIG pode ser implementada com ou sem um metal de adição. Quando um metal de adição é usado, este é adicionado ao metal fundido da solda, através de uma haste ou arame separado, sendo fundido pelo calor do arco, em vez de ser transferido através do arco, como o eléctrodo consumível no processo de soldadura a eléctrodo revestido. O tungsténio é considerado como sendo um bom material para um eléctrodo devido ao seu elevado ponto de fusão, 3410°C. Os gases de proteção mais comuns são o argon, hélio ou uma mistura destes elementos gasosos (Groover, 2010).

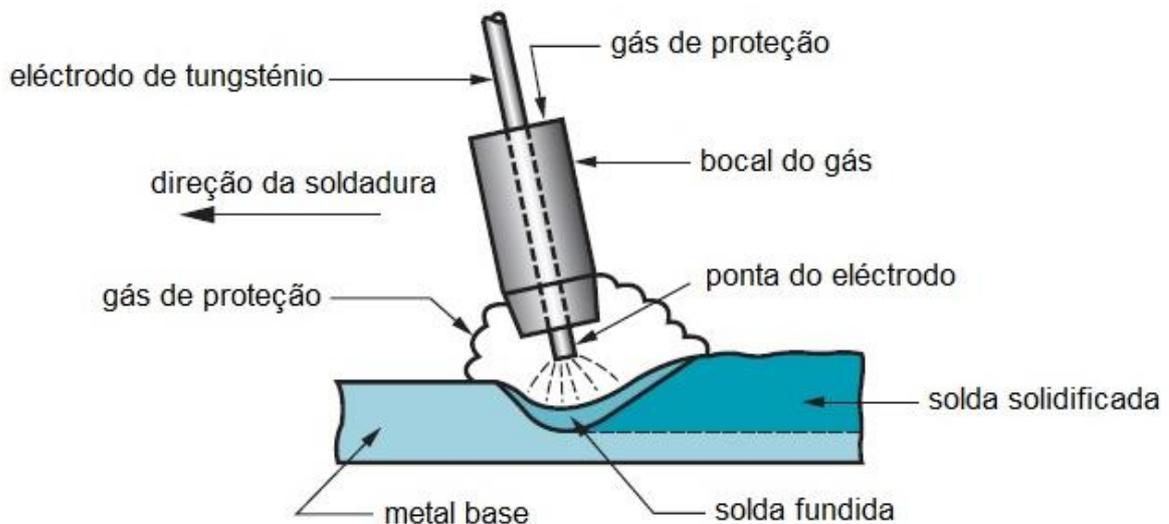


Figura 26 – Processo de soldadura TIG sem material de adição (adaptado de Groover, 2010)

Segundo o autor, o processo de soldadura TIG é aplicável a quase todos os metais. Pode também ser usado para unir várias combinações de metais diferentes, sendo que as aplicações mais comuns são para alumínio e aço inoxidável. Em aplicações de soldadura de aço, o processo TIG é geralmente mais lento e mais caro que os processos de soldadura a arco de

eléctrodo consumível, exceto quando se tratam de seções finas e são necessárias soldas de alta qualidade.

Quando chapas finas são soldadas pelo processo TIG para tolerâncias reduzidas, geralmente não é utilizado metal de adição. O processo pode ser realizado manualmente ou por máquina, através de métodos automatizados para todo o tipo de juntas. As vantagens deste método nas aplicações para as quais é recomendado, inclui soldas de alta qualidade, sem salpicos de solda uma vez que nenhum metal de adição é transferido através do arco, e pouca ou nenhuma limpeza pós-soldadura.

Paralelamente, Weman (2012) define TIG, também chamado de soldadura a arco de tungsténio com proteção gasosa, como sendo um processo que envolvendo a formação de um arco entre um eléctrodo de tungsténio não consumível e a peça de trabalho. O metal fundido composto pela solda e o eléctrodo, são protegidos por um gás inerte, geralmente argon, fornecido através de um recipiente de gás no final da tocha de soldadura, no qual o eléctrodo se encontra no centro do mesmo, conforme se pode observar através da Figura 27.

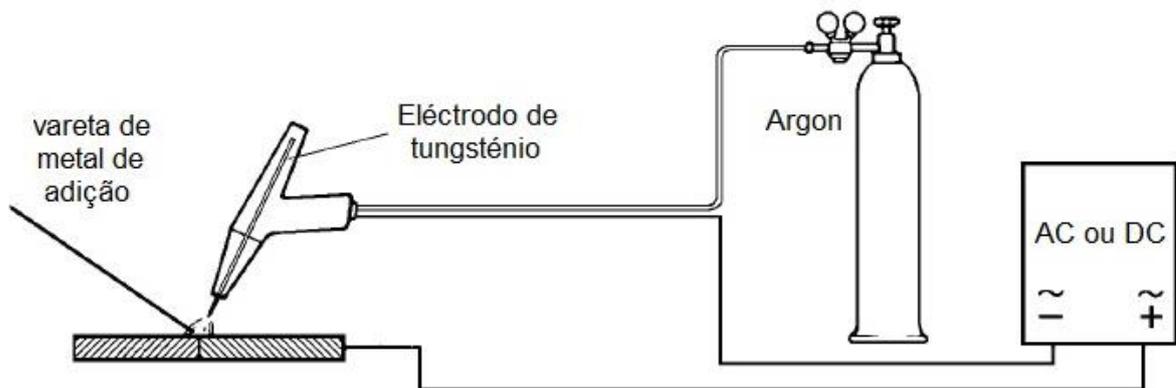


Figura 27 – Processo de soldadura TIG com metal de adição (adaptado de Weman, 2012)

A soldadura TIG também pode ser usada para soldar com material de adição, podendo ser aplicado manualmente em forma de vareta, semelhante à soldadura a gás. Para este processo, são utilizadas ferramentas para a soldadura TIG mecanizada, em aplicações tais como unir tubos e soldar tubos às placas finais dos permutadores de calor. Este tipo de ferramentas de soldadura automática, incorporam recursos avançados como o fornecimento mecanizado do fio de metal de adição.

As principais vantagens do processo TIG são a estabilidade do arco e o excelente controlo do resultado da soldadura. Algumas das aplicações importantes neste processo são a capacidade de soldar aço inoxidável, metais leves como ligas de alumínio e magnésio, e também cobre. É adequado para soldar todos os materiais soldáveis, e pode ser usado com todos os tipos de juntas e em todas as posições de soldadura. No entanto, a soldadura TIG é mais adequada para materiais finos, com cerca de 0,5 a 3 milímetros de espessura. Em termos de produtividade, a soldadura TIG não pode competir com métodos como MIG/MAG (Weman, 2012).

2.3.5 Processo de montagem

O processo de montagem refere-se geralmente a métodos mecânicos de fixação de peças. Por norma, estes métodos permitem a desmontagem fácil das peças. A montagem mecânica usa vários métodos para juntar mecanicamente duas ou mais peças. Na maioria dos casos, o método envolve o uso de componentes, chamados fixadores, que são adicionados às peças durante a operação de montagem. Muitos objetos presentes no dia-a-dia são produzidos usando o processo de montagem mecânica: automóveis, aparelhos grandes e pequenos, telefones, móveis, utensílios, etc. Além disso, produtos industriais, como aviões, máquinas-ferramentas e equipamentos de construção, quase sempre utilizam a montagem mecânica (Groover, 2010).

Segundo o mesmo autor, os métodos de fixação mecânica podem ser divididos em duas classes principais: (1) aquelas que permitem a desmontagem e (2) aquelas que criam uma junta permanente. Objetos roscados com o objetivo de prender uma peça à outra, nomeadamente parafusos, pernos e porcas são exemplos da primeira classe e os rebites, são exemplo da segunda. Existem boas razões pelas quais a montagem mecânica é frequentemente preferida a outros processos de união, nomeadamente a facilidade de montagem e desmontagem, uma vez que a desmontagem periódica é necessária para muitos produtos, para que a manutenção e reparação possam ser realizadas; por exemplo, para substituir componentes de desgaste, fazer ajustes, etc.

A montagem mecânica não requer trabalhadores qualificados, sendo geralmente realizada com recurso a ferramentas básicas e efetuadas num período de tempo relativamente curto. A tecnologia é simples e os resultados são facilmente inspecionados. Esses fatores são vantajosos não só na execução em ambiente fabril bem como, em utilização comum. No que diz respeito a peças de grandes dimensões e pesadas, por forma a facilitar o transporte das mesmas, estas podem ser enviadas em peças menores e assim montados no local (Groover, 2010).

- **Aparafusamento**

Tal como referido anteriormente, os fixadores roscados são componentes que possuem roscas externas ou internas para montagem de peças, pertencendo estes à categoria mais importante de montagem mecânica.

De acordo com Groover (2010), os parafusos são fixadores compostos por roscas externas que geralmente são montados em furos roscados cegos, sendo que existe uma distinção técnica entre um parafuso e um parafuso sextavado que geralmente não é reconhecida na utilização popular. Existem alguns tipos de parafusos, denominados de parafusos auto-roscantes, que possuem geometrias que lhes permitem formar ou cortar as roscas correspondentes no furo. Um parafuso sextavado é, também, um fixador com rosca externa que é inserido nos furos das peças e aparafusado a uma porca no lado oposto. A porca, constituída por uma rosca interna correspondendo à do parafuso do mesmo diâmetro, passo e forma de rosca, e que à medida que é apertada, fará com que as peças a unir se fixem. Os conjuntos que resultam do uso de parafusos, parafusos sextavados e porcas são ilustrados na Figura 28.

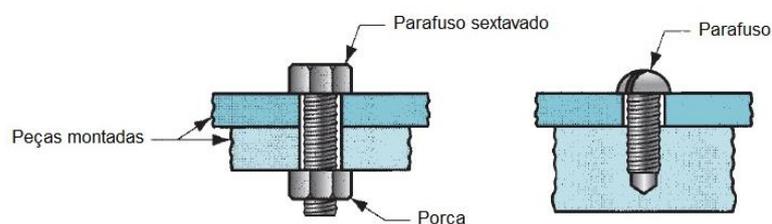


Figura 28 – Exemplo de dois tipos de aparafusamento (adaptado de Groover, 2010)

Assim, segundo o mesmo autor, os parafusos têm uma variedade de tamanhos, roscas e formas padrão. A Tabela 3 fornece uma seleção de tamanhos de parafusos comuns em unidades métricas, ISO, e unidades Americanas, ANSI. A especificação métrica consiste no diâmetro principal nominal, em milímetros, seguido pelo passo, também em milímetros. A norma Americana especifica um número que designa o diâmetro principal, em polegadas, seguido pelo número de roscas por polegada.

Tabela 3 – Seleção de parafusos standard em unidades métricas (ISO) e Americanas (ANSI) (adaptado de Groover, 2010)

ISO STANDARD			ANSI STANDARD			
Diâmetro Nominal	Passo grosso	Passo fino	Tamanho nominal	Diâmetro principal	Roscas/in, grossa	Roscas/in, fina
2	0.4		2	0.086	56	64
3	0.5		4	0.112	40	48
4	0.7		6	0.138	32	40
5	0.8		8	0.164	32	36
6	1.0		10	0.190	24	32
8	1.25		12	0.216	24	28
10	1.5	1.25	1/4	0.250	20	28
12	1.75	1.25	3/8	0.370	16	24
16	2.0	1.5	1/2	0.500	13	20
20	2.5	1.5	5/8	0.625	11	18
24	3.0	2.0	3/8	0.750	10	16
30	3.5	2.0	1	1.000	8	12

Por fim, Groover (2010) afirma que para usar um tipo específico de parafuso ou porca, o responsável pela montagem deve ter ferramentas projetadas para esse tipo de fixador. Por exemplo, existem vários tipos de cabeças disponíveis em parafusos, Figura 29. As geometrias dessas cabeças, bem como a variedade de tamanhos disponíveis, exigem ferramentas diferentes, como chaves de fenda.



Figura 29 – Tipo de cabeças de parafusos (adaptado de Groover, 2010)

2.4 Método de custos - Custeios

“Gestores de empresas que vendem vários produtos tomam importantes decisões sobre preços, mix de produtos e tecnologia de processos com base em informações de custo distorcidas. O pior é que raramente existem informações alternativas para alertar os gestores de que o custo do produto é muito defeituoso. A maioria das empresas deteta o problema somente depois que sua competitividade e lucro se deterioram”(Cooper & Kaplan, 1988).

A competitividade na economia mundial tem vindo a aumentar, não só pelo crescente número de empresas no mesmo setor de negócio, mas também pelo aumento de competitividade das mesmas. Como tal, por forma a fazer face à concorrência, é cada vez mais fulcral que o gestor tenha total conhecimento da estrutura de custos inerentes à atividade da empresa.

Atualmente a mão de obra direta representa uma pequena fração dos custos corporativos, enquanto que as despesas que cobrem as operações de suporte à fábrica, marketing, distribuição, engenharia e outras funções gerais aumentaram. Porém, a maioria das empresas ainda aloca esses custos indiretos e de suporte na sua base de trabalho direta decrescente ou, como nos custos de marketing e distribuição (Cooper & Kaplan, 1988).

A importância da criação de um sistema de custeio surge pelo facto de este ser considerado como auxiliar do processo de gestão, permitindo a identificação de gastos excessivos e, por conseguinte, de possíveis otimizações (Pita, 2014).

Leoncine et al., (2012), referem que os métodos de custeio podem ser considerados como ferramentas para criar informação relevante na tomada de decisão, e que, quanto maior a concorrência na qual a empresa se insere, maior a relevância dos métodos de custeios.

Como tal, a utilização destes permite que as empresas conheçam os seus custos e posteriormente, seja possível identificar uma posição vantajosa comparativamente aos seus concorrentes.

De acordo com os autores Júnior et al. (2015), existem diversos tipos de métodos de custos/custeios que pelas suas especificidades podem ser mais ou menos interessantes para as diferentes tipologias de empresas e, dessa forma, utilizando diferentes tipos de métodos, as empresas conseguem produzir com melhor qualidade e preço, aumentando a probabilidade de aceitação dos seus produtos nos mercados. Diariamente é perceptível a existência de produtos semelhantes ou até mesmo iguais, com preços diferentes, podendo ser reflexo de uma boa gestão de custos, com base em informações contabilísticas e pelo próprio método de custeio utilizado na empresa, deixando assim, maior margem para descontos, atraindo mais clientes e, por conseguinte, potenciando os lucros e resultados das empresas(Júnior et al., 2015).

Considerando que o mercado empresarial está cada vez mais globalizado e competitivo, a decisão pelo método de custeio mais adequado, em conjunto com a correta aplicação aos processos de gestão, pode ser considerado como um fator determinante do sucesso ou fracasso de uma empresa, uma vez que uma empresa que não consiga medir corretamente os seus custos, jamais conseguirá fazer o balanço ideal entre o preço e qualidade dos produtos/serviços oferecidos.

De acordo com Fisher & Krumwiede (2012), algumas empresas que, por não optarem pela utilização de um sistema de custeio bem definido, determinam os seus preços com base nos dos seus concorrentes, não tendo em consideração os seus próprios custos internos.

Para Cooper & Kaplan (1988) praticamente todas as atividades da empresa existem para apoiar a produção e entrega de bens e serviços, como tal, todos devem ser considerados como custo dos produtos. E, embora quase todos os custos de suporte corporativo e de fábrica sejam

divisíveis ou separados, eles podem ser divididos entre si e atribuídos a produtos individuais ou famílias de produtos. Esses custos incluem:

- Logística;
- Produção;
- Marketing e vendas;
- Distribuição;
- Serviços;
- Tecnologia;
- Administração financeira;
- Recursos de informação;
- Administração geral.

Em suma, gestores com sistemas de gestão de custos integrado e bem projetados, no qual o controlo operacional e custos estratégicos estão separados, mas vinculados, irão:

- Identificar as melhores oportunidades de melhoria de programas;
- Orientar atividades de melhoria contínua e aprendizagem;
- Detetar rapidamente quer a capacidade não utilizada, quer os potenciais constrangimentos;
- Tomar melhores decisões que aumentam o lucro da empresa.

Leoncine et al. (2012), descrevem que existem diversos estudos efetuados acerca desta temática, nos quais são identificados diferentes métodos de custeios, por forma a ser possível apurar o valor dos produtos, identificar e reduzir custos, melhorar e/ou eliminar processos, etc. De entre os métodos, salientam-se o custeio por absorção, métodos das secções homogéneas, custeio variável e o custeio baseado em atividades.

No âmbito dos métodos de custeios, Kaplan & Cooper (1998), procedem a uma divisão entre tradicionais e avançados. Para os autores, o custeio por absorção e o método das secções homogéneas, enquadram-se na categoria de métodos tradicionais. Estes métodos tradicionais foram desenvolvidos para um ambiente competitivo, no qual a mão de obra e os materiais diretos correspondiam a uma grande percentagem dos custos.

Para os autores, os sistemas de custeio tradicionais foram-se tornando inadequados à realidade das empresas e desenquadrando-se do contexto de concorrência crescente.

- **Custeio por Absorção:** método no qual todos os custos, variáveis e fixos, são considerados custos do produto;
- **Custeio Variável:** técnica na qual todos os custos de produção variáveis, diretos e indiretos são considerados como custo do produto;
- **Método das secções homogéneas:** a principal característica deste método prende-se com a divisão da empresa em centros de custo por intermédio de bases de distribuição.(Leoncine et al., 2012)
- **Custeio ABC – Activity Based Cost:** identificação das atividades, relacionadas ou não com volumes, que causam custos indiretos.

O custeio ABC surgiu como alternativa aos modelos denominados de tradicionais. A ênfase deste modelo prende-se com a identificação das atividades, relacionadas ou não com volumes, que causam custos indiretos. Os custos são, portanto, alocados aos produtos com base no consumo de atividades relevantes. O método ABC foi identificado como o método da alocação de custos, por forma a fornecer custos mais precisos do produto, bem como gerir da melhor forma as atividades das empresas (Frey & Gordon, 1999).

Em suma, o Sistema de Custos Baseados em Atividades (ABC) oferece aos gerentes uma visão mais estratégica dos seus negócios, ajudando-os a perceberem a economia sustentável de produzir os bens e servir os clientes. Assim, os sistemas ABC identificam os custos de recursos (pessoas, máquinas, instalações), atividades e processos e, em seguida, a produtos, serviços e clientes específicos (Kaplan & Cooper, 1998).

2.5 Lean Manufacturing

Lean Thinking é uma filosofia de gestão bem definida e estabelecida, que compreende um conjunto de princípios e técnicas, que são agora reconhecidas no sector empresarial da produção, inspirados no sistema de produção Toyota (TPS). Tendo tido um sucesso significativo na redução de desperdícios, os seus princípios e ferramentas podem ser identificadas em diversos sectores industriais com bons resultados (Silva & Ferreira, 2019).

Como consequência do sucesso de aplicação em diferentes sectores industriais, este método é considerado como base de importantes ferramentas de gestão, com objetivo de eliminar desperdícios, sobreprodução, tempos de espera, transporte, inventário, defeitos, etc. propondo vários princípios *Lean*, por forma a atingir uma organização *Lean*, isto é, incentivando o pensamento *Lean* (Silva & Ferreira, 2019).

De acordo com o mesmo autor, embora a metodologia *Lean* tenha origem no departamento de produção da indústria automóvel, no chão de fábrica, atualmente os princípios e ferramentas subjacentes são usadas noutras áreas e processos das empresas. As empresas estão tipicamente estruturadas à volta de um conjunto de operações, caracterizadas por sectores de processamento do produto, logística, contabilidade, recursos humanos, investigação e desenvolvimento, assim como tecnologia de informação e comunicação. Embora o conjunto de operações estabeleça o negócio principal de uma empresa, os serviços associados de processos e suporte, representam pilares importantes para alcançar os objetivos da empresa e, portanto, são suscetíveis a procedimentos semelhantes de eliminação de desperdícios.

De acordo com os autores Silva & Ferreira, (2019), após mais de uma década de melhorias relevantes, alcançadas nos processos de várias empresas através da implementação de práticas *Lean*, pode considerar-se que o método *Lean* é igualmente aplicável e benéfico em quase todos os departamentos, tornando-o uma filosofia de gestão viável em toda a empresa e fomentando uma atitude diária de *Lean Thinking*.

As responsabilidades de gestão incluem a contratação e formação de trabalhadores, a definição dos padrões do seu trabalho, bem como design do produto e dos processos. Assim, a gestão define as condições no *gemba* (palavra japonesa para lugar onde as coisas acontecem) e, o que quer que lá aconteça, é refletido na gestão. Desta forma, os gerentes devem conhecer as condições do *gemba* e para tal, por uma questão de rotina, gerentes e supervisores devem visitar a produção e observar atentamente o que lá acontece (Imai, 2012).

Duas grandes atividades acontecem no *gemba* diariamente no que diz respeito à gestão de recursos, nomeadamente a manutenção e kaizen. O primeiro diz respeito a seguir os padrões existentes e a manter o *status quo* (o estado das coisas), e o segundo diz respeito à melhoria de tais padrões.

Os gestores do *gemba* envolvem-se numa ou outra dessas duas funções, sendo que a qualidade, custo e entrega (QCD) são o resultado final, demonstrados na figura que se segue:



Figura 30 – House of Gemba (adaptado de Imai, 2012)

Segundo Liker (2004), os processos das empresas devem ser avaliados do ponto de vista do cliente, quer seja cliente interno ou cliente final, por forma a identificar “o que é que o cliente quer deste processo”. Esta questão permite identificar quais as atividades de valor acrescentado numa empresa ou na cadeia de abastecimento e, quais as atividades definidas como não tendo valor acrescentado. Esta análise pode ser aplicada a qualquer processo de produção, informação ou de serviço.

Da mesma forma, Imai (2012) refere que qualquer atividade que não acrescenta valor é classificada como *muda* no Japão. A palavra japonesa *muda* significa "desperdício", mas a palavra tem uma conotação muito mais profunda. Ohno, criador do TPS, foi a primeira pessoa a reconhecer a enorme quantidade de *muda* que existia no *gemba*, e como tal classificou *muda* no *gemba* de acordo com sete categorias e assim identificar os principais tipos de serviços de valor não acrescentado:

1. **Sobreprodução** (produção além do necessário): produção de itens para os quais não há encomendas, gerando desperdícios como custos de armazenagem e transporte;
2. **Tempo de espera**: tempo desperdiçado a aguardar pelo próximo passo no processo;
3. **Transporte** (deslocações inúteis): movimentação desnecessária de produtos e materiais;
4. **Sobre processamento ou processamento errado** (operações inúteis): trabalho elevado ou com qualidade superior ao solicitado pelo cliente;
5. **Excesso de inventário**: excesso de produtos ou matérias primas sem utilização;
6. **Movimentação desnecessária** (gestos inúteis): movimentação desnecessária dos colaboradores na procura e/ou pesquisa de ferramentas ou materiais;

7. **Defeitos:** produções com defeitos ou retrabalho.

De acordo com Liker (2004), deverá ser considerado uma oitava categoria:

8. **Não utilização da criatividade dos colaboradores:** perda de tempo, ideias, aptidões e melhorias por não ouvir os colaboradores.

Segundo Belekoukias et al. (2014), para identificar problemas e as causas acima mencionados, bem como propor soluções de forma sustentável, com vista na melhoria contínua, um conjunto de métodos e ferramentas devem ser considerados. Assim, os autores categorizaram estas ferramentas de metodologia *Lean* em cinco pilares fundamentais da seguinte forma:

Tabela 4 – Ferramentas *Lean* (Belekoukias et al., 2014)

JIT	TPM	Autonomation	VSM	Kaizen/CI
<p><i>Tools:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • One piece flow • Pull system • Takt time • Cell manufacturing • Levelled production • Kanban • Visual control • Multifunctional employees • JIT purchasing 	<p><i>Tools:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Overall equipment effectiveness (OEE) • Single minute exchange of die (SMED) • 5S • Autonomous maintenance • Planned maintenance • Quality maintenance • Initial control before the starting of the production • Safety and hygiene environment 	<p><i>Tools:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mistake proofing / Poka-yoke • Visual control system / Andon • Full Work system 	<p><i>Tools:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Current state map • Future state map • Flow diagrams 	<p><i>Tools:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • 5S • Brainstorming • Continuous Flow • Kanban • Datacheck sheet • Five whys • Pareto chart • Run chart • Gantt chart • VSM • Process map • Mistake proofing

Segundo Silva & Ferreira (2019), estas ferramentas caracterizam-se como segue:

- *Kanban* é a ferramenta utilizada para controlar o fluxo de materiais, pessoas e informação no *gemba*, normalmente utilizada na operação *pull system*. Este sistema é baseado no princípio de que o consumo de componentes dá origem a um pedido de reabastecimento, com foco na produção de peças pequenas.
- *Visual Control/ Visual Management* representa uma ferramenta de apresentação de informações que visa apoiar os operadores com sinais visuais. Normalmente, um conjunto de padrões, gráficos, sistemas de cores e delimitações de espaço são usados para facilitar a interpretação do colaborador sobre possíveis desvios. Uma vantagem importante dessa ferramenta, é o facto de permitir a gestão e controlo de processos, através da representação gráfica.
- *Levelled production* significa produção nivelada, e tem como objetivo a redução da flutuação da produção, nomeadamente situações de subutilização da capacidade ou sobrecarga, por forma a obter o melhor uso da capacidade disponível. Consiste em estabelecer um fluxo contínuo de produção, reduzindo o nível de stock e aumentando a estabilidade dos processos.

- 5S consiste numa ferramenta que permite reduzir ou mesmo eliminar desperdícios e atividades sem valor acrescentado. Esta ferramenta é normalmente utilizada para melhorar, bem como manter o trabalho organizado, sendo que os 5S apoiam:
 1. *Sort – Seiri*: redução de itens que já não são necessários;
 2. *Straighten – Seiton*: organização de itens para otimizar a eficiência e o fluxo;
 3. *Shine – Seiso*: limpar a área de forma a facilitar a identificação de problemas;
 4. *Standardize – Seiketsu*: implementar códigos de cores e etiquetas para ficar coerente com outras áreas;
 5. *Sustain – Shitsuke*: desenvolver comportamentos que mantenham a zona de trabalho organizada a longo prazo.
- *Single Minute Exchange of Die (SMED)* permite reduzir o tempo de configuração da máquina, garantindo uma troca rápida da ferramenta. É definido como a quantidade mínima de tempo requerido para mudar de um tipo de atividade para outro, considerando a última peça da produção anterior e a primeira peça dentro dos padrões requeridos da segunda produção.
- *Mistake proofing: Poka-Yoke* visa ter um processo à prova de erros, garantindo a existência de condições adequadas antes de iniciar qualquer processo. Esta executa a função de deteção, eliminando defeitos no processo o mais rápido possível, sendo considerada fundamental no controlo de qualidade, que visa a eliminação total de defeitos, através da identificação e eliminação da origem das suas causas.
- *Five Whys* é uma ferramenta para identificar a origem de um problema e agir em conformidade. Utilizada corretamente, esta possibilita um maior alcance e amplitude, podendo ser vista como uma ação corretiva e preventiva.
- *Value Stream Map (VSM)* é considerado um método/ferramenta eficiente para identificar desperdícios na cadeia de valor e tem como objetivo analisar e projetar fluxos do sistema para vários processos. Representa a técnica usada para documentar, analisar e melhorar o fluxo de informação ou material requerido para produzir um produto ou serviço para um cliente. O mapeamento da cadeia de valor baseado no VSM é dividido em três níveis: na parte superior do mapa, o fluxo de informações está presente; no centro do mapa, o fluxo de materiais; e na parte inferior do mapa, as distâncias percorridas tendo em consideração uma linha cronológica.

Em sistemas de produção por encomenda, a maior expectativa na implementação da metodologia *Lean* pressupõe a diminuição de desperdícios, melhoria do fluxo e assim, melhorar a resposta do sistema, por forma a ir de encontro às encomendas do cliente. Flexibilidade da disposição do sistema é também necessária para garantir a variabilidade da produção. Estas capacidades são atingidas através da combinação do alinhamento da equipa, reconfiguração dos equipamentos e disposição dos postos de trabalho etc. (Silva & Ferreira, 2019).

No entanto, os autores também referem que esta implementação não é facilmente alcançada nesta tipologia de empresas, porque as variações das encomendas, impactam nos processos e nos requisitos. Estes sistemas têm que se apoiar na flexibilidade dos recursos, nomeadamente nos colaboradores polivalentes e na adaptabilidade das máquinas, para produzir qualquer tipo de produto e minimizar os tempos de configuração.

Contudo, várias pesquisas demonstraram que o aumento da flexibilidade origina um aumento da complexidade da coordenação do sistema. Como tal, é importante que haja uma relação de

compromisso eficaz entre o nível de flexibilidade definido para um sistema e o esforço de coordenação requerido.

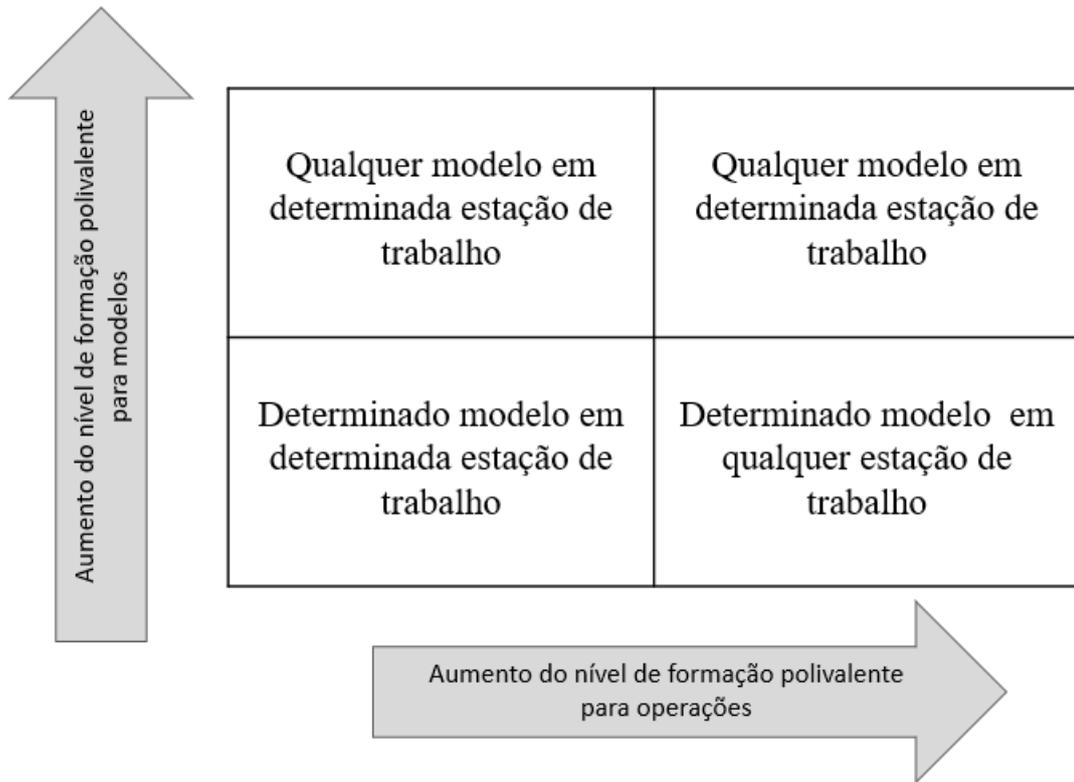


Figura 31 – Flexibilidade de trabalho: dimensões e níveis de flexibilidade (adaptado de Silva & Ferreira, 2019)

Em suma, e de acordo com Imai (2012), a melhor forma de reduzir custos passa por eliminar o uso excessivo de recursos. Por forma a alcançar esse objetivo, o autor defende que as sete atividades listadas abaixo devem ser efetuadas em simultâneo, sendo que a melhoria da qualidade deverá ser considerada como a mais importante.

1. Melhorar qualidade;
2. Melhorar produtividade;
3. Reduzir inventário;
4. Reduzir linha de produção;
5. Reduzir o tempo de inatividade da máquina;
6. Reduzir espaço;
7. Reduzir o tempo de entrega.

Estes esforços para eliminação de desperdícios, impactarão na redução dos custos de gestão de produção.

3 O estudo de caso - Curval Metalworks

3.1 A empresa Curval Metalworks

A CURVAL, Figura 32, hoje designada por CURVAL METALWORKS, é uma Empresa com mais de 70 anos de existência, sendo atualmente reconhecida como uma das empresas de referência do sector da indústria Metalúrgica e Metalomecânica.

A empresa iniciou a sua atividade industrial numa pequena serralharia, fabricando equipamentos e acessórios para a agricultura, aliado ao facto de estarem localizados em zonas tradicionalmente agrícolas.



Figura 32 – Empresa Curval Metalworks (Metalworks, 2020)

As melhorias introduzidas no fabrico de charruas adaptadas aos tratores agrícolas, conquistaram o reconhecimento do melhor equipamento fabricado a nível nacional.

Em 1973, altura em que aparecem as primeiras viaturas cisternas importadas, a empresa abraçou mais um desafio, e fabrica em Portugal, a primeira viatura cisterna, que teve grande aceitação no mercado. Decorria o ano de 1975, quando se deu a transição da antiga empresa, eminentemente de produção de produtos agrícolas, para a atual empresa, que mantém o nome do fundador até à presente data.

Dando continuidade à herança, em 1979, o trabalho e o esforço despendidos com o desenvolvimento e fabrico da charrua com dispositivo automático de ralhas em presença de obstáculos, foi compensado com o galardão BPA, Agrotécnica 79 – Melhor Inovação

Tecnológica. Em 1983 foi desenvolvido o equipamento corta-milho e, em 1984 foi recebido também o galardão BPA – Agrotécnica 84 – “*Melhor inovação tecnológica no campo da Agrotécnica*”.

Com a crise agrícola, a procura destes produtos diminui substancialmente, mas para a Curval Metalworks, esta situação foi encarada de frente e vista como uma oportunidade propícia para começar a diversificar a sua oferta produtiva para outros sectores de atividade, tais como o fabrico de turbinas e ventiladores. A conjugação da experiência, do “saber-fazer” permitiu que a Curval se reestruturasse internamente para enfrentar o cada vez mais competitivo e agressivo mercado de trabalho.

A partir do ano de 1999, tendo em conta a análise de mercado, e tendo em atenção a legislação comunitária referente à área ambiental, a Curval Metalworks, começou a fabricar equipamentos para despoejamento. Paralelamente, iniciou a fabricação de ventiladores para unidades industriais, e conseqüentemente todo o tipo de construção soldada.

Como consequência da fabricação desta gama de produtos, (equipamentos de empoeiramento, ventiladores, turbinas industriais, estruturas metálicas,) e de serviços prestados (torneamento, equilibragem dinâmica) e em função das exigências dos clientes internacionais, a Curval Metalworks começa, a partir de 2006, a estruturar-se internamente, decidindo iniciar um processo de organização interna, culminando na preparação de uma base para uma futura implementação do Sistema de Gestão da Qualidade, com vista a certificação na norma ISO 9001.

Como resultado deste trabalho, em 2009 foi concluído o processo de certificação de qualidade pela norma ISO 9001/2008, com a Empresa Certificadora Tüv.

O ano de 2009 foi um ano de viragem, pois a empresa Curval Metalworks transitou de uma empresa metalomecânica ligeira, em metalomecânica média/pesada, como resultado de um investimento em equipamentos industriais e recursos humanos, tendo admitido vários quadros qualificados, e proporcionado formação a todos os colaboradores.

A empresa desenvolve uma cultura interna da gestão de todos os seus processos, consubstanciada na implementação, utilização e manutenção de um Sistema de Gestão da Qualidade, de acordo com os requisitos da norma NP EN ISO 9001, traduzidos na prática de melhoria contínua dos processos, orientados para a satisfação dos Clientes e demais partes interessadas, incluindo os seus colaboradores, que originam valor acrescentado para o negócio.

Em 2016, a empresa Curval Metalworks recebe a certificação de requisitos de qualidade de soldadura para fusão de metais metálicos ISO 3834-2.

Atualmente, é uma empresa modelo de referência internacional, ao nível de tecnologia e qualidade, fruto da qualidade intrínseca dos serviços e dos produtos que fabrica, dada a sua complexidade em termos de engenharia.

Paralelamente, mantém-se bastante atenta às exigências crescentes que o mercado internacional impõe, o que obriga cada vez mais a incrementar práticas de melhoria contínua, capazes de responder às solicitações pretendidas, o que contribui igualmente para a identificação de outras necessidades de formação.

Nesta dinâmica que se encontra no contínuo e franco desenvolvimento de toda a sua estrutura funcional, o seu crescimento estrutural e técnico está bem patente e é evidente a nível organizacional, de desenvolvimento de prestação de serviços, de produção de bens, e de qualidade. Para todas estas vertentes estarem asseguradas, existem uma constante preocupação em qualificar os seus colaboradores (Ferreira, 2011).

Segundo Metalworks (2020), a Curval Metalworks tem duas grandes áreas de negócio: os serviços e o fabrico de produtos.

Nos serviços destacam-se as seguintes operações:

- Torneamento;
- Calandragem;
- Corte (Oxi-corte/Plasma);
- Soldadura robotizada de peças de grandes dimensões;
- Equilibragem (Rotores, Rolos);
- Roscagem de furos cilíndricos.

No que diz respeito aos produtos estes dividem-se em:

- Ventiladores;
- Turbinas;
- Construção soldada média/pesada;
- Estruturas metálicas;
- Caldeiras.

3.2 Cadeia de Valor da Curval Metalworks

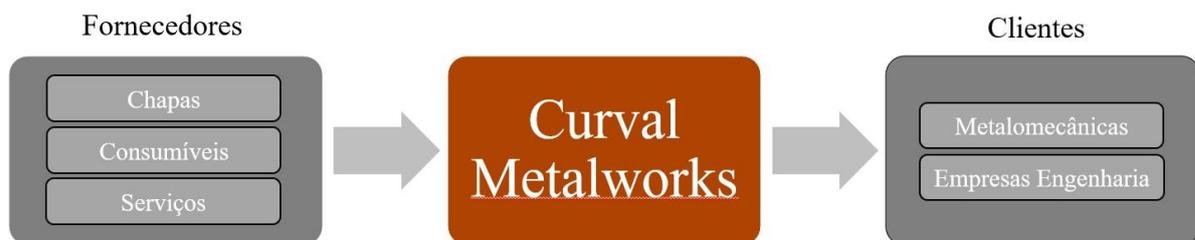


Figura 33 – Cadeia de valor

A Figura 33, é uma representação geral da cadeia de valor da Curval Metalworks. Como se pode constatar, esta tem maioritariamente três tipos de fornecedores, nomeadamente de chapa, os fornecedores de consumíveis e os fornecedores de serviços.

Segundo Ferreira (2011), os fornecedores de chapas, são genericamente importadores e armazenistas de chapa em aço, de tubos, perfis e barras. A principal mais valia destes é a garantia de qualidade e certificação, mas também a sua localização ser o mais próximo possível das instalações da Curval Metalworks de forma a reduzir prazos de entrega, sendo que a empresa tem preferência por fornecedores localizados na zona norte do país, e o mais perto da zona portuária de Leixões. Esta preferência de localização, justifica-se pelo facto de as matérias primas terem origem europeia sendo que o seu transporte é efetuado maioritariamente por via marítima até ao Porto de Leixões.

Relativamente aos consumíveis, são fornecedores de maquinaria, que posteriormente passam também a fornecer consumíveis para as máquinas, nomeadamente, bicos para as máquinas de oxi-corte/plasma, bicos para tochas de soldadura, fios de soldadura, gás, entre outros.

Por fim, os fornecedores de serviços, são os responsáveis pelas manutenções mais minuciosas das máquinas consideradas fulcrais para a produção, empresas de controlo de qualidade de soldadura e por fim, prestadores de serviços de processos de fabrico que são incluídos no processo principal da Curval Metalworks (tratamento térmico e tratamento de superfícies).

No que diz respeito aos clientes, e segundo o mesmo autor, a Curval Metalworks distingue os seus clientes em metalomecânicas e empresas de engenharia. As metalomecânicas recorrem à Curval Metalworks quando não têm capacidade produtiva ou quando não tem equipamentos necessários para a realização de determinados trabalhos. O grande volume de negócio está relacionado com as empresas de engenharia, sendo na sua maioria multinacionais do ramo das Cimenteiras, vidraceiras, petrolíferas e centros industriais.

O processo produtivo da Curval Metalworks caracteriza-se pelo facto de apenas produzir por encomenda e segundo as especificações do cliente, nunca produzindo para stock, nem tendo um tipo de matéria prima ou produtos standard. Desta forma, o processo produtivo de uma estrutura metálica pode ser definido como ilustrado no seguinte fluxograma:

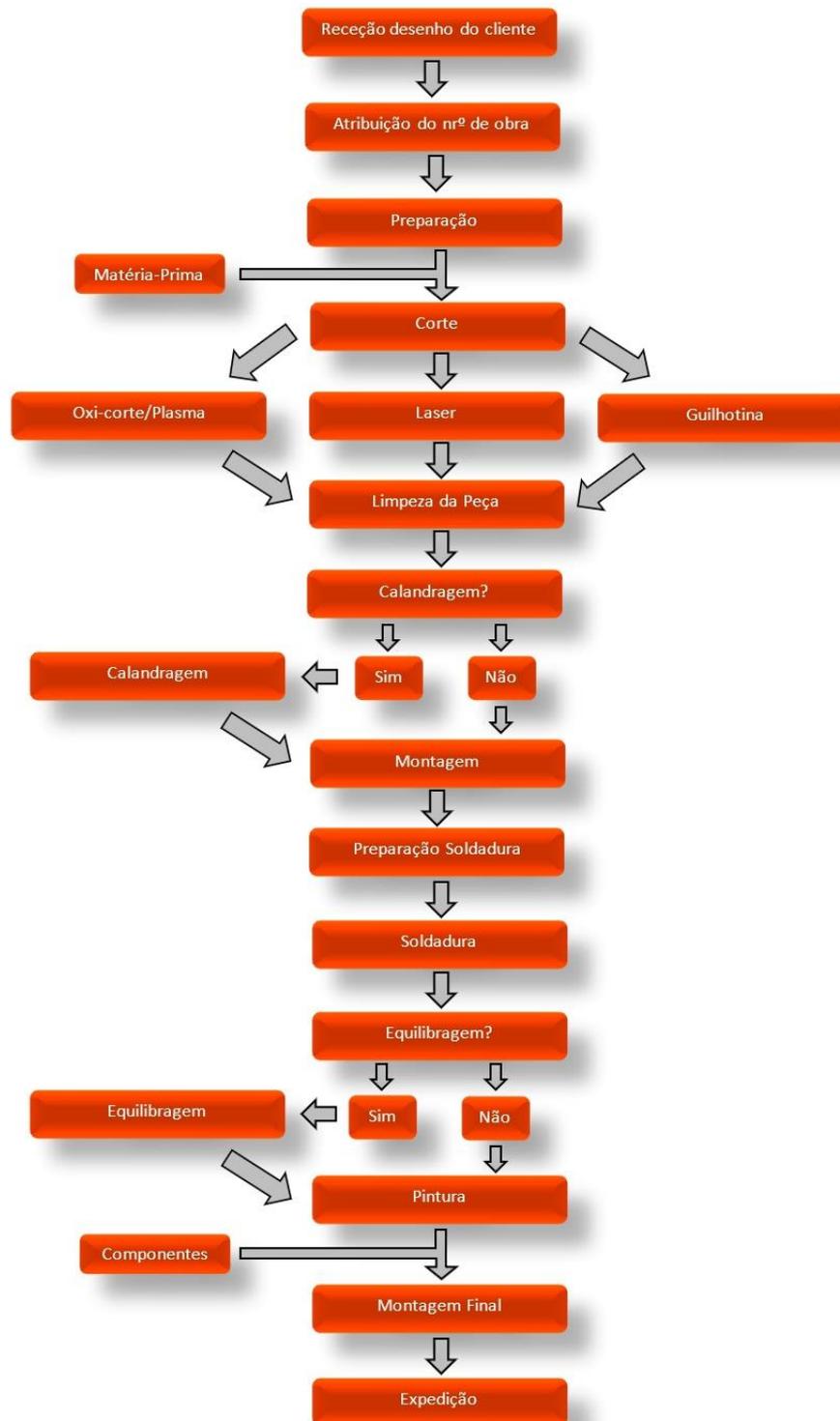


Figura 34 – Fluxograma do processo produtivo de estrutura metálica (adaptado de Ferreira, 2011)

Como representado no fluxograma acima, Figura 34, aquando da receção de uma encomenda por parte do cliente, nomeadamente os desenhos técnicos do projeto a ser efetuado, é atribuído um número interno à obra. Na fase seguinte, procede-se à preparação do desenho por parte da equipa de projeto, revendo algumas especificações, caso seja necessário. Posteriormente é verificada a existência das matérias primas necessárias para a execução do projeto e, caso necessário, efetuada encomenda das matérias-primas em faltas. Assim que estas estejam disponíveis, é enviada informação através de um software próprio para a máquina de corte que é de seguida executado.

As peças resultantes do processo de corte são limpas e, dependendo do requisito do cliente, procede-se à calandragem das mesmas. No caso de não ser necessário, estas seguem diretamente para a fase de montagem. Concluído este processo, as peças seguem para o processo de soldadura, tendo que ser previamente preparadas, sendo limpas todas as zonas de soldadura, e efetuada a montagem das peças para a estrutura pré-definida, através de pequenos “pingos” de solda, que posteriormente serão soldados. Paralelamente ocorre o processo de maquinagem dos veios, que consiste na receção de matéria prima (veios com dimensões o mais aproximado possível das dimensões pretendidas) e através de um torno, retificá-los conforme especificações do cliente. Este processo é dinâmico sendo que pode ocorrer em diferentes fases. Finalizado este processo, caso necessário, os veios são montados à estrutura previamente soldada, por forma a efetuar as inspeções requeridas pelo cliente.

Segue-se, se necessário, o processo de equilibragem, e posteriormente o de pintura, que no caso da Curval Metalworks é subcontratada, para que posteriormente seja efetuada a montagem final de todas as peças através de aparafusamento.

Concluídos todos estes processos, a peça está pronta para expedição.

3.3 O Processo de fabrico do registo para um ventilador

Neste subcapítulo, irá ser abordado o processo produtivo dos componentes constituintes do registo em questão, representando o processo por fluxogramas, com as respetivas explicações de todos os passos no decorrer da elaboração do processo de produção.

Desta forma, irá ser abordada primeiramente o processo de produção dos componentes que constituem a estrutura do registo, as pás e os fechos das mesmas, assim como as bielas. Seguidamente será abordado o processo produtivo dos veios, que irão receber as pás e os fechos das mesmas. Por fim, irá ser abordado o processo de produção dos centros das bielas que irão ser montados nos veios e soldados às bielas.

Uma vez que no desenho do cliente se encontram representadas todas as peças constituintes do registo, as etapas de receção do desenho do cliente e a atribuição do número de obra encontram-se omissas nos fluxogramas do processo de produção dos veios das pás e no processo de produção dos centros de bielas, uma vez que estas duas etapas são comuns aos três processos. As três últimas etapas, nomeadamente o controlo dimensional final, o embalamento e a expedição apenas estão representadas no fluxograma da estrutura do registo pois também são etapas comuns aos três processos.

O processo de produção do registo encontra-se representado pelos seguintes fluxogramas que se iniciam pela receção da encomenda do cliente, sendo que esta se encontra acompanhada por um ficheiro PDF com o desenho de conjunto do registo a ser fabricado, assim como todas as especificações requeridas para a execução do mesmo. Após a sua receção, procede-se ao registo da encomenda, no qual é atribuído um número interno à obra por forma a ser possível identificar as diferentes obras em processo de produção e também controlar as horas despendidas com as mesmas.

O departamento de projeto da Curval Metalworks, através dos desenhos fornecidos pelo cliente, reproduz o desenho em formato CAD 3D, recorrendo ao programa Inventor®, e verificando todos os dados fornecidos pelo cliente, sendo que caso algum erro ou falta de informação seja identificado, será retificado em articulação com a administração e o cliente. Seguidamente, e utilizando o mesmo programa são realizados todos os desenhos 2D com as informações necessárias, de forma à produção executar a obra. Assim, os desenhos são divididos e distribuídos conforme as etapas de produção.

É feita uma avaliação das matérias primas necessárias, verificando o stock, sendo que no caso de existir em stock é reservado o material. No caso de não existir matéria prima disponível para a execução da obra, é efetuada a encomenda ao fornecedor e posteriormente esta encomenda é rececionada.

– Processo de produção da estrutura do registo, pás, fechos das pás e bielas

A partir deste etapa, os passos dos fluxogramas deixam de ser comuns entre eles, sendo que desta forma será explicado o fluxograma do processo de produção da estrutura do registo, pás, fechos das pás e bielas. Uma vez que o processo de corte irá ser realizado na máquina de corte CNC, os desenhos das peças são exportados para ficheiro DXF e assim abertos no programa de corte CNC Lantek onde é otimizada a disposição das peças a serem cortadas por forma a gerar o mínimo de desperdícios, na menor área possível de chapa. Concluída a etapa anterior, o ficheiro das peças a cortar é enviado através da rede para a máquina de corte, e os desenhos técnicos das peças em papel são entregues ao operador responsável pela máquina de corte. É então que se dá o processo de corte CNC por plasma, tendo o colaborador que verificar se a máquina está a operar conforme o previsto, separando as peças já cortadas pela máquina, removendo os pequenos desperdícios e marcando as peças com a referência da peça em questão.



Figura 35 – Exemplo de uma peça cortada com as respetivas marcações

Como se pode observar na Figura 35, durante o processo de corte CNC, a máquina além de cortar as peças também as marca de forma a que em processos futuros, como por exemplo no processo de quinagem, o operário saiba onde será o local exato de quinagem.

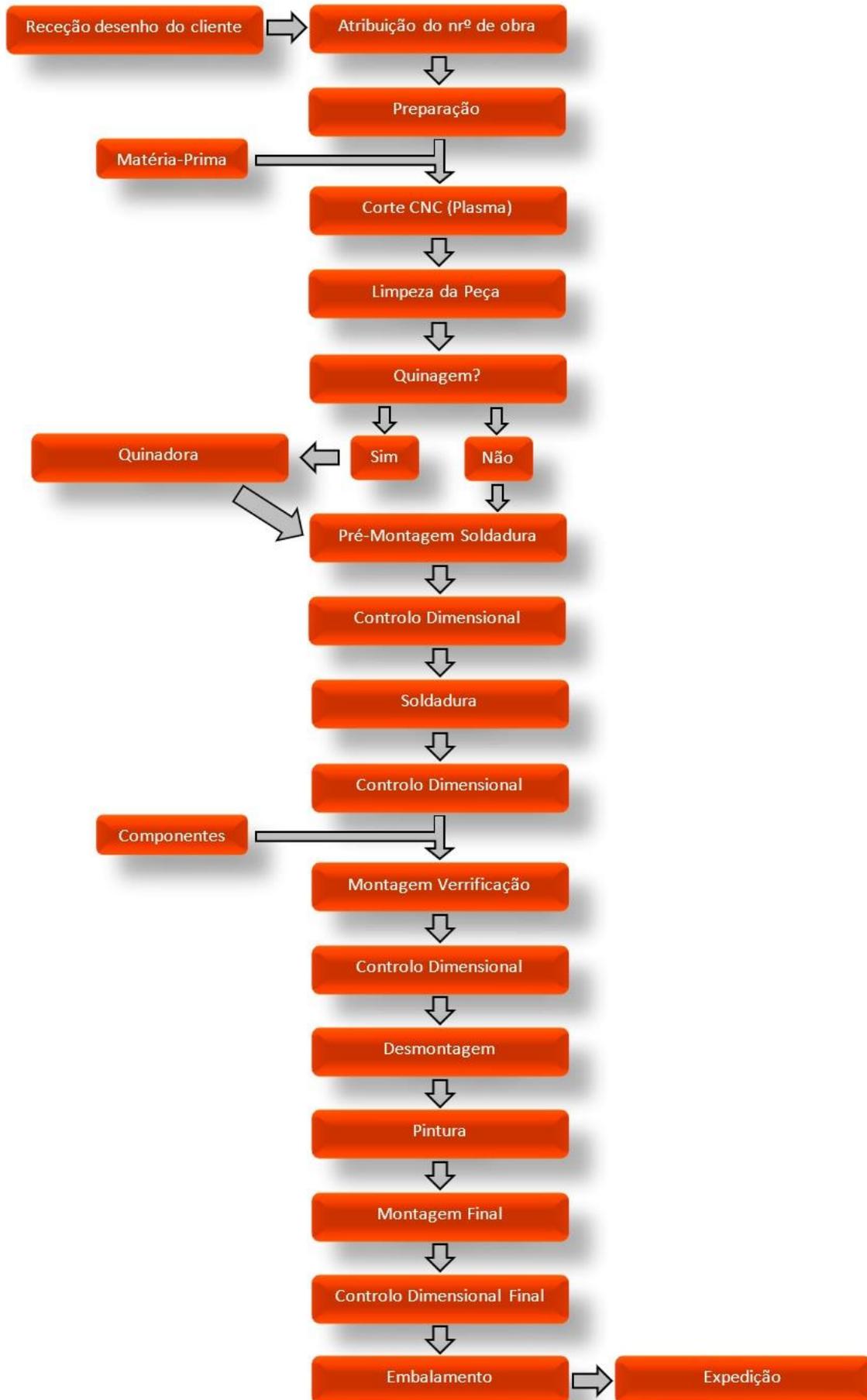


Figura 36 – Fluxograma do processo de produção da estrutura do registo, pás, fechos das pás e bielas

Após concluída a fase de corte, é efetuada uma limpeza superficial e periférica na peça e é verificado se está de acordo com o definido. Assim, e após o processo anterior, as peças que segundo o projeto necessitam de ser quinadas, seguem para a secção de conformação plástica, onde é efetuada a sua quinagem conforme as especificações do cliente e conforme calculado pelo departamento de projeto.

Seguidamente, as zonas que irão ser soldadas são limpas e é efetuada uma pré-montagem das peças formando assim a estrutura do registo sendo esta sustentada por pequenos “pingos” de solda. É então feito o controlo dimensional de forma a garantir que está tudo dentro dos parâmetros definidos inicialmente.

Depois da estrutura estar devidamente montada e o controlo dimensional aprovado, é iniciado o processo de soldadura. No caso da Curval Metalworks, esta fase pode ser feita manualmente, automaticamente pelo robot ou uma mistura entre manual e automático, sendo que neste caso a soldadura é manual.

Após terminado o processo de soldadura, é efetuado um controlo dimensional verificando também deformações e empenos que possam ter sido provocados pelo processo de soldadura. Nesta fase é também efetuada uma inspeção visual à mesma.

Posteriormente, procede-se a uma montagem de verificação com todos os componentes constituintes do registo, nomeadamente os veios com as pás, parafusos, chumaceiras, porcas, anilhas, etc., e efetuado um controlo dimensional. Se todo estiver dentro dos parâmetros definidos, procede-se à desmontagem do registo para seguir para a pintura que no caso é subcontratada.

A partir desta fase, as etapas, tanto para o fluxograma do processo de produção dos veios das pás assim como o fluxograma do processo de produção dos centros das bielas são comuns ao fluxograma do processo de produção da estrutura do registo, pás, fechos das pás e bielas, e por essa razão apenas irá ser descrita nesta fase. Assim, depois da estrutura vir da pintura, é realizada a montagem final do registo e posteriormente é efetuado o controlo dimensional final. Seguidamente, é realizado o embalamento e por fim a peça é expedida.

– Processo de produção dos veios das pás

No que diz respeito ao fluxograma do processo de produção dos veios das pás, não será abordado as etapas de preparação e da reserva ou encomenda de matéria prima, uma vez que estas são comuns ao processo acima descrito e se encontra já detalhados nele.

Assim, uma vez que a matéria prima para os veios é encomendada com o diâmetro pretendido para o projeto, isto é normalizado com designação comercial C1, estes são cortados através do processo de corte manual, utilizando o método de serragem, de forma a obter o comprimento ligeiramente maior que o necessário, uma vez que será posteriormente facejado. De seguida, é feita a limpeza do veio, de forma a remover possíveis rebarbas resultantes do corte.

Após a peça se encontrar limpa, esta irá para o torno para ser facejada uma vez que no processo de serragem as dimensões resultantes do corte não são tão precisas como no torno, e são efetuados os chanfros em ambas as extremidades do veio. Concluído o processo de torneamento, o veio vai para a máquina de escatelar de forma a efetuar o escatel do lado onde vai ser alojado o centro da biela. Neste processo é importante verificar se o enchavetamento fica de acordo com o pretendido no projeto, sendo feito o respetivo controlo dimensional.

De seguida é efetuada a montagem das respetivas pás e dos fechos das mesmas ao veio através de pequenos “pingos” de solda, sendo efetuado um controlo dimensional ao conjunto composto pelas pás, veio e fechos das pás. Seguidamente o conjunto é montado à estrutura geral do registo, sendo feito novo controlo dimensional e geométrico, verificando as

respetivas folgas bem como o funcionamento das pás, tendo que as mesmas estarem todas na mesma posição da pá que contém o veio mandante. Neste controlo é importante verificar se a pá está a 45 graus da chaveta, para garantir um funcionamento correto do sistema.

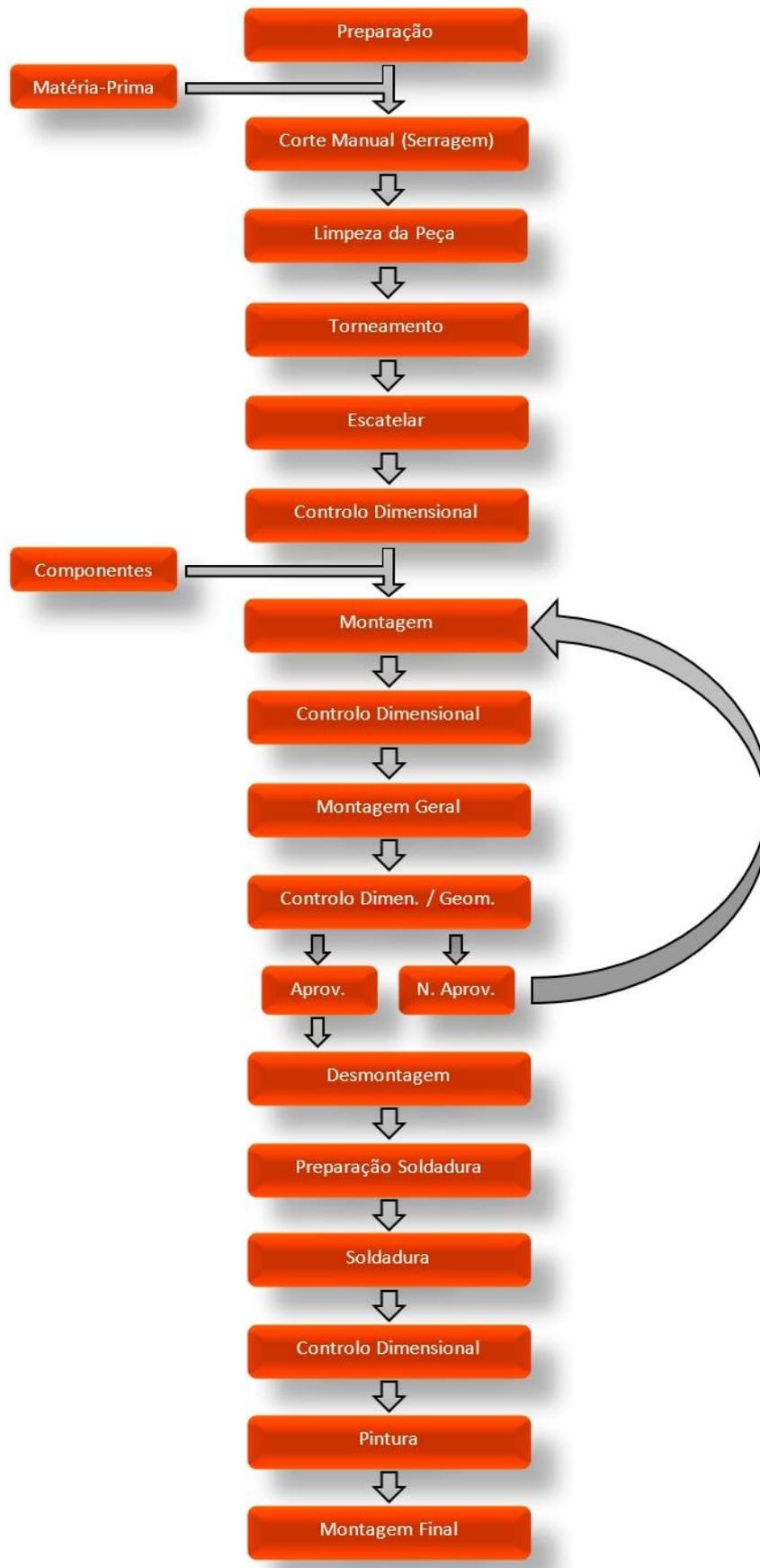


Figura 37 – Fluxograma do processo de produção dos veios das pás

No caso do controlo dimensional e geométrico do registo não ser aprovado, é feita nova montagem do conjunto constituído pelo veio, pá e fecho das mesmas, corrigindo o necessário para que o conjunto geral do registo fique a funcionar de acordo com o projetado.

Assim, após o controlo dimensional e geométrico ser aprovado, é feita a desmontagem dos conjuntos dos veios, pás e fechos das mesmas da estrutura do conjunto geral do registo, por forma a efetuar a soldadura definitiva do veio, pás e fecho de pás. É feita a limpeza das zonas que irão ser soldadas e de seguida é realizada a soldadura. Concluída a soldadura, é feito novo controlo dimensional, verificando possíveis empenos provocados pela soldadura e efetuando uma inspeção visual à soldadura.

Posteriormente, e tal como referido no fluxograma anterior, as peças vão para a pintura seguindo o mesmo processo do fluxograma anterior.

– Processo de produção dos centros das bielas

Relativamente ao fluxograma que se encontra abaixo, referente ao processo de produção dos centros das bielas, não será abordado a etapa de preparação, uma vez que esta etapa é comum aos outros processos.

No que diz respeito à encomenda de matéria prima para a produção dos centros de bielas, esta é encomendada na forma de veios maciços, se possível com o diâmetro exterior pretendido para o projeto. Assim, os veios são cortados através do processo de corte manual, utilizando o método de serragem. De seguida, é feita a limpeza do veio maciço, de forma a remover possíveis rebarbas resultantes do corte.

Concluída a limpeza da peça, esta irá para o torno no qual será efetuado o processo de facejamento, o torneamento cilíndrico, se necessário, e o torneamento interior cilíndrico com as dimensões do veio das pás. Concluído o processo de torneamento, o veio vai para a máquina de escatelar de forma a efetuar o escatel.

De seguida, a peça é levada para a furadora para ser efetuado um furo na zona do escatel, sendo posteriormente aberta uma rosca no furo por forma a alojar um perno roscado para garantir que o centro da biela não se desloque longitudinalmente em relação ao veio das pás.

Nesta fase é efetuado um controlo dimensional por forma a verificar se as etapas anteriormente descritas foram efetuadas corretamente e está tudo de acordo com o projeto inicial. Assim, se tudo estiver correto, dá-se a montagem do conjunto completo do registo. É nesta fase que é montado o conjunto das bielas aos centros das mesmas através de pequenos “pingos” de solda. É feito novo controlo dimensional e geométrico, mas desta vez ao conjunto já montado.

Concluído o controlo dimensional e geométrico, é feita a desmontagem do conjunto, seguindo-se a preparação para o processo de soldadura, no qual é efetuada a limpeza das zonas que irão ser soldadas. Posteriormente, dá-se o processo de soldadura, seguido de novo controlo dimensional, e tal como no processo de produção dos veios das pás, são verificados possíveis empenos resultantes da soldadura e realizada uma inspeção visual à soldadura.

Finalizada a etapa anterior, tal como nos processos anteriormente explicados, seguem-se os processos de pintura e montagem final.

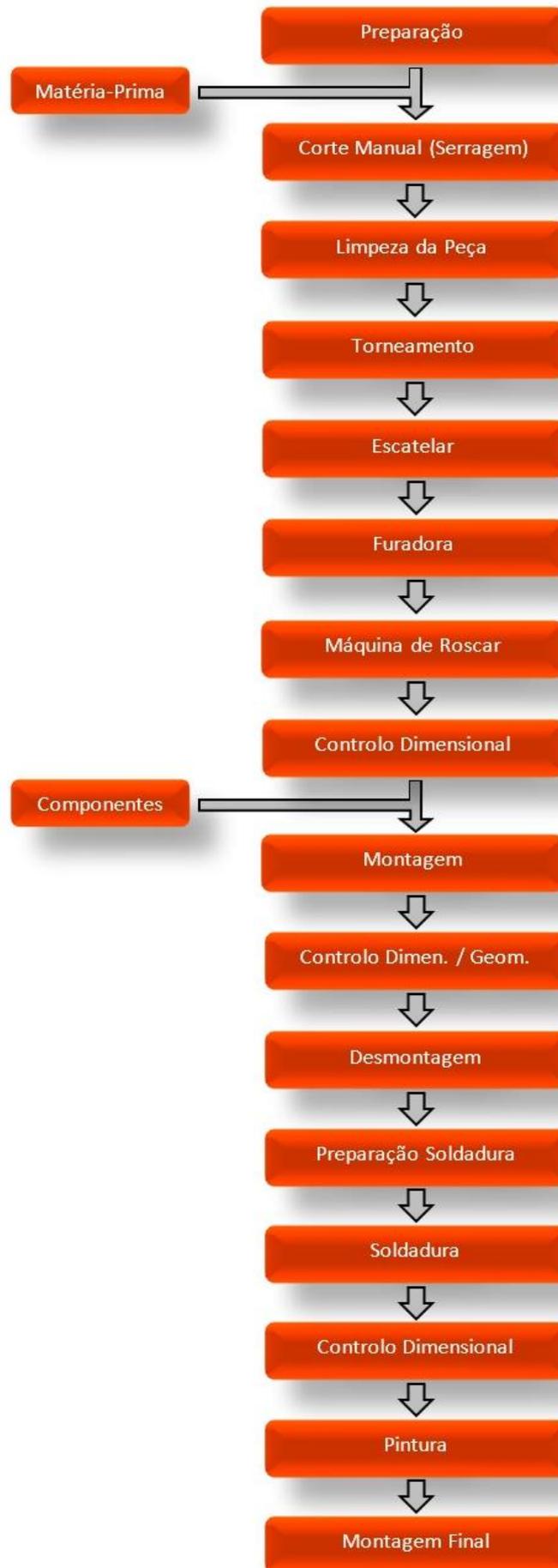


Figura 38 – Fluxograma do processo de produção dos centros das bielas

3.4 Identificação de constrangimentos do processo

Devido à abertura e cooperação da empresa no desenvolvimento deste projeto, foi possível fazer o acompanhamento e análise de todo o processo de perto, desde que a encomenda do cliente é rececionada, o respetivo trabalho por parte do departamento de projeto e o seguimento dado até à fase de produção, bem como de todos os processos envolvidos. Posto isto, foi possível estar presente durante a execução dos processos, bem como debater e questionar o porquê de certas tarefas associadas a cada processo.

Durante esta análise e mapeamento dos fluxogramas do processo de produção do registo, verificou-se que era recorrente a montagem e desmontagem dos componentes constituintes do registo, de forma a garantir que os conjuntos compostos pelo veio, pás e fechos das pás ficassem corretamente posicionados para posteriormente serem soldados.

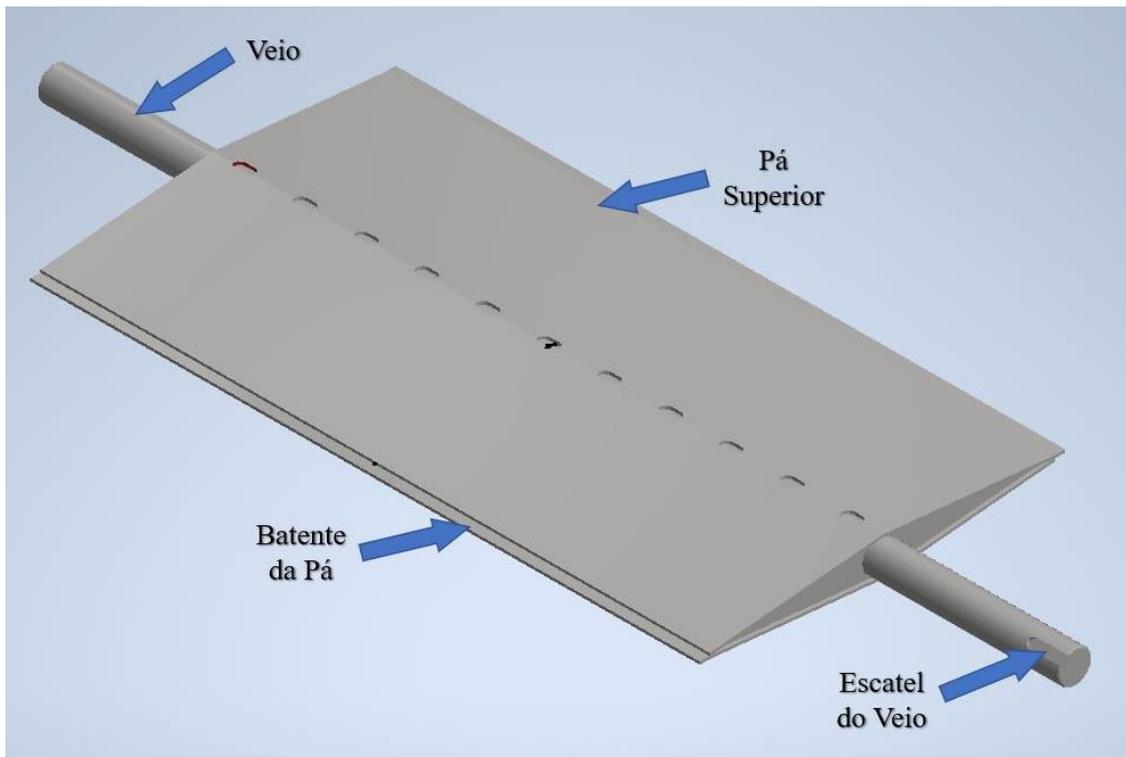


Figura 39 – Conjunto composto pelo veio, pás e fechos das pás

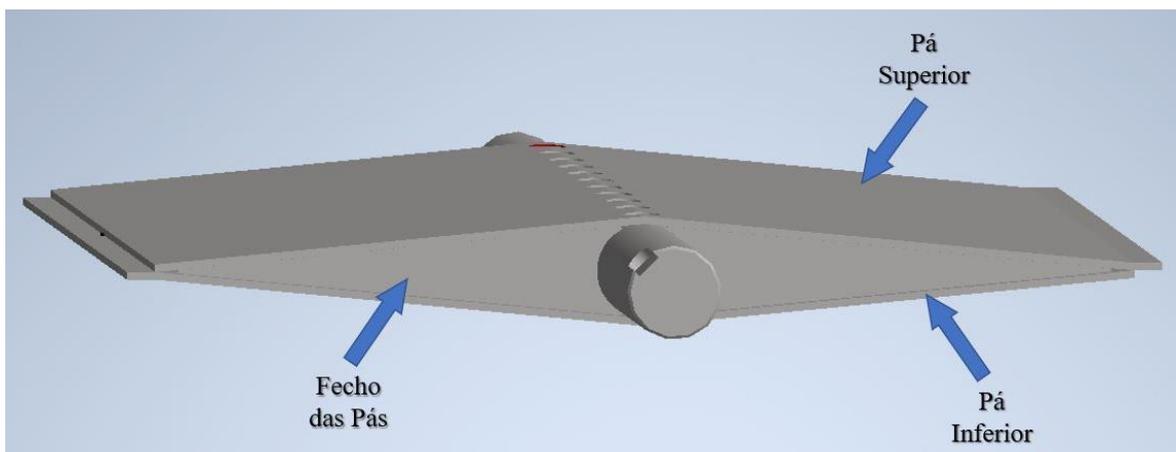


Figura 40 – Conjunto das pás e veio

Segundo informação, este processo era necessário, uma vez que é essencial garantir:

- o correto posicionamento das pás em relação à chaveta/escatel do veio (45 graus);
- a distância de posicionamento da extremidade do veio que contem o escatel ao início das pás, seja a definida no projeto e igual para todos os conjuntos dos veios das pás;
- que os extremos das pás que contêm os batentes das mesmas de cada conjunto sejam paralelos entre si.

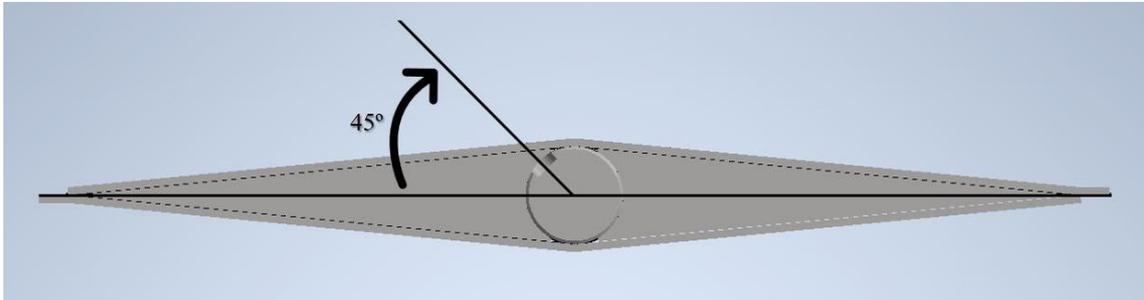


Figura 41 – Posicionamento das pás em relação ao escatel do veio

Por forma a ser possível garantir que todos estes aspetos estavam a ser cumpridos, era necessário:

- montar os veios das pás à estrutura do registo, antes das pás serem soldadas aos veios;
- após a montagem estar concluída, era possível definir o posicionamento correto para as pás, sendo aplicados pequenos “pingos” de solda para garantir que as pás não se deslocassem aquando da desmontagem do conjunto dos veios do conjunto da estrutura do registo;
- só após esse processo, era efetuada a soldadura das pás aos veios assim como os fechos das mesmas.

Como sugestão para a otimização do processo em estudo, será desenvolvido um protótipo de uma ferramenta, capaz de simular o correto posicionamento de cada peça do conjunto, nomeadamente veio, pás e fecho das pás, evitando as etapas de montagem e desmontagem do conjunto completo do registo e garantindo assim, que o mesmo esteja de acordo com as especificações pretendidas.

4 Proposta de otimização do processo de fabrico de um registo

Devido ao aparecimento de países como Turquia, China, Índia e República Checa no mercado da ventilação, este tornou-se extremamente competitivo e até inviável para muitas empresas europeias. Neste caso, a única forma das empresas se manterem competitivas passa pela capacidade de otimizar os seus processos, reduzindo significativamente o tempo de produção e consequentemente os custos associados.

Como tal, e por forma a contribuir para a otimização do processo de fabrico em estudo, durante o presente capítulo será apresentado por etapas, um protótipo de uma ferramenta capaz de simular o correto posicionamento de cada peça do conjunto das pás e veio, evitando as etapas de montagem e desmontagem do conjunto completo do registo e, garantindo assim, que o mesmo esteja de acordo com as especificações pretendidas, reduzindo o tempo de produção e consequentemente o custo associado ao mesmo.

4.1 Requisitos

Para o desenvolvimento desta ferramenta, considerou-se importante que esta seja capaz de se adaptar a diferentes dimensões dos conjuntos das pás e veios, uma vez que, tal como informado anteriormente, uma das principais características da empresa Curval Metalworks é o facto de produzir projetos à medida de cada cliente, ou seja, não standardizados.

Posto isto, tal como referido anteriormente, para o desenvolvimento da ferramenta foi disponibilizado um conjunto ilustrativo composto pelo veio, pás e fecho das pás, em formato *ipt* para utilização no programa Autodesk Inventor®. Este ficheiro serviu de base para o desenvolvimento do protótipo da ferramenta.

A fase inicial passou pela aprendizagem do funcionamento do programa Autodesk Inventor®, bem como das suas ferramentas. Posteriormente, procedeu-se à medição do conjunto fornecido pela empresa, nomeadamente o comprimento e raio do veio, assim como o comprimento e a largura das pás, como representado nas seguintes figuras:



Figura 42 – Comprimento do veio

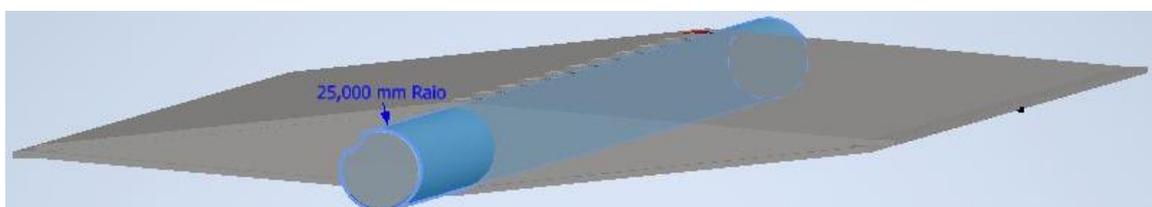


Figura 43 – Raio do veio

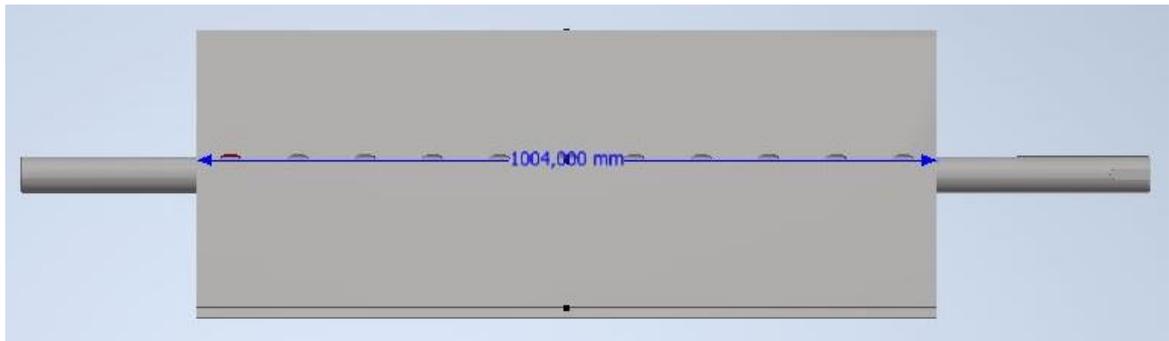


Figura 44 – Comprimento das pás

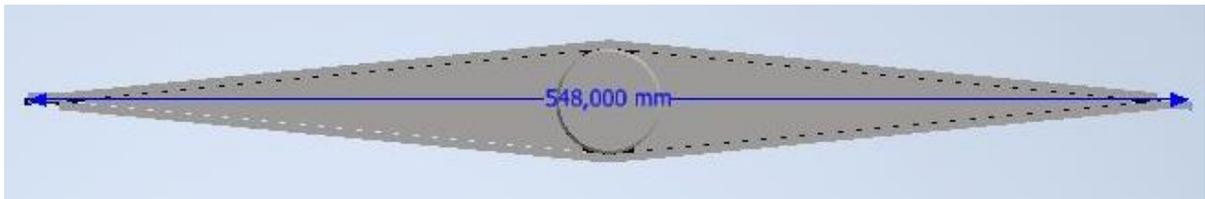


Figura 45 – Largura do conjunto das pás

4.2 Processo de desenvolvimento dos constituintes da ferramenta

Concluído o processo de medição, e tendo por base os resultados obtidos do mesmo, procedeu-se à elaboração da base da ferramenta. Uma vez que a ideia era ter uma ferramenta em que o veio ficasse na posição correta e fixo, e tendo em conta que os veios não teriam sempre as mesmas dimensões, a ideia passou por realizar uma ferramenta capaz de se adaptar a diferentes tipos de conjunto. No que diz respeito às pás, era necessário garantir que as extremidades que contêm os batentes das pás, fossem paralelas entre elas, assim como garantir a distância entre a extremidade do veio que contém o escatel e o início das pás.

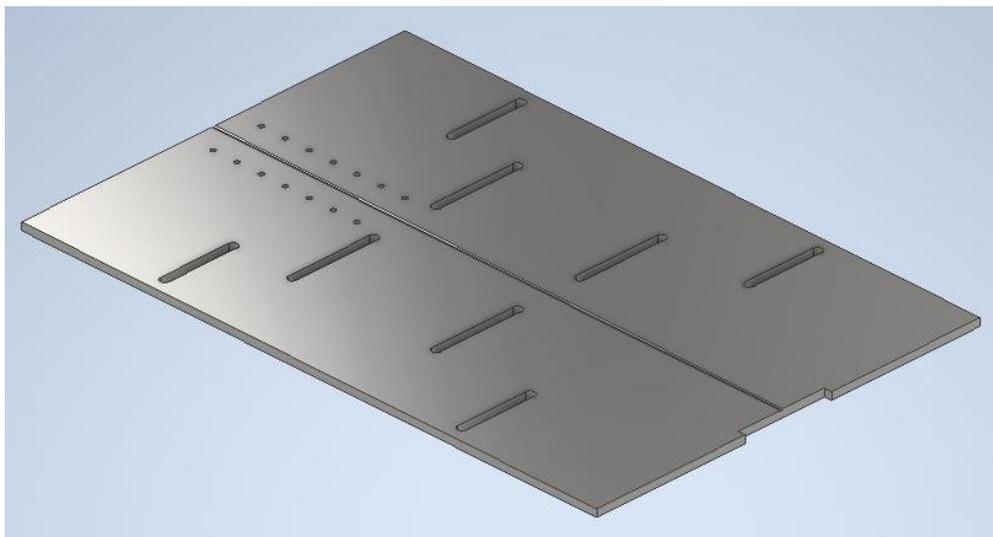


Figura 46 – Base da ferramenta

A base tem a dimensão de 1200 milímetros de comprimento, por 800 milímetros de largura e uma altura 15 milímetros. Relativamente ao contorno exterior, foi feita uma pequena reentrância de forma a ser posteriormente alojada a peça onde será fixada a extremidade do veio que contém o escatel. No que diz respeito à face superior, que se encontra representada na Figura 46, foi aberta uma ranhura com uma profundidade de 2 milímetros e uma largura de 7 milímetros, no centro da ferramenta ao longo do comprimento de toda a base. Esta ranhura tem como objetivo que a face inferior da pá inferior não contacte com a base da ferramenta.

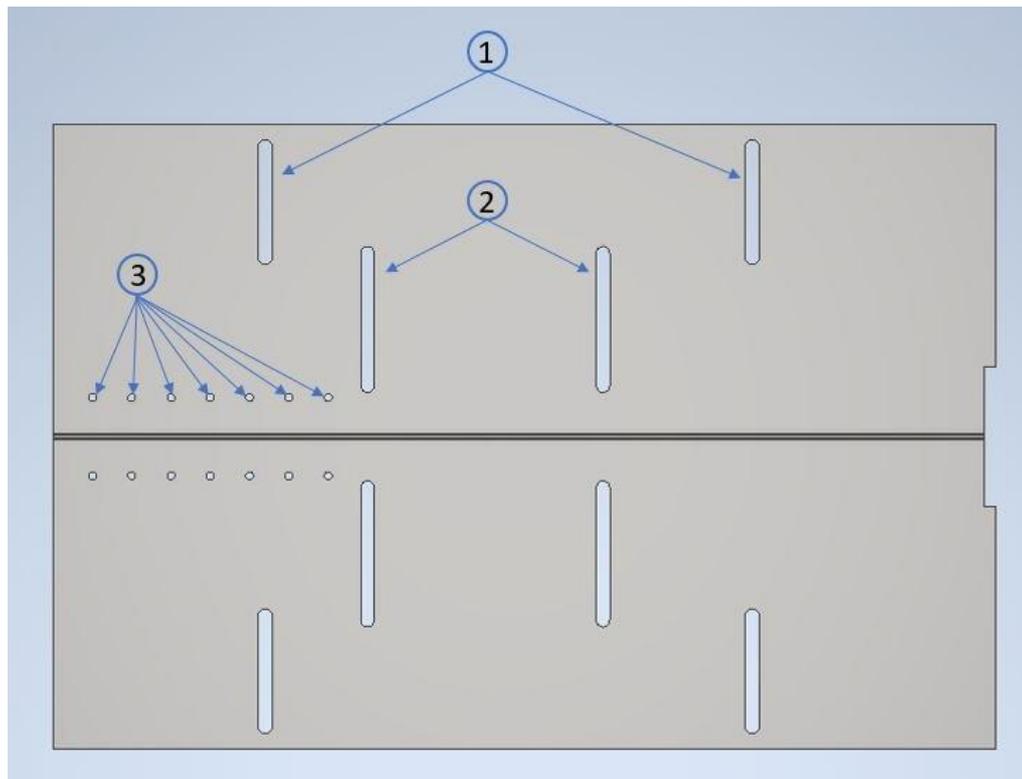


Figura 47 – Base da ferramenta vista superior

Uma vez que a base da ferramenta é simétrica em relação ao canal, apenas será explicado a origem dos furos e rasgos presentes na metade de cima da figura, que se encontram numerados de 1 a 3 para facilitar a sua identificação. No que diz respeito aos rasgos representados pelo número 1, estes têm um comprimento total de 160 milímetros e servirão para fixar o batente da pá lateral, tendo também o intuito de possibilitar a adaptação a diferentes dimensões das pás. Relativamente aos rasgos representados pelo número 2, estes servirão para fixar o apoio inferior da pá. Assim como no caso dos batentes laterais das pás, os apoios inferiores das pás também podem ser ajustados conforme seja necessário. Por fim, os furos roscados, representados pelo número 3, têm como finalidade fixar o aumento da base, que também pode ser ajustado, conforme o comprimento do veio em questão. Estes furos foram realizados através da ferramenta Furo do programa Inventor®, com as características representadas na Figura 48.

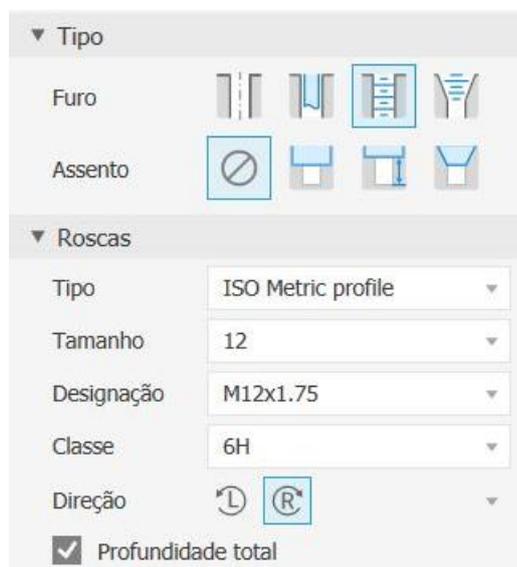


Figura 48 – Características dos furos roscados da base da ferramenta

Posteriormente foi realizado o pé para a base da ferramenta que será soldado à face inferior da base nos quatros cantos da mesma.

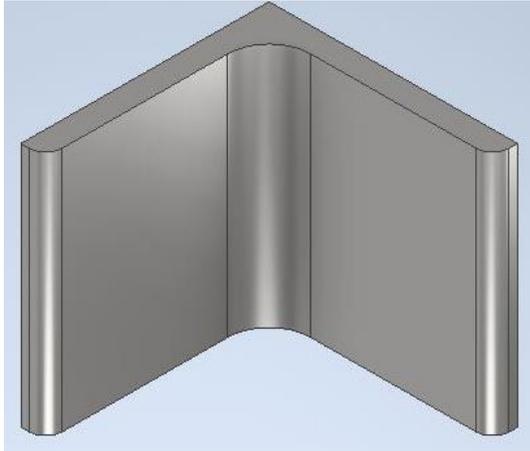


Figura 49 – Pé da base da ferramenta

Seguidamente, foi desenvolvido o fixador da base da ferramenta que irá ser soldado à face superior da base, em cada extremidade da zona da reentrância, por forma a fixar a guia do veio e o batente do veio.

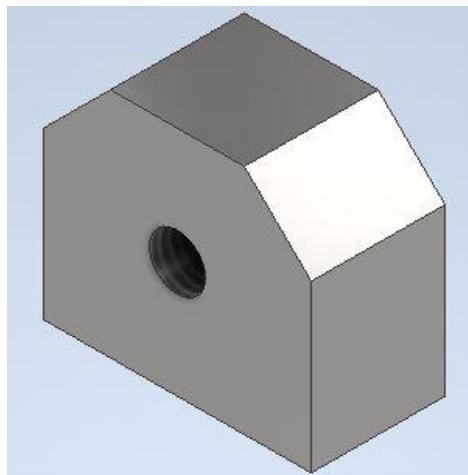


Figura 50 – Fixador da base da ferramenta

O fixador representado acima, possui um furo roscado passante, com as seguintes características:

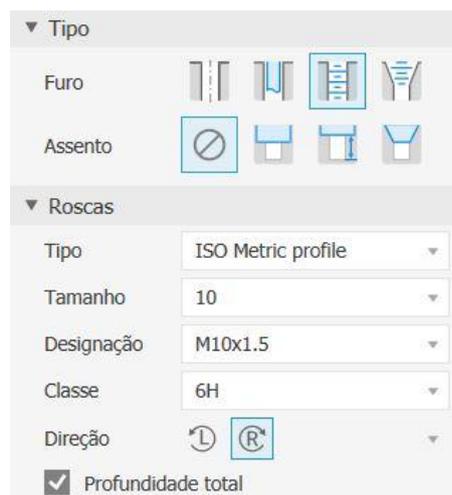


Figura 51 – Características do furo roscado do fixador da base da ferramenta

Por fim, e após efetuada a montagem das peças constituintes do conjunto da base da ferramenta, esta ficará com o aspeto da seguinte figura.

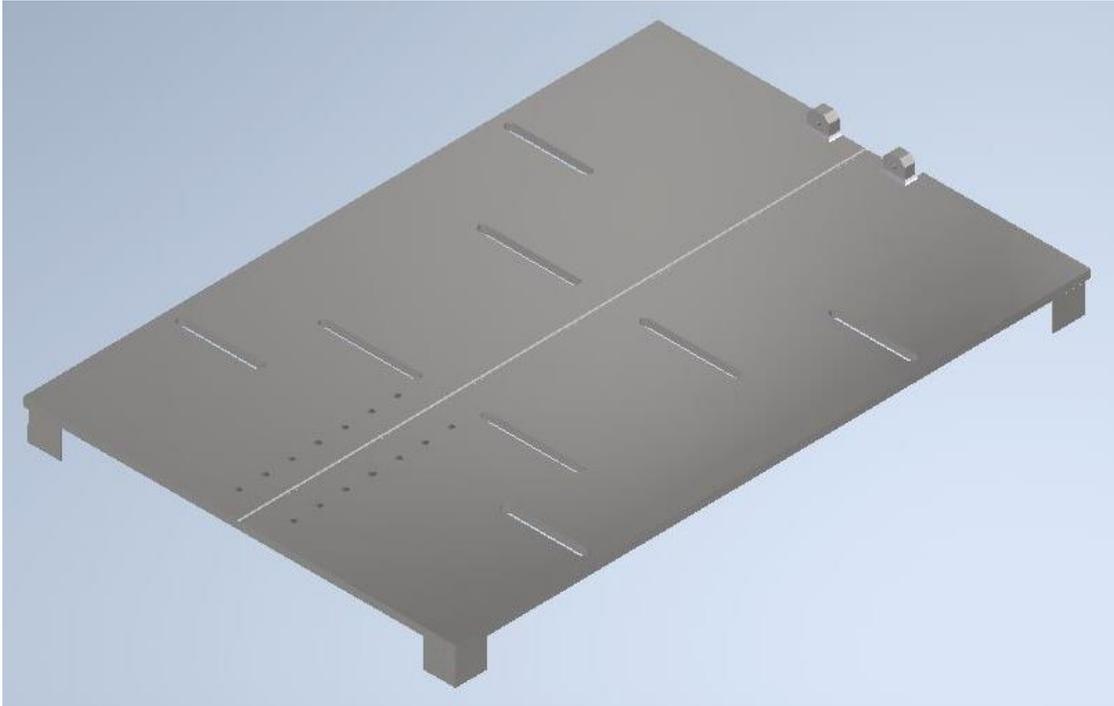


Figura 52 – Conjunto da base da ferramenta

No que diz respeito à soldadura dos pés da base da ferramenta, esta foi efetuada à volta de todo o pé, com as características representadas na Figura 53, e apresentando o aspeto ilustrado na Figura 54:

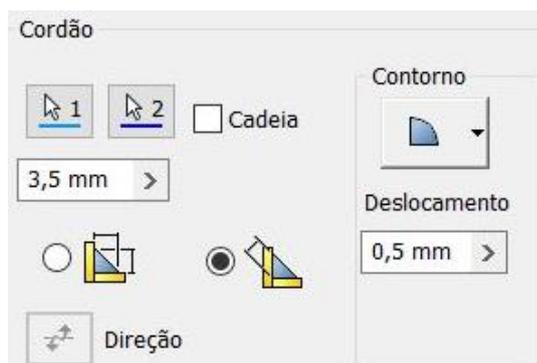


Figura 53 – Características do cordão de soldadura

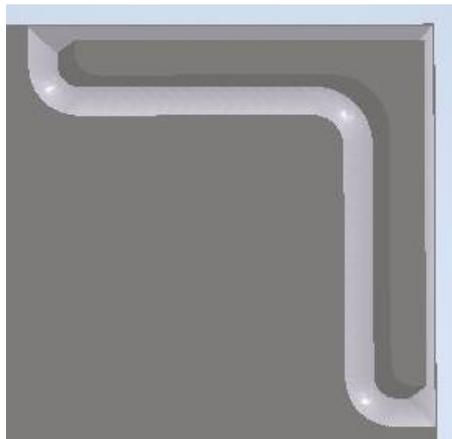


Figura 54 – Conjunto soldado: pé e base da ferramenta

Relativamente ao cordão de soldadura dos fixadores da base da ferramenta, estes apresentam as mesmas características do cordão de soldadura dos pés da base. A soldadura foi efetuada nas três faces do fixador, conforme ilustrado na Figura 55.

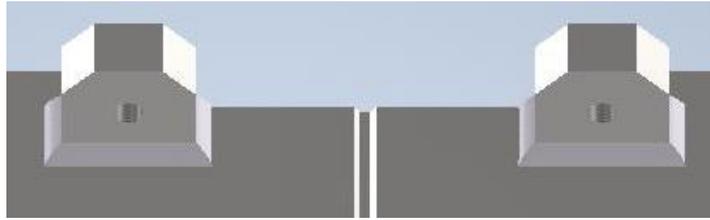


Figura 55 – Conjunto soldado: fixadores e base da ferramenta

Concluído o conjunto da base da ferramenta, iniciou-se o desenvolvimento do aumento da base, que irá ser montado na extremidade que contém os furos roscados. Este aumento, tem um comprimento de 620 milímetros de forma a ser possível ajustar o comprimento total da ferramenta, ao veio em questão.

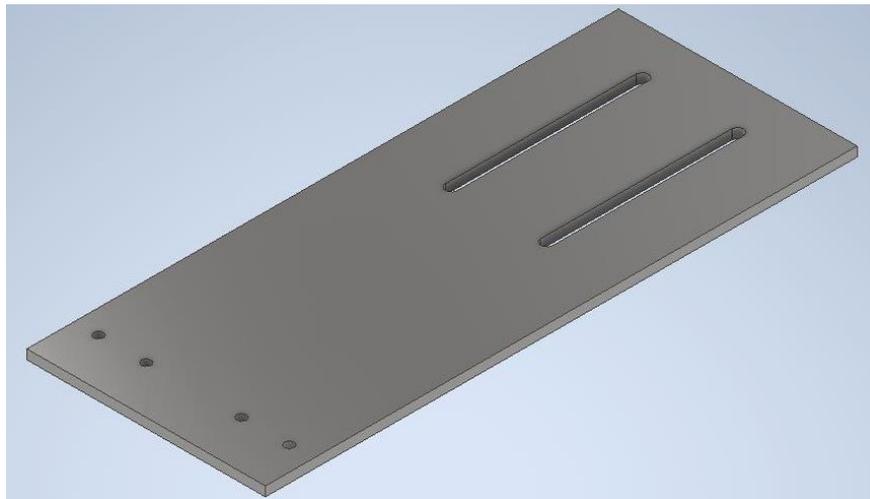


Figura 56 – Aumento da base da ferramenta

No que diz respeito às características desta peça, conforme pode ser observado na Figura 56, os dois rasgos servirão para ajustar o comprimento total da ferramenta em conformidade com o veio do conjunto das pás e veio. Relativamente aos quatro furos roscados, passantes da extremidade esquerda da peça, servirão para receber as guias do veio. Os furos roscados apresentam as seguintes características:

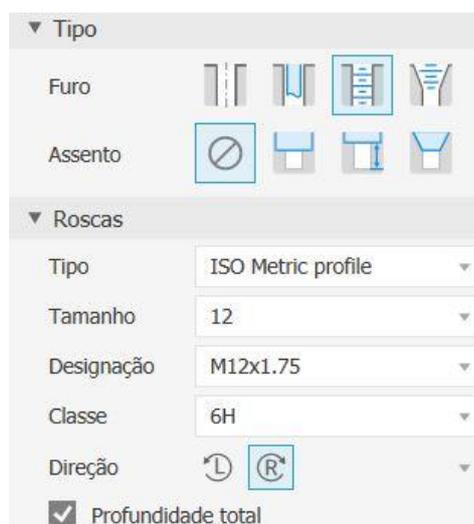


Figura 57 – Características dos furos roscados do aumento da base da ferramenta

Posteriormente, foi realizada a guia do veio que será fixada aos furos roscados do aumento da base da ferramenta. Uma vez que o diâmetro do veio é de 50 milímetros, seria importante que a altura da guia do veio fosse superior ao diâmetro do veio, de forma a limitar a movimentação do mesmo. Assim, e uma vez que poderá ser utilizado um veio com um diâmetro maior, a altura definida para a guia do veio foi de 100 milímetros.

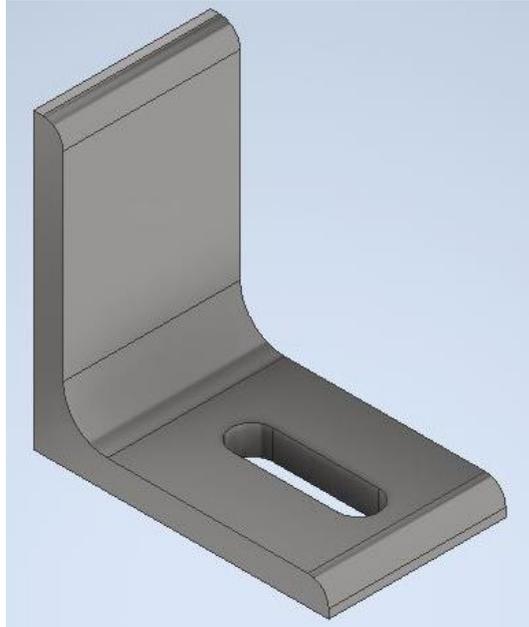


Figura 58 – Guia do veio

Tal como no aumento da ferramenta, foi efetuado um rasgo com um comprimento total de 50 milímetros por forma a ajustar a guia do veio aos diferentes diâmetros dos veios. Irão ser utilizadas duas guias dos veios, uma de cada lado.

Após concluída a etapa anterior, foi desenvolvido o posicionador do veio que terá a espessura e o comprimento da reentrância da base da ferramenta, para que o mesmo encaixe na reentrância.

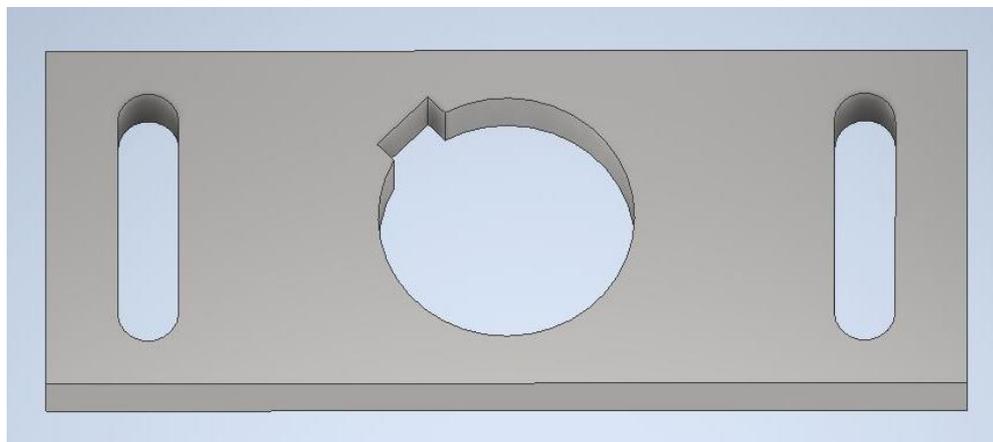


Figura 59 – Posicionador do veio

Esta peça foi desenvolvida em separado da base, uma vez que se o diâmetro do veio variar, apenas será necessário fazer outro posicionador do veio de acordo com as dimensões do veio em questão. Foi aberto um furo com o diâmetro do veio e o espaço para receber a respetiva chaveta, para garantir que o veio não rode sobre ele mesmo. Foram também abertos dois rasgos, um de cada lado, por onde passará o parafuso que irá fixar a peça à base da ferramenta.

Concluída a peça anterior, apenas era necessário desenvolver um batente para o veio, com o objetivo de limitar o movimento longitudinal do mesmo.



Figura 60 – Batente do veio

À semelhança do posicionador do veio, o batente do veio possui dois rasgos, um de cada lado, por onde passará o parafuso que irá fixar tanto o posicionador do veio, como também o batente do veio à base da ferramenta.

Uma vez limitada a movimentação do veio, será importante limitar a movimentação das pás. Assim, foram desenvolvidas duas peças que servirão de batentes laterais para as pás. Considerando que as duas são simétricas, apenas será apresentado uma delas.

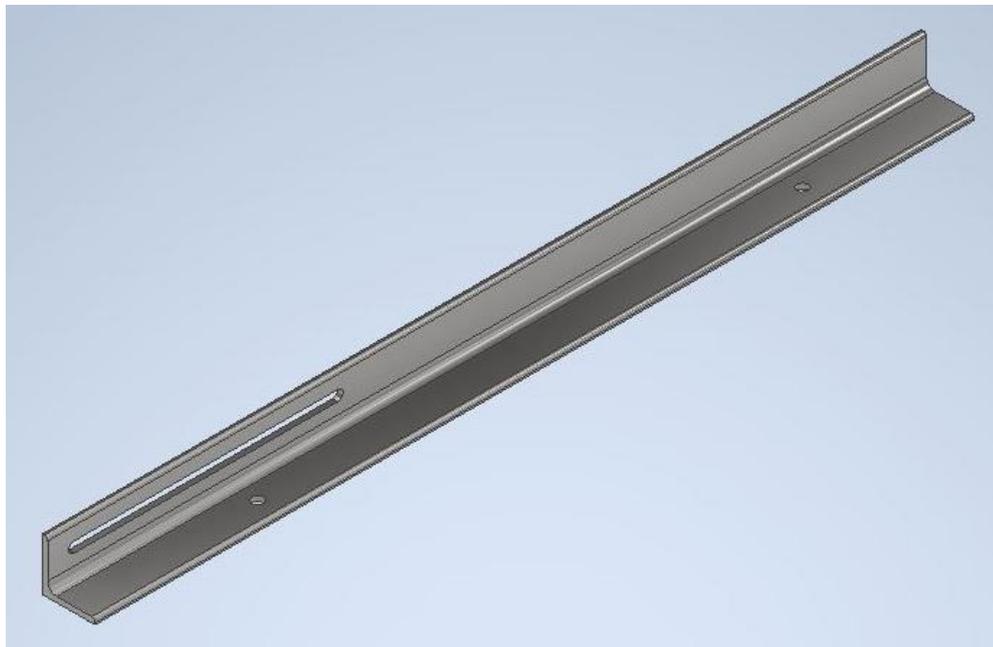


Figura 61 – Batente lateral direito da pá

Este batente, possui na sua base dois furos que estarão alinhados com os rasgos da base representados acima, na Figura 47, com o número 1, onde será fixado ao conjunto da base da ferramenta. Relativamente à face vertical do batente, esta possui um rasgo com um comprimento de 312 milímetros, no qual será ajustado e posteriormente fixado o batente de topo da pá.

Uma vez que o conjunto composto pelas pás e veio não se encontram soldados, é importante garantir que a pá inferior não se desloque por efeito da gravidade. Assim, e para garantir que o mesmo não aconteça, foram desenvolvidas duas peças que servirão de apoio inferior da pá. Novamente, dado que as duas peças são simétricas, só será apresentada uma delas.

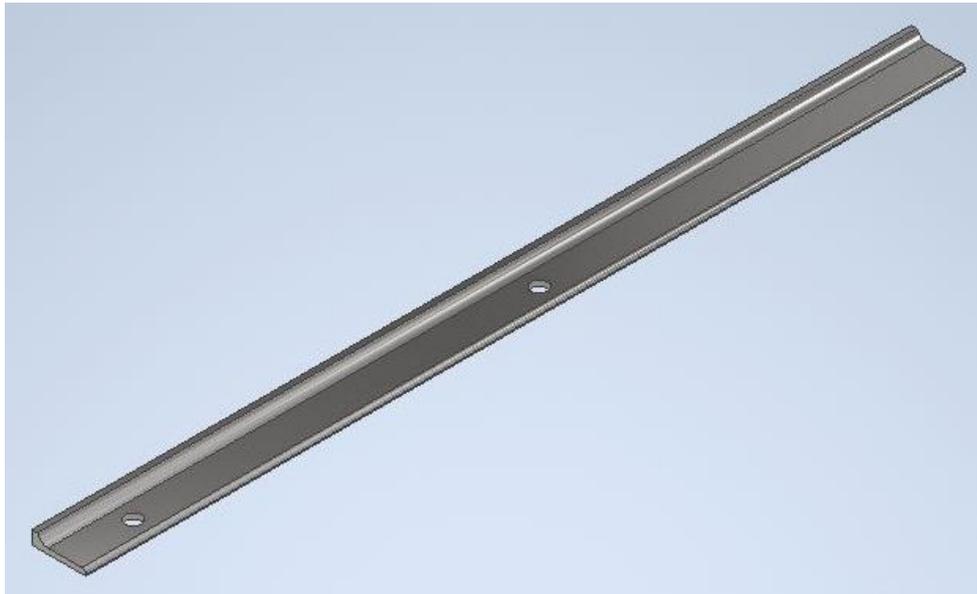


Figura 62 – Apoio inferior direito da pá

Esta peça, possui na sua base dois furos que estarão alinhados com os rasgos da base representados acima, na Figura 47, com o número 2 onde será ajustado de forma à face superior da peça sustentar a pá inferior e fixado ao conjunto da base da ferramenta.

Para finalizar, apenas eram necessários dois batentes para a pá, por forma a garantir a distância entre a extremidade do veio que contém o escatel e o início da pá. Assim, foi desenvolvido o batente de topo, que irá ser acoplado ao batente lateral.

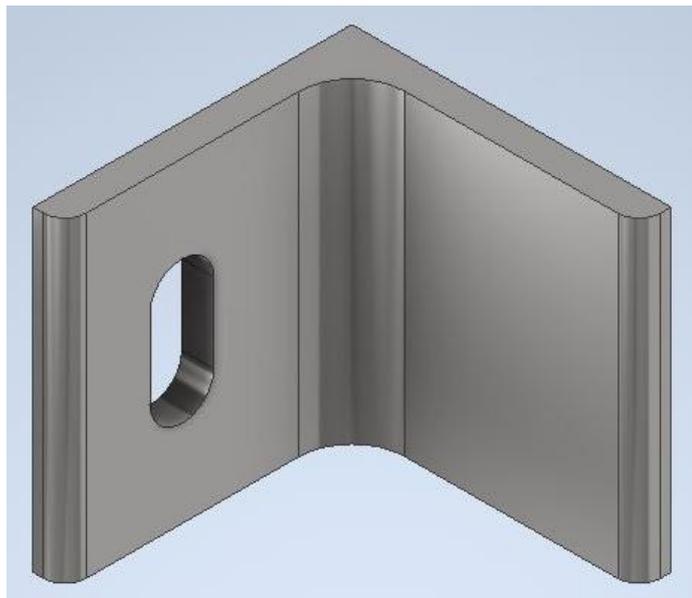


Figura 63 – Batente de topo da pá

Este batente, tem a mesma altura que os batentes laterais e, para além de garantir a distância correta entre a extremidade do veio e o início das pás, permite assegurar que a extremidade lateral da pá esteja perpendicular ao topo da mesma.

4.3 Processo de montagem da ferramenta

Concluído o desenvolvimento de todas as peças pertencentes ao conjunto da ferramenta, era necessário efetuar o processo de montagem. Assim, utilizando a ferramenta de montagem do programa Inventor®, deu-se início a este processo.

Começou-se por abrir a base da ferramenta e o respetivo aumento para que fosse possível estabelecer as respetivas relações. Assim, foi definido que a face inferior da base da ferramenta teria que ser coincidente com a face superior do aumento da base. De seguida, estabeleceu-se a relação de concentricidade entre o centro do furo roscado mais próximo da extremidade da base da ferramenta e a extremidade do rasgo do aumento da base. Para concluir o processo de montagem do aumento da ferramenta, apenas foi necessário definir o paralelismo entre a face vertical da extremidade da base da ferramenta e a face vertical da extremidade do aumento da ferramenta.

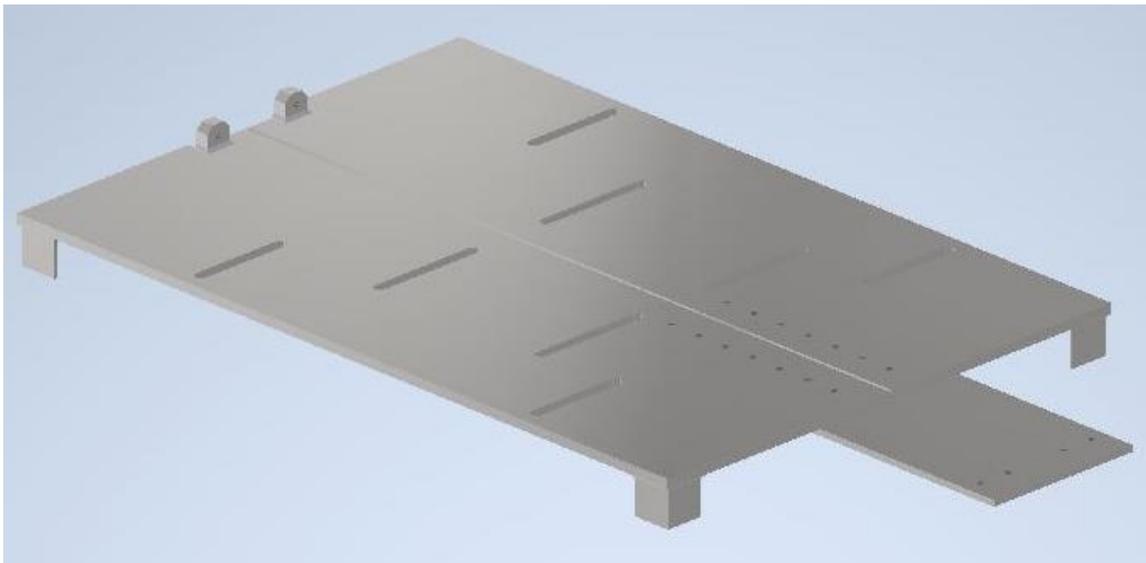


Figura 64 – Montagem do aumento da ferramenta

De seguida procedeu-se à montagem das duas guias do veio. Para tal, foi necessário estabelecer que ambas as faces inferiores das guias teriam de ser coincidentes com a face superior do aumento da ferramenta. Posteriormente, foi definido o distanciamento entre as faces verticais das guias, por onde o veio deveria passar. Neste caso, uma vez que o diâmetro do veio é de 50 milímetros, a distância definida entre as duas guias também será de 50 milímetros. Uma vez que esta relação não limitaria as guias de se deslocarem em conjunto segundo a direção perpendicular ao centro por onde o veio irá passar, foi necessário definir o alinhamento entre a face lateral do aumento da ferramenta e a face lateral de uma das guias.

Para concluir o posicionamento das guias, apenas era necessário estabelecer mais uma relação. Uma vez que os centros dos furos roscados distam 50 milímetros da extremidade da face do aumento e que o centro do rasgo da guia dista 30 milímetros da extremidade da face da guia, era necessário estabelecer o alinhamento entre essas duas faces com uma distância de 20 milímetros entre elas. Assim, concluídas as relações acima especificadas, o resultado obtido será demonstrado na Figura 65.

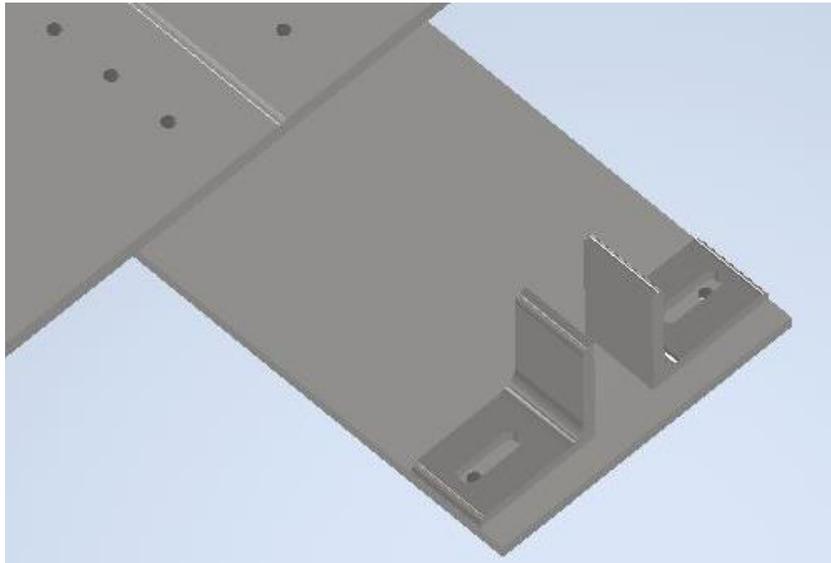


Figura 65 – Montagem das guias do veio

Uma vez concluída a montagem das guias, seguiu-se a montagem do posicionador do veio. Para tal, foi necessário estabelecer a coincidência da face lateral do posicionador do veio e a face lateral da reentrância da base da ferramenta, assim como a coincidência entre a face posterior do posicionador e a face anterior da reentrância da base da ferramenta. Seguidamente, foi adicionado o conjunto das pás e veio à montagem final, definida a tangência entre a extremidade inferior da superfície da face da pá inferior e a face superior da base da ferramenta. Posteriormente, recorrendo à ferramenta inserir do Inventor® foi estabelecida a relação entre o veio e o posicionador do mesmo. Uma vez que era necessário garantir que o escatel fizesse um ângulo de 45 graus com a pá, e, dado que a reta que passa pelo centro do furo e pelo centro do escatel do posicionador do veio faz 45 graus com o plano que contém a face lateral do posicionador do veio, era importante definir a relação de 180 graus entre essa mesma face lateral do posicionador e a face lateral da reentrância da base da ferramenta, para garantir e confirmar o correto posicionamento do posicionador.

Concluída a correta montagem do posicionador do veio, era necessário estabelecer uma relação de alinhamento entre a face do escatel, paralela à reta que passa pelo centro do veio e pelo centro do escatel, correspondente ao posicionador e a mesma face do escatel, mas correspondente ao veio.

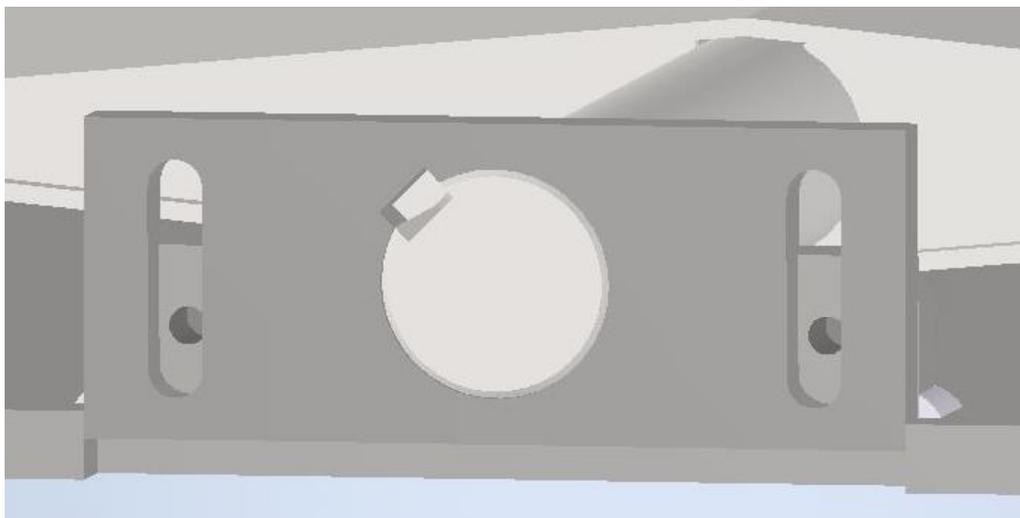


Figura 66 – Montagem do posicionador do veio juntamente com o conjunto do veio

Posteriormente, foi adicionado à montagem final o batente do veio e estabelecidas as relações de coincidência entre a face anterior do posicionador e a face posterior do batente do veio, assim como a coincidência entre a face correspondente à extremidade do veio e a face posterior do batente do veio. De seguida, procedeu-se à centragem do batente do veio em relação ao posicionador do mesmo, estabelecendo-se uma relação de alinhamento entre a face superior do posicionador e a face superior do batente, assim como a relação de distanciamento entre a face lateral do posicionador e a face lateral do batente.

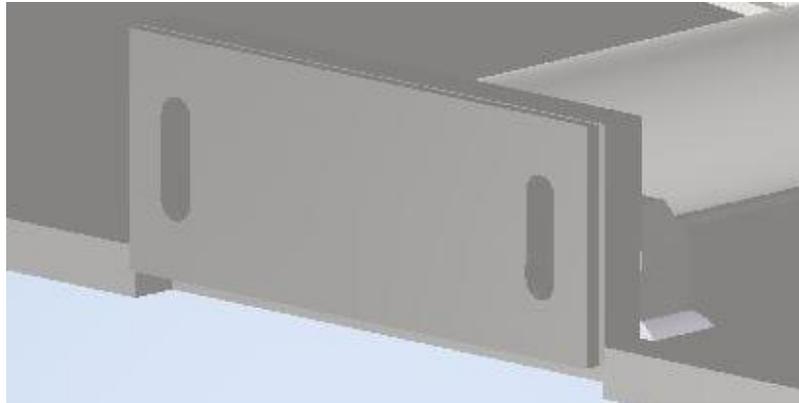


Figura 67 – Montagem do batente do veio

Terminada a montagem da ferramenta no que diz respeito aos topos da mesma, foi necessário montar as peças que se irão alojar nas laterais da base da ferramenta. Uma vez que existe uma simetria entre elas em relação ao centro do veio, apenas será especificada a montagem dos componentes de um dos lados.

Assim, foi adicionado à montagem final o batente lateral e estabelecidas as respetivas relações, nomeadamente a face inferior do batente ser coincidente com a face superior da base da ferramenta, centrar o respetivo batente, em relação à base da ferramenta e, por fim, a coincidência entre a face vertical do batente lateral e a extremidade lateral da pá.

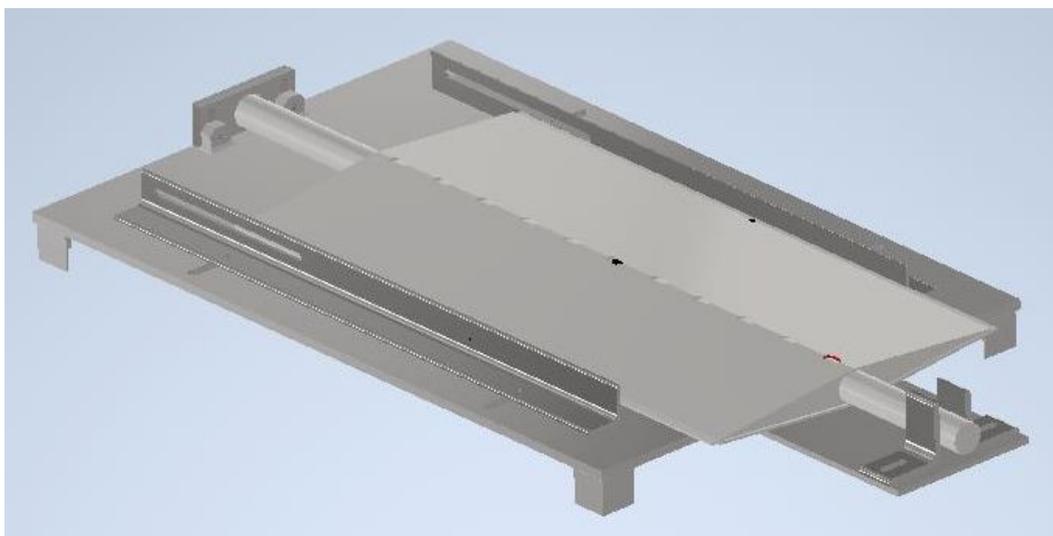


Figura 68 – Montagem dos batentes laterais

Posteriormente efetuou-se a montagem do apoio inferior da pá, sendo que para tal, foi necessário estabelecer as relações de coincidência entre a face inferior do apoio e a face superior da base da ferramenta, assim como a coincidência entre a aresta pertencente à face vertical do apoio e à face superior do apoio, bem como a face inferior da pá. Para finalizar o posicionamento do apoio inferior, apenas foi necessário estabelecer o alinhamento entre a face de topo do lado do aumento da ferramenta e a mesma face do apoio inferior da pá.

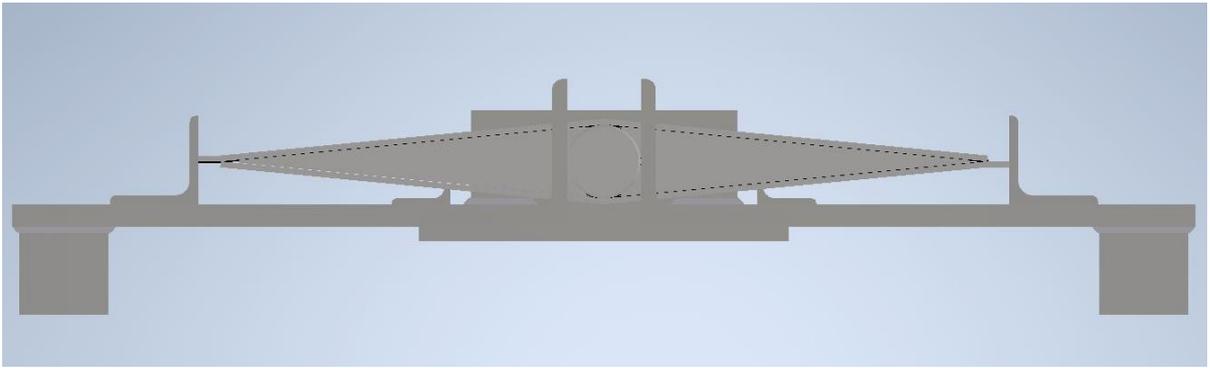


Figura 69 – Montagem dos apoios inferiores da pá

Para finalizar a montagem da ferramenta, seria necessário acrescentar os batentes de topo e estabelecer as suas relações. Assim, após adicionar os batentes, procedeu-se à criação das relações, nomeadamente a coincidência da face vertical do batente lateral com a face vertical do batente de topo que contém o rasgo, a coincidência entre a face superior da base da ferramenta e a face inferior do batente de topo e a coincidência entre a face posterior do batente de topo e a face anterior da pá.

Concluído o processo de montagem, o resultado final é o representado nas figuras seguintes, visto de diferentes ângulos.

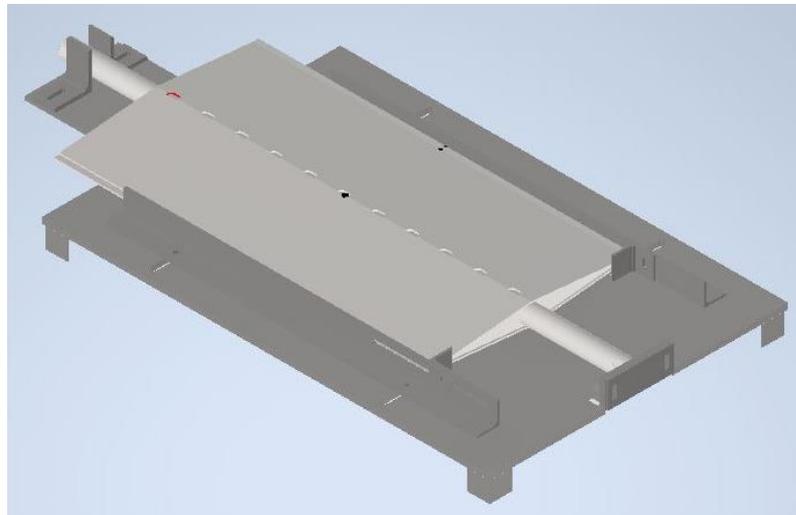


Figura 70 – Protótipo final da ferramenta (perspetiva 1)

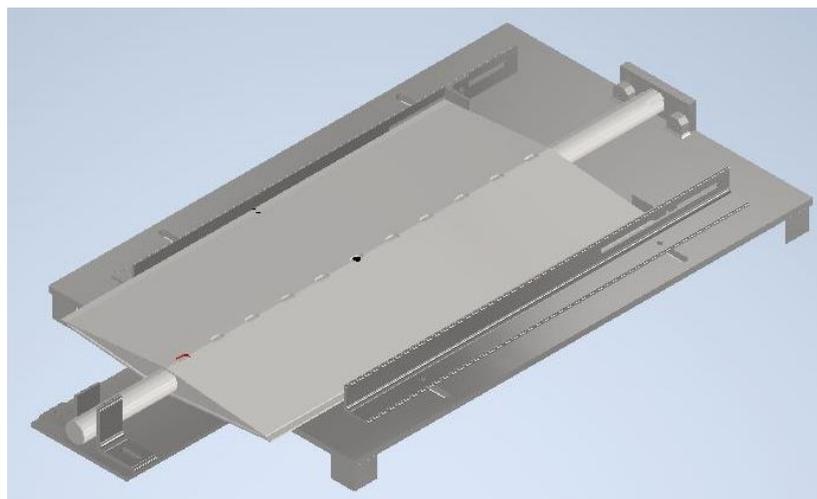


Figura 71 – Protótipo final da ferramenta (perspetiva 2)

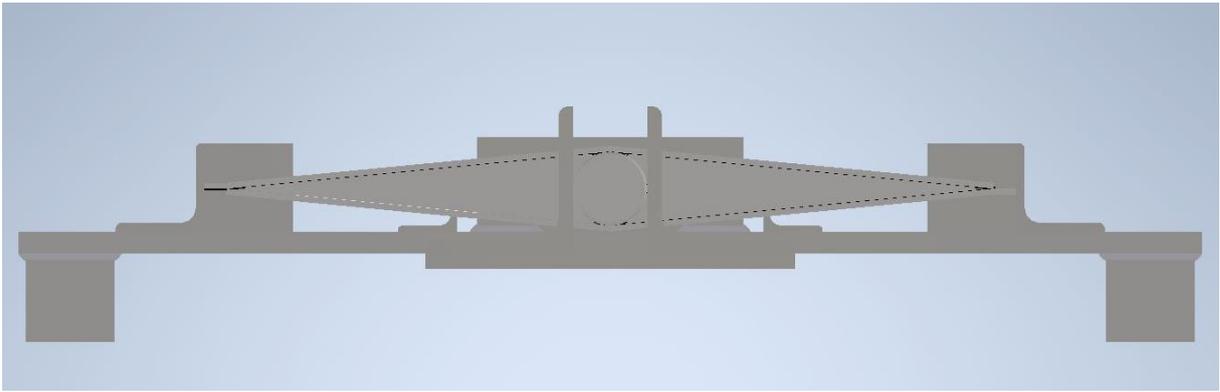


Figura 72 – Protótipo final da ferramenta (perspetiva 3)

De forma a clarificar o posicionamento de todos os componentes constituintes da ferramenta, foi retirado o conjunto das pás e veio, sendo representado o resultado na Figura 73.

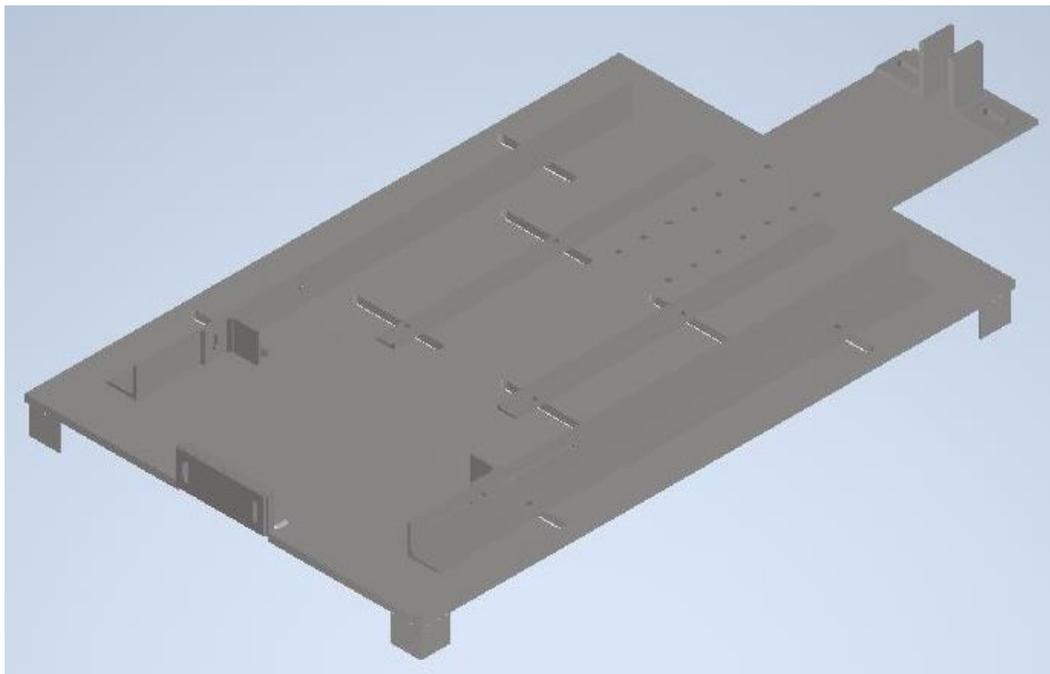


Figura 73 – Protótipo final da ferramenta sem o conjunto das pás e veio

Esta ferramenta possui a capacidade de se adaptar a diferentes dimensões do conjunto pás e veio sendo que para tal, variando o diâmetro do veio, apenas será necessário substituir o posicionador do veio por um com o diâmetro de acordo com o veio em questão, e ajustar o aumento da base da ferramenta, assim como as guias do veio. Variando as dimensões das pás, basta ajustar os batentes laterais, os apoios inferiores e os batentes de topo.

Nos anexos apresentar-se-á o desenho técnico do protótipo da ferramenta com os respetivos detalhes e cotas.

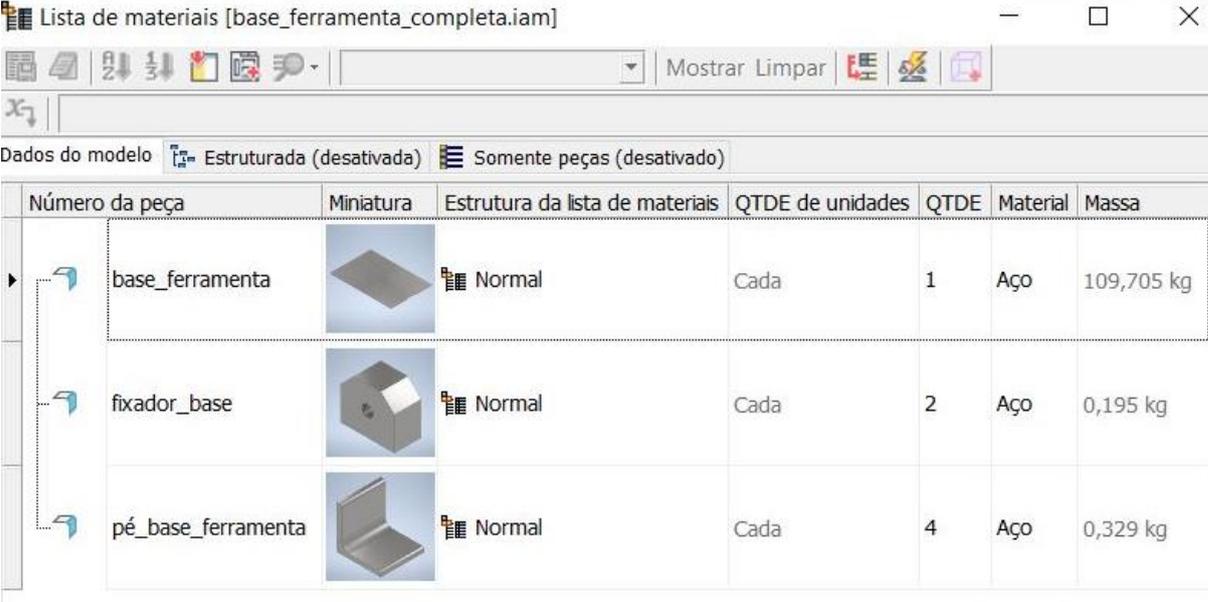
4.4 Especificações dos constituintes da ferramenta

Terminado o processo de montagem do conjunto da ferramenta, foi efetuado o processo de verificação das especificações dos constituintes da mesma. Assim, e recorrendo às capacidades do programa Inventor®, utilizando a ferramenta das listagens de materiais, e acrescentando às tabelas os campos do material e da massa, deu-se início à respetiva verificação das especificações.

Uma vez que ao serem criadas as peças constituintes do protótipo da ferramenta, o programa permite definir qual o material a utilizar, foi então, durante a fase de desenvolvimento de cada peça, estabelecido que o material a ser utilizado seria o aço (S 355) com um acabamento polido. A escolha deste material surgiu pelo seu limite elástico ser suficiente para suportar a carga dos conjuntos das pás, pois estas apenas geram carga de pressão, bem como devido ao baixo custo deste material. Desta forma, e recorrendo às capacidades do programa, foi possível determinar a massa de cada constituinte da ferramenta, para posteriormente se efetuar o cálculo estimativo do valor do protótipo da ferramenta desenvolvida.

Dado que o conjunto da base da ferramenta é constituída pela base em si, por quatro pés e por dois fixadores, sendo os pés e os fixadores soldados à base, conforme aprofundado no subcapítulo 4.2, então o conjunto teria um peso equivalente à soma de todos os constituintes do conjunto, mais o peso correspondente ao processo de soldadura dos quatro pés e dos dois fixadores.

Na Figura 74, pode verificar-se qual o material selecionado para os diferentes constituintes, bem como as respetivas massas, correspondentes a cada constituinte do conjunto da base da ferramenta.



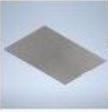
Número da peça	Miniatura	Estrutura da lista de materiais	QTDE de unidades	QTDE	Material	Massa
base_ferramenta		Normal	Cada	1	Aço	109,705 kg
fixador_base		Normal	Cada	2	Aço	0,195 kg
pé_base_ferramenta		Normal	Cada	4	Aço	0,329 kg

Figura 74 – Lista de materiais e suas características do conjunto da base da ferramenta

De seguida, e por forma a determinar qual a massa total do conjunto final da ferramenta, recorreu-se à lista de materiais do mesmo, conforme pode ser observado na Figura 75, sendo apenas necessário somar o valor das massas de cada constituinte para posteriormente ser calculado o valor da massa total do conjunto e assim, estimar o preço final do protótipo desenvolvido.

Número da peça	Miniatura	Estrutura da lista de materiais	QTDE de unidades	QTDE	Material	Massa
base_ferramenta_completa		Inseparável	Cada	1	Welded Aluminum-6061	111,458 kg
aumento		Normal	Cada	1	Aço	11,731 kg
guia_veio		Normal	Cada	2	Aço	0,856 kg
posicionador_veio		Normal	Cada	1	Aço	1,105 kg
apoio_pá_inferior_esquerda		Normal	Cada	1	Aço	0,991 kg
batente_pá_lateral_esquerda		Normal	Cada	1	Aço	5,297 kg
batente_pá_topo		Normal	Cada	2	Aço	0,315 kg
batente_pá_lateral_direita		Normal	Cada	1	Aço	5,297 kg
apoio_pá_inferior_direita		Normal	Cada	1	Aço	0,991 kg
batente_veio1		Normal	Cada	1	Aço	0,455 kg

Figura 75 – Lista de materiais e suas características do conjunto final da ferramenta

Para concluir, o conjunto final da ferramenta terá um peso total de cerca de 140 kg. Uma vez que se estima um desperdício de cerca de 30% da matéria prima, será necessário cerca de 180 kg de aço para construir a ferramenta. O aço correntemente apresenta um custo de cerca de 1 €/kg, perfazendo um valor a rondar os 180 € para matéria prima.

Uma vez que a empresa apresenta uma taxa de produção de cerca de 4 kg por hora, estima-se que levaria cerca de 35 horas para produzir o protótipo desenvolvido. O custo de produção é cerca de 40 € por hora, representando um custo de mão de obra de cerca de 1400 €.

Em suma, pode-se considerar que o custo total estimado para a elaboração da ferramenta será de 1580 €.

4.5 Estimativa de redução de custos

Concluído o desenvolvimento do protótipo em Inventor®, procedeu-se à apresentação do mesmo à empresa, fazendo ênfase às suas características, à sua polivalência relativamente à adaptabilidade a diversos tamanhos do conjunto da pá, bem como à simplicidade de utilização.

Após apresentação e análise da ferramenta, tendo como base a sua experiência e histórico de produção, a empresa previu um tempo útil de vida da ferramenta de cerca de 10 anos. Considerando que a empresa produz aproximadamente 30 registos por ano, pode-se concluir que cada ferramenta será utilizada na produção de aproximadamente 300 registos.

No que diz respeito aos tempos de produção, atualmente a produção de um registo leva em média cerca de 250 horas, sendo que o processo de montagem e desmontagem da estrutura do registo é efetuada por dois colaboradores, levando esse mesmo processo cerca de 40 horas. Dado que existem vários tipos de registos, dependendo do número do conjunto de pás que o mesmo tenha, os tempos variam. Assim, de acordo com a empresa, estima-se um gasto de cerca de 4 a 5 horas por conjunto de pá.

Tabela 5 – Otimização de tempos de produção do registo

Tempo médio total atual por produção de registo	Número de colaboradores por registo (montagem e desmontagem)	Tempo atual de montagem e desmontagem	Tempo médio estimado com recurso à ferramenta	Otimização do tempo de montagem por registo
250h	2	40h	5h	35h

Deste modo, a empresa estimou que com a utilização da ferramenta desenvolvida, esta potenciará uma redução de cerca de 35 horas e, dado que a empresa apresenta um custo standard de 40 € por hora, representará uma otimização de cerca de 1.400 € por registo. Dado o tempo útil de vida da ferramenta, a poupança estimada por ferramenta será de cerca de 420.000 €, e, tal como referido no subcapítulo anterior, o custo estimativo de produção da ferramenta será cerca de 1.580 €, representando assim um ganho de 418.420 €.

Tabela 6 – Otimização dos custos de produção do registo

Custo total da ferramenta	Custo de mão-de-obra standard	Otimização do custo por registo	Ganho por ciclo de vida útil da ferramenta	Ganho anual por ferramenta
1580€	40€/h	1.400€	418.420€	41.800€

Em suma, e após análise de todos os custos produtivos associados à utilização da ferramenta, estima-se que o impacto anual da utilização da ferramenta desenvolvida representará uma poupança de cerca de 41.800 €.

5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

O presente capítulo consiste na sintetização de todas as conclusões retiradas do estudo efetuado. Inicialmente serão apresentadas de forma resumida os temas importantes do trabalho desenvolvido, e posteriormente serão expostas as conclusões retiradas desta dissertação, as suas limitações e propostas de trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

O desenvolvimento desta dissertação teve como principal objetivo analisar e otimizar o processo de produção de um registo para um ventilador industrial, na empresa em estudo.

Dada a situação vivida durante o período de elaboração da dissertação, nomeadamente o estado de emergência devido ao COVID 19, as deslocações à empresa foram suspensas pelo que foi necessário adaptar o trabalho inicialmente previsto a teletrabalho. Durante esta fase, a ligação à empresa foi crucial para dar continuidade à elaboração desta dissertação, sendo que a informação necessária foi sendo fornecida pela empresa por email, por *conf calls* e mais tarde, por visitas devidamente protegidas e agendadas.

Neste sentido, este trabalho iniciou-se pela elaboração de uma revisão bibliográfica sobre os temas ligados à empresa em estudo, nomeadamente qual o estado da arte dos processos utilizados numa empresa metalomecânica e para que, aquando das visitas à empresa, fosse possível visualizar os conceitos teóricos na prática. Assim, foram descritos os processos de corte, conformação, maquinagem, união e montagem presentes no dia-a-dia produtivo da empresa. Posteriormente procedeu-se a uma breve descrição de metodologias de definição de custos, bem como de *Lean Manufacturing* sendo que estes dois tópicos eram inicialmente o ponto de partida para este trabalho, pois o objetivo definido pressupunha a apresentação uma forma de otimização de tempo e custo para a empresa.

Seguiu-se a parte prática, a qual se iniciou com apresentação da empresa em estudo, a sua cadeia de valor, bem como o mapeamento dos processos envolvidos na produção do registo. Uma vez que o objetivo deste trabalho era a otimização do processo de produção de um registo, e assim reduzir os tempos de produção e conseqüentemente os custos associados à mesma, após o mapeamento dos processos, foi possível identificar uma possibilidade de otimização do processo, tendo sido proposto a utilização de uma ferramenta capaz de simular o correto posicionamento de cada peça do conjunto constituído pelo veio, pás e fecho das pás, evitando as etapas de montagem e desmontagem do conjunto completo do registo e garantindo assim, que o mesmo esteja de acordo com a qualidade e especificações pretendidas.

Após o desenvolvimento da ferramenta, foi efetuado um cálculo estimativo do valor total da ferramenta, quer a nível de matéria prima, como o seu custo de produção. Assim, tendo em conta os desperdícios de matéria prima e os custos em mão-de-obra, foi possível obter-se um valor estimativo de custo de produção da ferramenta de 1.580 €.

Posteriormente, procedeu-se à apresentação do protótipo à empresa, e, após análise do mesmo, concluiu-se que esta teria um tempo útil de vida de cerca de 10 anos, permitindo o desenvolvimento de cerca de 300 registos.

Relativamente aos tempos de produção e considerando o facto de existirem vários tipos de registos, dependendo do número do conjunto de pás que o mesmo tenha, os tempos podem variar, pelo que, de acordo com a empresa, estima-se que com a utilização da ferramenta desenvolvida, potenciar-se-á uma redução de cerca de 35 horas. Considerando o custo standard de 40 € por hora, a utilização da ferramenta proposta, representará uma otimização de cerca de 1.400 € por registo.

Em suma, com a utilização desta ferramenta, será possível eliminar desperdício de tempo e de recursos, contribuindo para uma redução dos custos de produção.

Do ponto de vista pessoal, com o desenvolvimento desta dissertação, foi possível estar em contacto com o mundo empresarial, bem como visualizar na prática alguns dos conceitos teóricos anteriormente estudados durante o mestrado, bem como contribuir para uma melhoria do processo da empresa. Paralelamente, este trabalho permitiu desenvolver novas competências pessoais e profissionais, nomeadamente num novo programa que se revelou fundamental no desenvolvimento deste trabalho, sendo que o facto de durante o curso ter utilizado o programa SolidWorks® facilitou a aprendizagem neste novo programa.

5.2 Perspetivas de trabalhos futuros

Como previamente informado, dado os constrangimentos com a pandemia, foi apenas possível desenvolver um protótipo de ferramenta para otimização do processo em estudo, com o objetivo de ser posteriormente implementada e testada pela empresa, sendo que o protótipo poderá necessitar de alguma adaptação.

No futuro e como sugestão, para facilitar a utilização e diminuir o tempo de ajuste da ferramenta, poderão ser implementados apertos rápidos, em substituição das ligações aparafusadas.

Referências

- Almacinha, J. A. (2003). *A Importância do Desenho de Construção Mecânica e da Concepção e Fabrico Assistidos por Computador ao nível da Indústria Metalomecânica*.
- Almacinha, J. A. (2008). *Desenho de Construção Mecânica*.
- Appelt, D. (1991). Novas Tecnologias de Corte - Corte por laser. In Associação Portuguesa das Tecnologias de Conformação Plástica (Ed.), *Novas Tecnologias de Corte*.
- Belekoukias, J., Garza-Reyes, J., & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*.
- Cardoso, C., & Quelhas, V. (2014). Portugal Global. *Portugal Global*.
- Cardoso, M. (2019). Metalurgia bate mais um recorde na frente externa. *Expresso*. <https://expresso.pt/economia/2019-12-12-Metalurgia-batemaisumrecordenafrenteexterna>
- Cooper, R., & Kaplan, R. (1988). Measure costs right: make the right decisions. In *Harvard business review* (Vol. 66, Issue 5).
- Fernandes, A. A. (1991). Novas Tecnologias de Corte - Corte por Plasma. In Associação Portuguesa das Tecnologias de Conformação Plástica (Ed.), *Novas Tecnologias de Corte*.
- Ferreira, S. C. (2011). *Desenvolvimento do Sistema de Suporte Informático para Aplicação do Modelo SCOR à Indústria Metalomecânica: Estudo de Caso Simão Curval Ferreira Dissertação Para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão*.
- Fisher, J. G., & Krumwiede, K. (2012). *Product Costing Systems: Finding the Right Approach*.
- Frey, K., & Gordon, L. A. (1999). ABC, strategy and business unit performance. *International Journal of Applied Quality Management*, 2(1).
- Gerling, H. (1977). *À volta da Máquina - Ferramenta* (E. R. Ltda (ed.)).
- Groover, M. P. (2010). *Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems* (4th Editio). John Wiley & Sons, INC.
- Hussary, N., & Renault, T. (2007). *Selection of Cost Effective Plasma Cutting Process for Weld Integrity*.
- Imai, M. (2012). *Gemba Kaizen A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy* (second edi). McGraw-Hill.
- Júnior, J. A. L. O., Cordoso, J. V. L., & Cazulo, T. R. B. (2015). *CONTABILIDADE DE CUSTOS – MÉTODOS DE CUSTEIOS E GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS NO PROCESSO DECISÓRIO*.

- Kadu, R. S., Awari, G. K., Sakhale, C. N., & Modak, J. P. (2014). Formulation of Mathematical Model for the Investigation of Tool Wears in Boring Machining Operation on Cast Iron Using Carbide and CBN Tools. *Procedia Materials Science*, 6(Icmpec).
- Kaplan, R., & Cooper, R. (1998). *The Promise - and peril - of integrated cost systems*.
- Leoncine, M., Abbas, K., & Neumann Gonçalves, M. (2012). Os métodos de custeio: vantagens, desvantagens e sua aplicabilidade nos diversos tipos de organizações apresentadas pela literatura. *ConTexto (Porto Alegre)*.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Lundvall, B.-Å. (n.d.). The Learning Economy and the Economics of Hope. In *The Learning Economy and the Economics of Hope*.
- Metalworks, C. (2020). *Serviços*.
http://curval.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=28&lang=pt
- Pacheco, J. A. B. (1992). *Utilização de Quinadoras e Guilhotinas*. Associação Portuguesa das Tecnologias de Conformação Plástica.
- Pinto, R., & Dominguez, C. (2012). Characterization of the Practice of Project Management in 30 Portuguese Metalworking Companies. *Procedia Technology*, 5.
- Pita, F. D. D. (2014). *Análise Do Impacto De Um Sistema De Custeio E Da Gestão Financeira De CURTO PRAZO NA SECIL PRÉBETÃO, S.A.*
- Rodrigues, J., & Martins, P. (2005). *Tecnologia Mecânica Tecnologia da Deformação Plástica*. Escolar Editora.
- Santos, J. F. O., Quintino, L., & Miranda, R. M. (1993). *Corte por Laser* (ISQ (ed.)).
- Silva, F. J. G., & Ferreira, L. C. P. (2019). *Lean Manufacturing Implementation, Opportunities and Challenges*. Nova science publishers.
- Simões Morais, J. M. (2007). *Desenho Técnico Básico* (G. reunidos- Lda (ed.); 23ª edição). Porto Editora.
- Van Daele, D., Decluyre, N., Dubois, H., & Meert, W. (2019). *An Automated Engineering Assistant: Learning Parsers for Technical Drawings*.
- Weman, K. (2012). *Welding Processes Handbook* (2nd Editio). Woodhead Publishing.
- Yapici, M., & Koldemir, B. (2015). Developing Innovative Applications of Technical Drawing Course at the Maritime Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*.

