



Projecto

Mestrado em Engenharia Mecânica - Produção Industrial

***Desenvolvimento e análise de uma nova linha
produtiva***

André Miguel de Matos Esteves

Nº2120037

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Engenheiro Joel Oliveira Correia Vasco, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e co-orientação da Engenheira Irene Sofia Carvalho Ferreira, Professora da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Julho* de 2014

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

A conclusão desta tese é um grande passo na minha carreira académica e profissional, por isso não posso deixar de agradecer a todas as pessoas que ajudaram para que esta fosse concluída com sucesso.

Quero agradecer ao Professor Joel Vasco e a professora Irene Ferreira (Orientador e Co-orientadora, respetivamente) pela disponibilidade sempre que necessário, por toda a colaboração no desenvolvimento da tese e na elaboração do relatório e pelos conhecimentos transmitidos que ajudaram na conclusão de várias etapas importantes.

Quero agradecer ao Engenheiro Pedro Oliveira (Orientador na empresa) por toda a ajuda prestada na empresa CMS, mais precisamente por todo o auxílio de integração no seio da empresa, muito importante a realização desta tese, também por toda a disponibilidade em ajudar no necessário, pela transmissão de conhecimentos acerca dos processos produtivos e ainda pela confiança depositada no meu trabalho.

Ainda referente a empresa CMS, quero agradecer a todos os colaboradores da empresa que ao longo da tese foram sempre prestáveis em ajudar na integração e na transmissão dos seus conhecimentos.

Quero ainda agradecer a minha namorada Olga Cristina pelo seu amor e carinho nas etapas mais difíceis desta tese, sem estes seria muito difícil a conclusão desta tese com sucesso, por isso agradeço muito o seu apoio e espero ter retribuído de igual forma.

Por fim quero agradecer a minha família por todo o apoio e em especial aos meus pais por toda a ajuda em tudo o que foi necessário, principalmente nos tempos mais difíceis, ainda agradecer pela confiança depositada em mim ao longo destes meses.

Espero que todos estes tenham ficado satisfeitos com o meu trabalho e o meu muito obrigado a todos.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

Nesta tese foi analisada e monitorizada a produção de um novo produto no seio de uma empresa recente. Esta empresa dedica-se à produção de componentes metálicos usados em condutas de extracção de petróleo, sendo que o produto em questão é uma válvula de emergência usada neste tipo de extração. Com o desenvolvimento deste trabalho os objetivos passaram por, conceber um *layout* capaz de acomodar todos os postos de trabalho de forma eficaz, desenvolver equipamentos que facilitassem e reduzissem os tempos de *setup* de algumas máquinas, desenvolver documentação de controlo para a gestão dos *stocks* de materiais consumíveis usados em todas as produções da unidade fabril, produzir documentação técnica relativa a esta produção e por fim depois de realizados os restantes objetivos, controlar e analisar a produção em termos de tempo e custos associados (para análise das operações que mais recursos necessitam no processo).

Para atingir estes objetivos foram utilizadas algumas metodologias importantes, tais como, o SMED (*Single minute exchange of die*), o SLP (*Systematic layout planning*) e o MTM (*Methods Time Measurement*). Estas metodologias foram utilizadas na elaboração de um *layout* funcional para reduzir as movimentações de peças e apoiaram uma análise mais técnica do processo de produção e das melhorias introduzidas, comprovando os seus resultados através da implementação no terreno.

Os resultados finais obtidos são analisados sob duas vertentes distintas, uma versando os custos de produção e outra os tempos de produção, que revelaram quais os processos mais críticos nesta produção e em quais se deve fazer incidir uma análise mais detalhada para reduzir os custos e tempos associados. Por fim, foi criada documentação para gestão em tempo real do material consumível com o objetivo de evitar rupturas de *stock* assim como documentação técnica relativa aos processos de corte por arranque de apara para um controlo dos parâmetros de produção usados para cada tipo de material.

Palavras-chave: SMED , SLP ,MTM.

Abstract

In this thesis the production of a new product within a new company was monitored and analyzed. This company is focused on the production of metallic components used in oil extraction ducts and the product in question is an emergency valve used in this type of extraction. With the development of this work, the objectives consisted on, developing a layout able to accommodate all resources effectively, developing equipment that would facilitate and reduce setup times on some machines, developing control documentation for managing stocks of consumables used in all productions of the factory and finally after accomplishing these targets, to monitor and analyze the production in terms of time and cost (to analyze the operations that require more resources in the process).

To achieve these objectives some important methodologies were used such as SMED (Single Minute Exchange of Die), SLP (Systematic Layout Planning) and MTM (Methods Time Measurement). These methodologies were applied on the development of a functional layout to minimize movimentation of parts and supported a more technical analysis of the production process and improvements made, confirming their results through the implementation on the shop floor.

The final results obtained were analyzed under two different points of view, one focusing the production costs and the other detailing production times that revealed which processes are the most critical in this production and in which it is necessary to make a more detailed analysis to reduce costs and the time associated with to it. Finally, control documents were created to perform real-time management of consumables in order to avoid stock-outs as well as technical documentation related to material cutting tools to build a database of used cutting parameters for each material type.

Key-Words: SMED , SLP ,MTM.

Índice de Figuras

Figura 1 – Corte contínuo em torneamento [4].....	7
Figura 2 – Torno horizontal	8
Figura 3 - Corte descontínuo em fresagem [6]	9
Figura 4 – Processo de furação [7]	10
Figura 5 – Refrigeração interna de brocas [8]	10
Figura 6 - Centro de maquinação vertical [9].....	11
Figura 7 - Centro de maquinação horizontal [11].....	12
Figura 8 - Soldadura TIG [13]	13
Figura 9 - Comparação de taxas de deposição de fio quente e fio frio [14]	14
Figura 10 – Ciclo de revenido aplicado às válvulas em estudo	20
Figura 11 - <i>Layout</i> posicional, adaptado de [25]	26
Figura 12 - <i>Layout</i> de processo, adaptado de [25].....	26
Figura 13 - <i>Layout</i> do produto, adaptado de [25]	27
Figura 14 – <i>Layout</i> em células de fabrico, adaptado de [25].....	27
Figura 15 – Cinco movimentos básicos na metodologia MTM [29].....	31
Figura 16 - Tabela de tempo TMU para movimentos dos membros inferiores [30].....	32
Figura 17 - Empresa CLADD & MANUFACTURING SERVICES	33
Figura 18 - <i>Bonnets</i>	34
Figura 19 - DOOSAN PUMA 400B.....	35
Figura 20 - DOOSAN PUMA 400 M.....	35
Figura 21 - FRONIUS Compact cladding cell advanced.....	36
Figura 22 - Forno Ceramifor ETH 3,3	36
Figura 23 - Equipamento Magnaflux M530	37
Figura 24 - Pórtico Comege.....	38

Figura 25 - <i>Layout</i> provisório	39
Figura 26 - Fluxograma de processos iniciais de fabrico das <i>Bonnets</i>	40
Figura 27 - Fluxograma de processos futuros.....	41
Figura 28 - Válvula <i>Vanne</i>	42
Figura 29 - Fluxograma de processos de produção da válvula <i>Vanne</i>	44
Figura 30 - Válvula em bruto.....	45
Figura 31 - Câmara escura	45
Figura 32 - Primeira fase de revestimento	46
Figura 33 - Segunda fase de revestimento	47
Figura 34 - Válvula após revestimento	47
Figura 35 - <i>Skin cut</i> no canal principal	47
Figura 36 - <i>Skin cut</i> nos canais secundários.....	48
Figura 37 - Sonda de ultra-sons SEB5KF3	49
Figura 38 - Calibre de sondas ultra-sons K2-ZERT	49
Figura 39 - Equipamento de ultra-sons USN 58L, <i>GE technologies</i>	49
Figura 40 - Válvulas antes do tratamento térmico	50
Figura 41 - Válvula após revenido.....	50
Figura 42 - Acabamento no centro de maquinação	51
Figura 43 - Acabamento no centro de torneamento.....	51
Figura 44 - Sondas de ultra-sons SEB5KF3 e MSEB4 (<i>GE technologies</i>)	52
Figura 45 – Equipamento de medição de rugosidade DH-8, <i>Diavite</i>	53
Figura 46 - Bancada para controlo da qualidade	54
Figura 47 - Válvula com tinta penetrante aplicada	54
Figura 48 - Válvula com liquido revelador.....	54
Figura 49 - Imperfeições superficiais detetadas nas válvulas	54
Figura 50 - Equipamento de durezacBrinella HBW 3000, <i>Mecadrum</i>	55

Figura 51 – Marcação de dureza no aço	55
Figura 52 - Microscópio para medição de indentações Mecadrum	55
Figura 53 - Zonas do teste de dureza do aço.....	55
Figura 54 – Medidor de espessura A456 CFBS, ELCOMETER.....	56
Figura 55 – Marcação das válvulas.....	56
Figura 56 - Aparelho de medida do diâmetro das zonas G.....	57
Figura 57 - Aparelho de medida da largura das zonas G.....	57
Figura 58 - Calibre de roscas usado nas medições das roscas	58
Figura 59 - Válvula com tampas de protecção.....	60
Figura 60 - DOOSAN PUMA 480L	61
Figura 61 - DOOSAN NHM 6300.....	62
Figura 62 - Layout final da instalação fabril.....	65
Figura 63 – Diagrama de relações dos postos de produção das válvulas	66
Figura 64 – Esquema de avaliação de posições na produção da válvula <i>Vanne</i>	67
Figura 65 - Equipamento de centragem automática 3274-400, Bison.....	69
Figura 66 - Placa de apoio de equipamento de aperto	69
Figura 67 - Bancada para teste de líquidos penetrantes.....	70
Figura 68 - Modelo 3D inicial da bancada.....	71
Figura 69 - Plataforma de apoio a <i>setup</i>	72
Figura 70 - Modelo 3D da plataforma para centro de fresagem	72
Figura 71 – Gráfico de Pareto dos defeitos encontrados nas válvulas.....	80
Figura 72 - Custos de produção de cada válvula em percentagem	84
Figura 73 - Tempos de produção de cada válvula em percentagem	85

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Vantagens/Desvantagens centros maquinação verticais, adaptado de [10]	11
Tabela 2 – Vantagens/Desvantagens centros maquinação horizontais, adaptado de [9].....	12
Tabela 3 - Elementos constituintes do aço 4130, adaptada de [16] [17] [18].....	15
Tabela 4 - Tipos de petróleos, adaptado de [19].....	17
Tabela 5 – Razões de proximidade no <i>layout</i>	29
Tabela 6 - Características do DOOSAN PUMA 400B e do DOOSAN PUMA 400M	35
Tabela 7 - Características da FRONIUS Compact cladding cell advanced.....	36
Tabela 8 - Características do Forno Ceramifor ETH 3,3	37
Tabela 9 - Características do Magnaflux M530.....	37
Tabela 10 - Resultados e normas dos testes de qualidade	59
Tabela 11 – Características do Centro de torneamento DOOSAN PUMA 480L.....	61
Tabela 12 – Características do Centro de maquinação DOOSAN NHM 6300	62

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Siglas

- **AISI:** American Iron and Steel Institute
- **API:** American Petroleum Institute
- **ASME:** American Society of Mechanical Engineers
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials
- **BP:** British Petroleum
- **CAD:** Computer Aided Design
- **CAM:** Computer Aided Manufacturing
- **CLU:** Control Loops Unit
- **CNC:** Control Numérico Computadorizado
- **DPU:** Data Process Unit
- **LED:** Light Emitting Diode
- **MPI:** Magnetic Particle Inspection
- **MTM:** Methods Time Measurement
- **SLP:** Systematic Layout Planning
- **SMED:** Single Minute Exchange of Die
- **TIG:** Tungsten Inert Gas
- **TMU:** Time Measurement Unit

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO/ DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO	1
1.2 CONTEÚDO DA TESE	2
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1 EVOLUÇÃO TÉCNICA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO.....	5
2.1.1 Operações de corte por arranque de apara	5
2.1.2 Processo de revestimento <i>Tig hotwire cladding</i>	13
2.1.3 Material base da válvula	15
2.1.4 Material de proteção	16
2.1.5 Tratamento térmico de redução de tensões.....	20
2.2 GESTÃO E IMPLEMENTAÇÃO DOS MEIOS DE PRODUÇÃO	21
2.2.1 Redução de custos	21
2.2.2 Metodologia SMED.....	23
2.2.3 Tipos de <i>Layout</i>	25
2.2.4. Metodologia SLP.....	28
2.2.5. Metodologia MTM	30
3. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E DO CASO DE ESTUDO	33
3.1 CAPACIDADE INSTALADA E RECURSOS HUMANOS	34
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO NOVO PRODUTO.....	41
3.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DAS VÁLVULAS <i>VANNE</i>	43
3.4.1 Etapas de produção das válvulas	44
4. SOLUÇÕES E ALTERAÇÕES NECESSÁRIAS NA PRODUÇÃO.....	61
4.1 MUDANÇAS EFETUADAS NA INSTALAÇÃO.....	61
4.1.1 Alterações de <i>Layout</i>	63
4.2 SOLUÇÕES DESENVOLVIDAS PARA MELHORAR PRODUÇÃO	68
4.2.1 Equipamentos desenvolvidos	68
4.2.2 Documentos de controlo criados	73
4.2.3 Documentos de padronização e gestão de produção	74
5. OPORTUNIDADES DE MELHORIA ENCONTRADAS AO LONGO DA PRODUÇÃO.....	79
6.DISSCUSSÃO DE RESULTADOS	83
6.1 ANÁLISE DE CUSTOS	83
6.2 ANÁLISE DE TEMPOS.....	85

7.CONCLUSÕES	87
BIBLIOGRAFIA	89
ANEXOS	95

1. Introdução

O caso em estudo envolve a análise e industrialização de um componente, ainda em desenvolvimento, que introduz um novo tipo de produto no seio da empresa em que decorreu este trabalho. A empresa é recente, não existindo por isso um histórico de produtos similares a partir dos quais pudessem ser retirados dados importantes para a análise desta nova produção. Por isso, os dados recolhidos, bem como as soluções apresentadas foram fundamentalmente baseados em pesquisas na área e no *know-how* adquirido ao longo da realização deste trabalho.

1.1 Enquadramento/ Descrição do caso de estudo

O principal objetivo pretendido com o estudo e industrialização deste novo produto passará pelo controlo das diversas etapas do processo produtivo com o intuito de identificar problemas e assim implementar ações que no futuro os reduzam, evitando operações adicionais não previstas – retrabalho – resultando em tempos de fabrico excessivos e conseqüentemente custos de produção excessivos. Nesta análise encontra-se ainda incluída uma descrição dos vários componentes e fatores de produção, assim como dos recursos (tanto temporais como financeiros) empregues no processo de produção, por forma a caracterizar o estado do processo produtivo e retirar conclusões sobre os custos atuais. Associado a este estudo foi ainda realizada uma análise aos testes de qualidade, que face ao sector de aplicação destes produtos, são bastante rigorosos, com a finalidade de inculir um maior rigor no processo produtivo, reduzindo ao máximo os defeitos no produto final.

Em paralelo foi necessário estudar o *layout* da unidade fabril, por forma a determinar os melhores fluxos de trabalho e determinar a melhor posição para a maquinaria e operadores. A este nível, foram igualmente estudadas melhorias de produção com o objetivo de reduzir tempos de *setup*.

Por último, foram ainda realizadas ações para controlo de *stock* de materiais consumíveis. Para tal, foi criada documentação para ajudar a organizar a movimentação de

materiais consumíveis dentro da linha produtiva, bem como a determinação dos *stocks* necessários para a produção prevista (evitando rupturas de *stock*) e ajudar na seleção de fornecedores adequados. Foi ainda elaborado um dossiê para cada tipo de peça analisado, com a descrição das ferramentas e pastilhas a utilizar, cadência de uso e desgaste.

1.2 Conteúdo da tese

O segundo capítulo desta tese resume o estado da arte referente às técnicas de corte por arranque de apra e de revestimento metálico que vão ser versadas ao longo do trabalho. Contempla igualmente os tratamentos térmicos e técnicas de controlo de qualidade aplicáveis neste contexto, com particular relevância para as validações que podem ditar a não conformidade da peça, dada a sua função. Este capítulo descreve também em detalhe as metodologias que podem suportar a análise a técnica do processo de produção e quantificar as melhorias introduzidas, permitindo avaliar os seus resultados após a implementação no terreno.

O terceiro capítulo deste trabalho contém a descrição da empresa, da sua capacidade instalada e do trabalho nela realizado. É apresentado o caso estudado, nomeadamente, o novo produto introduzido na empresa e a sua produção, explicando cada um dos processos envolvidos na sua produção, bem como todos os testes de qualidade realizados para validar o produto.

No quarto capítulo são apresentadas algumas soluções criadas ao longo do decorrer desta tese para melhorar e controlar esta produção. Aqui estão incluídos os equipamentos criados principalmente com o intuito de reduzir tempos de *setup* e facilitar estas operações, documentos de controlo criados para o controlo de *stock* de materiais consumíveis usados nas produções e a criação de documentos de controlo para padronizar o trabalho realizado nas operações de corte por arranque de apra, com as informações técnicas necessárias. Estes documentos visam introduzir na empresa, documentos padrão semelhantes para todas as encomendas do mesmo produto, facilitando a produção e sistematizando o procedimento de fabrico.

O quinto capítulo é dedicado às oportunidades de melhoria encontradas ao longo deste trabalho, resultantes da observação e da implementação das metodologias de apoio à produção.

Na discussão de resultados e conclusões são identificados os problemas encontrados ao longo da evolução desta nova produção. É feita a avaliação do impacto e das origens dos mesmos e são apresentadas soluções para os corrigir. Por fim, depois de feita uma compilação de dados retirados dos documentos de controlo e de retiradas informações diretamente da linha de produção, são criados dois gráficos. No primeiro gráfico são apresentadas as percentagens de custos, referentes ao custo total de produção de uma unidade do produto em estudo, divididas por etapas de produção. No segundo gráfico são apresentadas as percentagens de tempo, referentes ao tempo total gasto para criar uma unidade do produto em estudo, divididas igualmente por etapas de produção. Com estes gráficos podem retirar-se conclusões acerca dos processos críticos, incidindo essencialmente na análise das percentagens de custo e tempo gastos na correção de não conformidades que aparecem ao longo da produção.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

2. Estado da arte

O estado da arte apresentado neste documento encontra-se dividido em duas vertentes principais, a vertente da evolução técnica do processo de produção e a vertente da gestão e implementação dos meios de produção. A primeira vertente faz uma apresentação das técnicas utilizadas nesta produção e de como estas se adequam ao resultado final esperado. A segunda vertente faz uma breve apresentação das técnicas utilizadas para a implementação e gestão dos meios de produção utilizados nesta produção.

2.1 Evolução Técnica do processo de produção

O processo de produção estudado nesta tese envolve trabalhos de metalomecânica necessários à produção de válvulas metálicas para a extração de petróleo. Estes trabalhos envolvem processos de corte por arranque de apara, tratamentos térmicos de redução de tensões e a aplicação dum processo de revestimento. Os materiais de fabrico e de revestimento da válvula em estudo são importantes, pois esta vai estar sujeita a ambientes bastante corrosivos e abrasivos, em condições normais de operação.

2.1.1 Operações de corte por arranque de apara

Os equipamentos instalados na empresa para realizar as operações de corte por arranque de apara das válvulas em estudo são, um torno horizontal CNC (Comando Numérico Computadorizado) e um centro de maquinação CNC de 4 eixos.

Um equipamento CNC é aquele em que as funções e os movimentos da máquina-ferramenta são controlados por meio de programas preparados, que contém dados alfanuméricos codificados. Um equipamento CNC consegue controlar os movimentos da peça ou ferramenta, bem como os parâmetros de entrada, tais como a profundidade de corte,

velocidade de corte, e funções tais como ligar ou desligar a rotação da ferramenta e ligar ou desligar o líquido refrigerante [1].

Um sistema CNC é composto por três componentes [1]:

- Programa da peça a realizar;
- Unidade de controlo da máquina;
- Máquina-ferramenta.

O primeiro componente é o programa, que integra um conjunto detalhado de comandos a serem seguidos pelas ferramentas de corte. Cada comando especifica uma posição no sistema de coordenadas cartesiano (x,y,z) ou um movimento (movimento da peça de trabalho ou movimento da ferramenta de corte), especificando ainda os parâmetros de corte e funções de ligado ou desligado de vários sistemas (refrigeração, por exemplo) [1].

Este programa é criado com auxílio de programas CAD/CAM (*Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing*). A parte CAD dos programas usados envolve a criação de modelos geométricos das peças, ou conjuntos de peças, a maquinar. Estes modelos surgem em representações tridimensionais que rapidamente podem ser modificadas se necessário. O CAD permite aos projetistas ver a representação dos objetos desejados, bem como testar estes mesmos objetos simulando condições do mundo real [2].

A componente CAM utiliza dados do design geométrico criado em CAD para controlar a trajetória da ferramenta que vai criar o objeto desejado, podendo ser feitas simulações de corte no software CAM para se entender qual a melhor estratégia de corte a adotar. Os sistemas CAM são associados com o controlo numérico computadorizado, para que seja feita a ligação entre o objeto criado e as máquinas-ferramenta [2].

O segundo componente, unidade de controlo da máquina, é um microcomputador que armazena os programas e executa os comandos em ações nas ferramentas de corte. Esta unidade de controlo é composta por duas unidades principais, o DPU (*Data Process Unit*) e o CLU (*Control Loops Unit*). O *software* DPU inclui o *software* do sistema de controlo, algoritmos de cálculo, *software* de tradução que converte o programa da peça em formato utilizável pela unidade de controlo da máquina e o algoritmo de interpolação para atingir um movimento suave da ferramenta. O DPU processa os dados do programa da

peça e fornece-os ao CLU, que opera as unidades ligadas, as ferramentas e que recebe sinais de *feedback* da posição e velocidade real de cada um dos eixos [1].

O terceiro componente é a máquina-ferramenta, que é a máquina física que contém as ferramentas de corte e o espaço físico onde vai ser colocada a peça a cortar. Esta máquina pode ser um torno, uma fresadora, ou até uma máquina de corte a laser. Neste caso são usados um torno horizontal e uma fresadora 4 eixos horizontal. A máquina-ferramenta vai, através dos sinais recebidos da unidade de controlo, fazer o corte na peça seguindo os parâmetros definidos no programa [1].

Torneamento

O torneamento é um processo que se baseia no movimento de rotação da peça sobre o seu próprio eixo, permitindo desta forma o trabalho em peças de revolução, que são movidas num movimento uniforme de rotação num eixo fixo. Este movimento uniforme permite, ao entrar em contacto com a ferramenta de corte (que apenas usa uma aresta de corte em cada passagem) um corte contínuo e regular do material (Figura 1), sendo que a ferramenta está fixa ao porta-ferramentas. As ferramentas usadas podem ser para corte interior e corte exterior, sendo que qualquer uma destas cria aparas contínuas devido ao corte contínuo (como apresentado na Figura 1). Os elementos de corte são pastilhas de corte, feitas com materiais e formas indicados para o tipo de corte desejado ou material a cortar. Estas pastilhas são fixas nas mais diversas ferramentas e são elas que entram em contacto com a peça e realizam o corte. Na Figura 1 está ilustrado o exemplo de uma pastilha de corte com revestimento dourado. Existem também ferramentas integrais que elas próprias executam o corte, sendo fabricadas em materiais mais resistentes [3].



Figura 1 – Corte contínuo em torneamento [4]

Para que o corte seja feito são necessários três movimentos relativos entre peça e ferramenta, nomeadamente [3]:

- Movimento de corte. É o movimento de rotação realizado pela peça que permite cortar o material;
- Movimento de avanço. É o movimento da ferramenta que a desloca ao longo da superfície da peça determinando o ponto de contacto entre estas;
- Movimento de penetração. Este movimento determina a profundidade de corte feito e a profundidade de cada passagem da ferramenta.

No torneamento horizontal, tanto o porta-ferramentas (equipamento que segura e posiciona as ferramentas de corte), como o cabeçote de aperto da peça a trabalhar, estão em posição horizontal. Esta posição facilita o corte interior de peças, visto que as aparas cortadas saem para o exterior da peça, pela sua posição e pela pressão do líquido de refrigeração que as arrasta para o exterior. Esta característica promove um corte limpo sem que as aparas cortadas se acumulem dentro da peça em movimento, o que poderia levar ao aparecimento de riscos na superfície. Na Figura 2 está apresentado um exemplo de um torno horizontal, neste caso, presente na empresa.

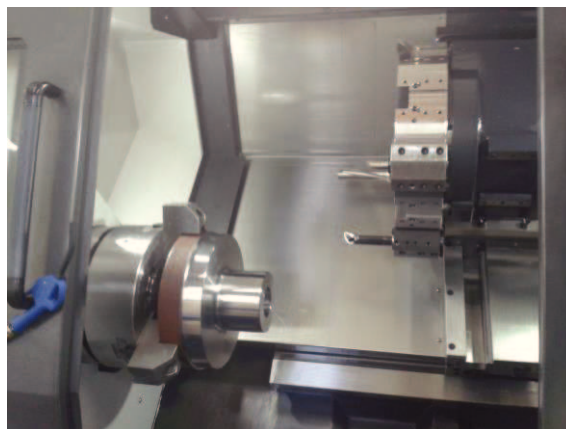


Figura 2 – Torno horizontal

Fresagem

O processo de fresagem é o processo de corte por arranque de avara mais versátil. Neste processo a remoção de material é conseguida por dois movimentos relativos. Um destes movimentos é a rotação de uma ferramenta com múltiplas arestas de corte, o outro é

o movimento em vários eixos da peça a cortar. A fresagem proporciona um corte de material interrompido, onde a passagem das diversas arestas de corte da ferramenta proporcionam a remoção de material e criam aparas descontínuas (apresentado na Figura 3). Este processo tem mais variação nas máquinas, tipos de ferramentas e movimentos de peça do que qualquer outro processo de corte por arranque de apra. Na produção estudada, semelhantemente ao que se passa no torneamento, o corte por arranque de apra é conseguido através do aperto de pastilhas de corte nas extremidades da ferramenta, ainda que existam ferramentas em que a própria ferramenta é afiada e faz o corte [5].

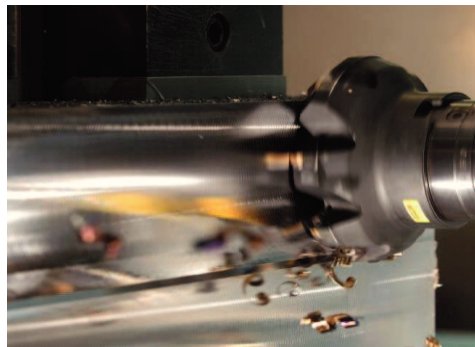


Figura 3 - Corte descontínuo em fresagem [6]

Furação

A furação, como o nome indica é um processo que tem como objetivo maquinar furos, estes sempre conseguidos através do movimento relativo entre a peça e a ferramenta em rotação designada por broca. Existem diversos tipos de broca para maquinar os mais diversos tipos de furos, mas todas têm em comum o facto de ao avançar na profundidade de corte o seu *design* permitir que a apra cortada seja empurrada para o topo do furo, permitindo assim um corte limpo, como apresentado na Figura 4. Algumas brocas possuem canais internos para permitir a circulação de fluido refrigerante que é aplicado diretamente na zona de corte (apresentado na Figura 5), para evitar sobreaquecimento da ferramenta.

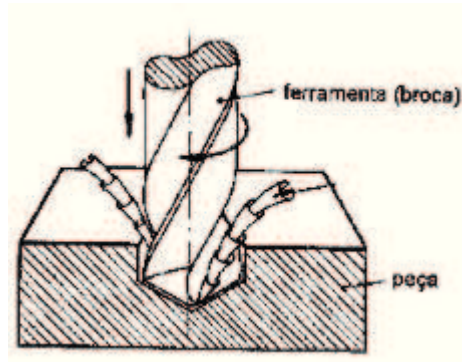


Figura 4 – Processo de furação [7]

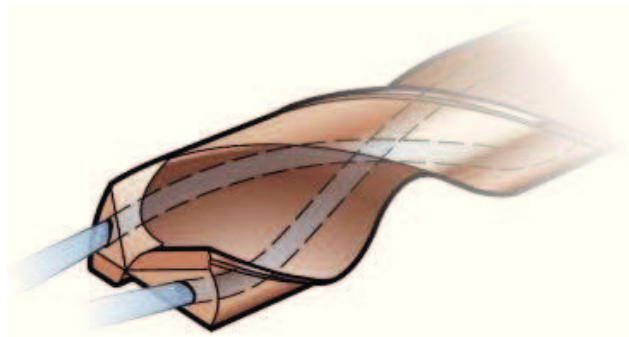


Figura 5 – Refrigeração interna de brocas [8]

Centros de Maquinação

Um centro de maquinação é caracterizado principalmente pela possibilidade de troca automática e programada de ferramentas. Além disso, tal como acontece nas fresadoras convencionais, possui a capacidade de fazer corte por fresagem e por furação, ambos estes com corte descontínuo de material. Os principais centros de maquinação são verticais (apresentado na Figura 6) ou horizontais (apresentado na Figura 7), sendo que esta classificação se refere à posição da ferramenta de corte em relação a mesa que contém a peça a trabalhar [5].



Figura 6 - Centro de maquinação vertical [9]

Os centros de maquinação verticais têm como vantagens e desvantagens os pontos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Vantagens/Desvantagens centros maquinação verticais, adaptado de [10]

Vantagens	Desvantagens
O impulso da ferramenta em operações profundas de corte é absorvido	À medida que o tamanho da peça aumenta torna-se mais difícil olhar convenientemente para o corte feito
Ideal para peças largas e espalmadas	O acumular de aparas na peça dificultando a visão do corte, podendo causar riscos na peça e podendo também fazer um novo corte nas aparas já cortadas
Ferramentas de grandes dimensões podem ser usadas sem preocupação com a sua deflexão	Em distâncias grandes entre a cabeça e a peça a maquirar pode ocorrer falta de precisão e vibração
Geralmente mais baratos que os centros de maquinação horizontais	Não é indicado para peças pesadas, grandes e de formas quadradas

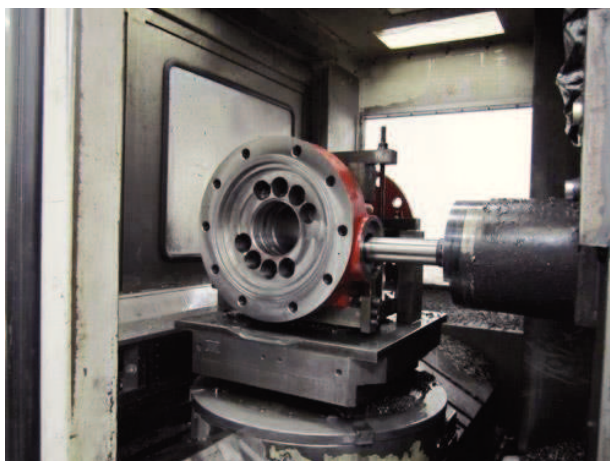


Figura 7 - Centro de maquinação horizontal [11]

Os centros de maquinação horizontais, por sua vez, têm como vantagens e desvantagens os pontos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Vantagens/Desvantagens centros maquinação horizontais, adaptado de [9]

Vantagens	Desvantagens
Capacidade da mesa permite múltiplos lados da peça serem trabalhados num único aperto de peça	Dificuldade em carregar e descarregar a máquina com peças largas e planas
As aparas produzidas pelo corte caem durante a maquinação, permitindo uma visão limpa do corte, prevenindo riscos na superfície da peça e prevenindo um novo corte das aparas já cortadas	O impulso causado pela ferramenta tem de ser absorvido por placas ou braços de suporte
A posição do operador permite uma boa visualização da operação	Pode ocorrer deflexão em ferramentas de grandes dimensões
Os mecanismos de paletização são acessíveis e fáceis de usar	Geralmente mais caros que os centros de maquinação verticais

2.1.2 Processo de revestimento *Tig hotwire cladding*

O processo de TIG (*Tungstenium Inert Gas hotwire cladding*) é de todos os realizados nesta unidade industrial o mais importante, isto porque é aquele que proporciona o revestimento que confere às válvulas as características de proteção contra a corrosão e desgaste. Estas características são necessárias para um correto funcionamento das válvulas nos ambientes a que vão estar sujeitas.

De seguida, ir-se-á detalhar o processo, onde em primeiro lugar vai ser caracterizada a soldadura TIG representada na Figura 8. Este processo de soldadura produz um arco elétrico entre um eletrodo não consumível de tungsténio e a peça a soldar. O eletrodo, a zona de soldadura e a zona afetada pelo calor são protegidos de contaminação atmosférica pela projeção de um gás inerte. Este gás é alimentado através da tocha do eletrodo de tungsténio, sendo normalmente Árgon. Este gás não reage quimicamente e não se mistura com outros gases. Além disso não liberta odor e é transparente, permitindo ainda uma boa visibilidade do arco pelo operador. Se for necessário material de enchimento este deve ser adicionado na zona de soldadura para fazer a sua deposição na peça [12].

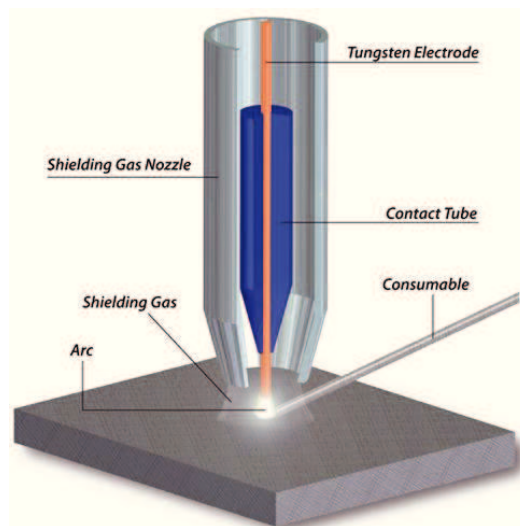


Figura 8 - Soldadura TIG [13]

O termo *hotwire* refere-se ao material de enchimento. Numa soldadura TIG convencional o material de adição é adicionado na zona de soldadura no estado frio, (temperatura ambiente) assim é o próprio arco que vai fundir o material de enchimento,

reduzindo a eficiência do processo. Na soldadura por *hotwire*, o fio do material de enchimento é aquecido por resistência até perto da sua temperatura de fusão, permitindo que o fio de enchimento flua ao longo da zona de soldadura, resultando assim num cordão suave e bem fundido ao material base. Com o uso desta técnica, grande parte da energia do arco de soldadura está disponível para a penetração ou para garantir a profundidade de penetração da soldadura e a fusão, tornando este processo duas a três vezes mais rápido que o convencional. Com esta melhoria, são aumentadas as taxas de deposição (Figura 9), levando a produção de uma solda, de qualidade claramente melhor, que o processo TIG com fio de material de enchimento frio [14].

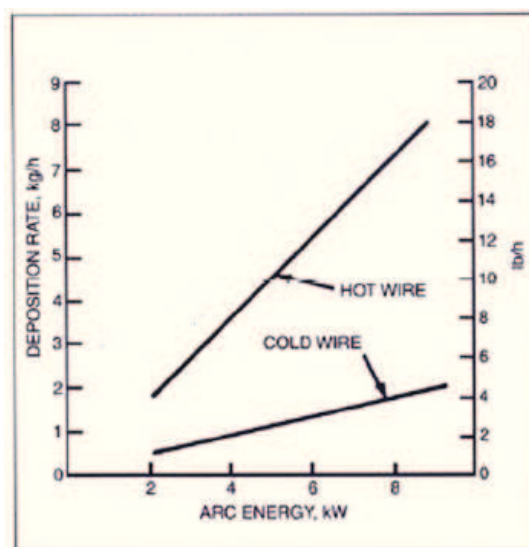


Figura 9 - Comparação de taxas de deposição de fio quente e fio frio [14]

Cladding

Por fim, o *cladding* envolve a junção de duas ligas metálicas diferentes. A escolha das ligas usadas e das espessuras de revestimento vão depender da aplicação. No processo de *cladding*, a ligação é feita entre uma liga resistente à corrosão (condição decorrente da utilização das peças em ambientes altamente corrosivos) e uma liga que normalmente é ferrosa. O processo de *cladding* geralmente tem as seguintes aplicações [15]:

- Reparar peças de trabalho que, depois de determinado tempo em serviço, mostrem sinais severos de desgaste ou danos;
- Proteção preventiva de áreas particulares, ou peças totais de trabalho, para

resistir a desgaste severo (corrosão, abrasão);

- Deposição de camadas tampão, permitindo a soldadura de vários materiais base.

2.1.3 Material base da válvula

As válvulas utilizadas são fabricadas na liga de aço AISI 4130. Os principais elementos de liga que estão presentes neste aço são o Crómio e o Molibdénio. A constituição completa deste aço é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Elementos constituintes do aço 4130, adaptada de [16] [17] [18]

Elemento	Percentagem (%)	Propriedades dos elementos liga
Ferro	97,3 – 98,22	-
Crómio	0,8 – 1,10	Aumento de resistência à corrosão / Aumento da temperabilidade / Aumento da resistência à abrasão / Quando esta liga é sujeita a um tratamento térmico este elemento aumenta a resistência
Manganés	0,40 – 0,60	Aumento da resistência / Aumento da dureza / Ação desoxidante
Carbono	0,280 – 0,330	Aumento da resistência / Aumento da dureza / Redução da ductilidade / Redução da soldabilidade
Silício	0,15 – 0,30	Aumento da resistência / Aumento da dureza / Ação desoxidante
Molibdénio	0,15 – 0,25	Resistência à fluência / Aumento da dureza a quente / Aumento da resistência à abrasão
Enxofre	0,04	Redução da ductilidade
Fósforo	0,035	Aumento da resistência / Aumento da dureza / Redução da ductilidade

Este aço por conter as propriedades descritas na Tabela 3 é usado nas seguintes aplicações [17]:

- Fabricação de rolamentos de esferas e cilindros;
- Fabricação de engrenagens devido à sua recetividade de tratamento térmico;
- Usado para máquinas de britagem e em peças automóvel;
- Usado em componentes estruturais de aeronaves;

- Usado em ferramentas de corte, como brocas, machos, ou fresas;

2.1.4 Material de proteção

Para selecionar, tanto o material a utilizar na constituição da válvula, como o material de enchimento no processo de *cladding*, é necessário um estudo dos ambientes a que estas válvulas vão estar sujeitas.

Começando pelo material de enchimento, este material vai ser depositado no interior da válvula, local por onde irá passar o petróleo extraído. Assim é importante fazer uma análise da composição e características do petróleo a extrair.

As refinarias de petróleo existem para extrair e converter petróleo em subprodutos do mesmo. Assim, é conveniente fazer uma avaliação dos constituintes do petróleo bruto que permitem a produção destes subprodutos. Os petróleos são normalmente avaliados pela sua origem geográfica, o que os torna únicos e com uma composição de centenas de constituintes distintos. A maior parte dos petróleos são hidrocarbonatos (constituintes que contém carbono e hidrogénio). Além do carbono e hidrogénio, o petróleo contém pequenas quantidades de outros elementos, tais como, Enxofre, Nitrogénio e alguns metais (por exemplo Níquel e Vanádio). A totalidade de constituintes do petróleo vão de uma escala de pequenas moléculas de hidrocarbonatos (metano), até moléculas grandes e complexas que contém até 50 átomos de Carbono [19].

De forma a classificar entre diferentes tipos de petróleo, duas propriedades são críticas, a densidade API (*American Petroleum Institute*) e o conteúdo de Enxofre. A densidade de um petróleo bruto indica se este é leve ou pesado. Petróleos mais leves apresentam uma proporção maior de moléculas menores e que as refinarias podem processar em gasolina, gasóleo e combustível para aviação. Por outro lado, os petróleos mais pesados contêm maior percentagem de moléculas de maiores dimensões, que as refinarias podem transformar em combustíveis pesados para indústria, asfalto e outros produtos pesados, ou por outro lado, podem transformar em moléculas mais pequenas para ser usado em produtos para combustíveis de transportes [18].

Níveis suficientemente elevados de Enxofre desativam os catalisadores que promovem as reações químicas desejadas em processos de refinação, causam ainda corrosão nos equipamentos de extração e a consequente emissão de compostos indesejáveis de Enxofre. Por exemplo, o Enxofre em combustíveis automóveis leva a emissões indesejáveis de compostos de enxofre e interfere nos sistemas de controlo de emissões dos automóveis. Por isso, as refinarias têm de remover o Enxofre do petróleo bruto extraído. Quanto maior o nível de Enxofre presente, maior grau de controlo necessário e maior o custo associado [19].

A quantidade de Enxofre presente no petróleo é indicada em percentagem, ou em partes por milhão. Assim, um petróleo com pouco Enxofre é designado como *sweet*, isto se a presença de enxofre for cerca de 0,5%. Um petróleo com grande quantidade de enxofre é designado como *sour*, quando a quantidade de enxofre varia entre 1% e 2 %. Contudo, destaca-se que existem alguns petróleos em que este nível pode ir até 4%. Em qualquer petróleo bruto, o valor percentual de enxofre tende a aumentar progressivamente com o aumento do número de carbonos, o que indica que petróleos mais pesados tendem a conter mais enxofre. A Tabela 4 apresenta as características do petróleo extraído em diferentes zonas do globo. As válvulas em estudo vão ser aplicadas na extração de petróleos nas zonas da Arábia Saudita, uma zona que contém elevados níveis de enxofre [19].

Tabela 4 - Tipos de petróleos, adaptado de [19]

Crude	País de origem	Classificação do crude	Propriedades	
			Gravidade (°API)	Enxofre (%)
Brent West Texas Intermediate	U.K. U.S.A	Light Sweet	40.0	0.5
			39.8	0.3
Arabian Extra Lt. Export	Arábia Saudita	Light Sour	38.1	1.1
Daqing	China	Medium	33.0	0.1
Forcados Export	Nigeria	Medium Sour	29.5	0.2
Arabian Light Export Kuwait Export Blend	Arábia Saudita Kuwait	Medium Sour	34.0	1.9
			30.9	2.5
Marlim Export Cano Limon	Brasil Colômbia	Heavy Sweet	20.1	0.7
			25.2	0.9
Oriente Export Maya Heavy Export	Equador México	Heavy Sour	25.0	1.4
			21.3	3.4

Além do enxofre, na extração do petróleo são ainda arrastados outros elementos tais como, água, dióxido de carbono, microorganismos e sedimentos (tais como areia e pequenas rochas). De todos estes elementos, a água é o pior e os problemas surgem quando as gotas de água saem para fora da corrente do fluxo, arrastando areias e rochas também extraídas, formando assim uma lama adjacente às tubagens e válvulas. Quando se formam estas lamas, o processo de corrosão associado à alta temperatura do petróleo extraído acelera. Além de conter todos estes elementos quando extraído, estes são terreno fértil para o desenvolvimento de bactérias anaeróbicas que se vão desenvolver no interior da tubagem e que vão produzir enxofre no seu interior. Este enxofre vai criar dificuldades adicionais na manutenção das válvulas e tubagens [20].

A fricção causada por este aglomerado de lamas também é um grande problema, especialmente em terrenos arenosos em que o petróleo extraído arrasta pequenas partículas, como areias. Nestes casos as lamas arrastadas são extremamente abrasivas e são arrastadas ao longo dos componentes de extração, o que causa bastante fricção, desgastando-os. Além destes elementos naturais que desgastam as válvulas e tubagens, por vezes a própria extração introduz elementos corrosivos. À medida que vai sendo extraído, o petróleo perde pressão e a sua extração torna-se mais difícil, assim, para facilitar a extração normalmente é bombeada água salgada do mar, ou dióxido de carbono para introduzir pressão e obrigar o petróleo a sair. A introdução destes elementos vai acidificar o petróleo tornando-o ainda mais corrosivo [20].

Face ao exposto e tendo em consideração as características do petróleo que passa dentro das válvulas trabalhadas, é escolhido o material usado no processo de *cladding* para proteção interior. O material tipicamente usado é uma liga de níquel-crómio-molibdénio-nióbio, que tem baixo teor de carbono (<0,03%) e que apresenta excelente resistência a vários tipos de corrosão. Este material, designado Nicrofer® 6020, apresenta diferentes ligas, dependendo do uso desejado. Por exemplo, para condições húmidas e de criação de corrosão com temperaturas até 593°C existe a liga 1, para aplicações de altas temperaturas (acima de 600°C) onde a resistência à deformação e rutura são necessárias existe a liga 2 (que contém uma percentagem superior de carbono (0,03-0,1%)) [21].

Para o caso em estudo, a liga selecionada foi a liga 1 que apresenta as seguintes características [21]:

- Excelente resistência à corrosão, erosão e ataque intergranular;
- Boa resistência a minerais ácidos, tais como nítricos, fosfóricos, sulfúricos e hidrolóricos;
- Boa resistência a ácidos orgânicos;
- Boas propriedades mecânicas.

Para que este material tenha uma adequada resistência à corrosão, o material tem de estar limpo e sem qualquer contaminante antes do componente fabricado entrar em serviço. Com base nestes pressupostos e tendo em conta as suas características, este material terá excelente resistência à corrosão em diversos meios [21]:

- Excelente resistência à corrosão localizada e a corrosão em fendas;
- Bastante resistente a corrosão por choque ou erosão;
- Grande resistência a ataques por minerais ácidos, tais como ácidos nítricos, fosfóricos, hidrolóricos e sulfúricos. Também grande resistência a ácidos orgânicos em condições de oxidação e redução;
- Praticamente nenhuma corrosão em atmosferas industriais e marinhas. Alta resistência à água salgada e salobra, mesmo a altas temperaturas;
- Alta resistência contra corrosão intergranular que advém de tratamentos térmicos e soldadura.

As aplicações para este material variam com a liga usada, neste caso como já foi referido foi escolhida a liga 1. Esta é indicada em indústrias que envolvam processos químicos, em engenharia marítima e em equipamentos de controlo de poluições para controlo ambiental. Os usos típicos são então [21]:

- Equipamento de produção de ácido superfosfórico;
- Reprocessamento de desperdício nuclear;
- Tubos para produção de gases ácidos;

- Sistemas de tubagem e revestimento de equipamentos para a indústria petrolífera;
- Indústrias junto à costa e equipamento marítimo;
- Purificadores de gases de combustão;
- Forros de chaminés.

2.1.5 Tratamento térmico de redução de tensões

Para reduzir tensões adicionadas ao componente pelo processo de revestimento é feito um tratamento térmico de revenido. O tratamento térmico de revenido consiste no aquecimento a uma temperatura abaixo da temperatura eutectoide, (temperatura de equilíbrio entre a fase líquida e a fase sólida de um aço) onde fica em estágio, seguido de um arrefecimento controlado a ar não forçado. O ciclo de revenido aplicado nas válvulas em estudo é apresentado na Figura 10 [22].

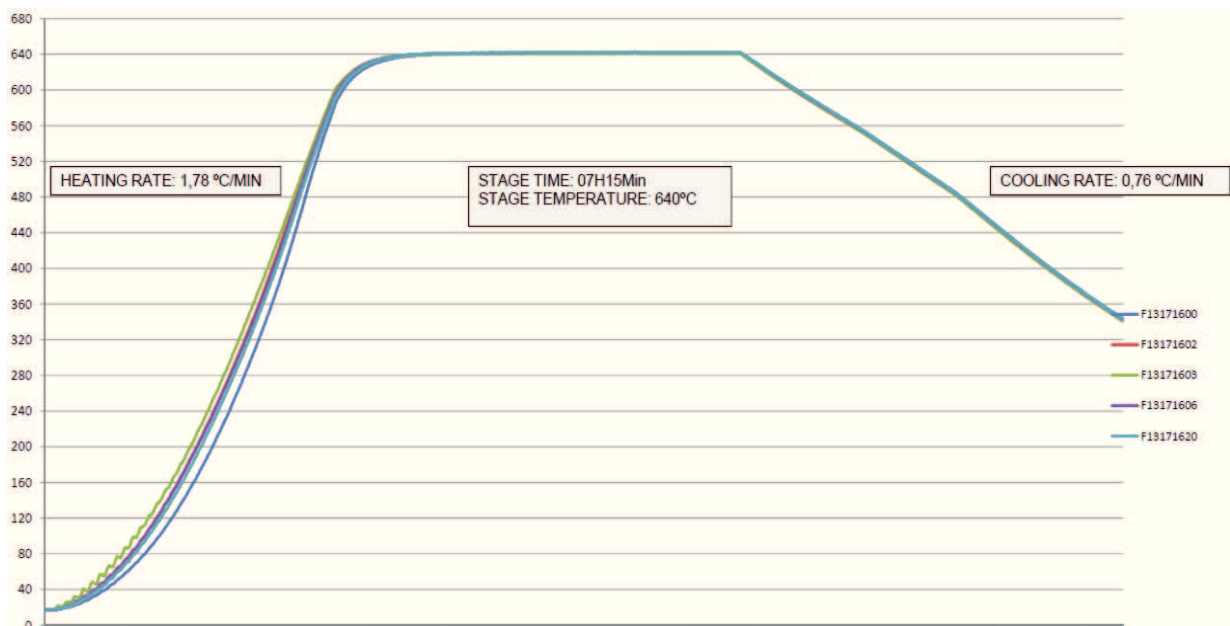


Figura 10 – Ciclo de revenido aplicado às válvulas em estudo

O processo de revenido elimina dois tipos de tensões que existem em peças de fundição. Por um lado existem as tensões microscópicas que são as tensões causadas pela deformação da malha do aço devido à presença de carbono no seu interior, por outro lado existem as tensões macroscópicas que são provocadas pelas diferenças de temperatura na

peça no arrefecimento abrupto da mesma. Ambas estas tensões aparecem, neste caso, pelo processo de revestimento, que cria grandes variações de temperaturas na superfície revestida das válvulas, causando deformação plástica e conseqüentes tensões. Além de reduzir tensões, o processo de revenido aumenta a tenacidade do aço, por serem reduzidas as tensões existentes e por acontecer um amaciamento do aço. Ao fazer o revenido os átomos que estão desviados da malha do aço vão ganhar mobilidade com o aumento da temperatura e vão movimentar-se até à sua posição certa dentro da malha, local onde se vão manter no arrefecimento controlado [22].

2.2 Gestão e implementação dos meios de produção

A parte organizacional da produção em estudo visa fundamentalmente avaliar os custos de produção, tendo como princípios funcionais de base algumas metodologias, tais como o SMED (*Single Minute Exchange of Die*), o MTM (*Methods Time Measurement*) e o SPL (*Systematic Layout Planning*). Em paralelo, a implementação física dos meios de produção foi igualmente analisada, tendo sido desenvolvido ao longo do trabalho o *layout* mais adequado à produção em estudo, contemplando os restantes produtos feitos na unidade fabril.

2.2.1 Redução de custos

Num mercado cada vez mais competitivo, em que existe muita concorrência e onde o clima de instabilidade comercial leva a uma rápida desvalorização dos produtos, é importante incumbir no projeto de uma unidade industrial ideias e valores de contenção de custos. O preço do produto é imposto pelo mercado, assim, o foco principal vai ter de ser a redução de custos associados à produção e à unidade fabril, para se conseguir criar uma unidade mais competitiva perante os concorrentes. Os líderes de baixo custo podem investir mais que os seus concorrentes, por exemplo, em desenvolvimento, ou em marketing. A redução de custos vai afetar também o preço de venda, tornando assim a empresa mais flexível em termos de preços [23].

Das várias maneiras possíveis para as empresas se poderem diferenciar (posição de mercado, marcas, ou liderança em tecnologia, entre outras) a maioria das empresas opta por tentar controlar e diminuir os seus custos. Há algumas empresas que conseguem não só reduzir os custos de forma significativa, mas também manter essas reduções. Foi concluído que estas empresas usam uma abordagem diferente, denominada “transformação de custos sustentável”. Para isso recorrem a um caminho comum que tem 4 elementos chave [23]:

- Definem objetivos com base em dados de mercado externos, e não em referências internas. Muitas empresas começam a planear uma redução de custos de cerca de 10% a 20% relativamente a valores anteriores. Estes valores são normalmente arbitrados de referências internas, mas na verdade este planeamento quantitativo deveria ser formado com base em tendências de mercado e referências externas. Perturbações de mercado, tecnologia ou o aparecimento de novos concorrentes frequentemente revelam fraquezas estruturais, ou complexidade desnecessária;
- Adequam os esforços de redução de custos à sua estratégia. A estratégia afeta a estrutura de custos de uma empresa. Uma boa estratégia considera todos os esforços na redução de custos. Por vezes é necessário um investimento por forma a estruturar uma estratégia futura de redução de custos. Ao mesmo tempo, é necessário um empenhamento de todas as áreas da estrutura da empresa num objetivo comum;
- Utilizam métricas corretas. Muitas empresas com pouco sucesso lidam com as reduções de custos sem ideia certa deste. Estas olham apenas para uma parte da estrutura, tal como despesas gerais e administrativas. Em geral, estas falham porque não consideram um negócio como um todo e vêm métricas que refletem apenas parte dele. Por vezes é necessário criar sistemas de avaliação de métricas implicadas na produção para uma avaliação de custos correta e completa;
- Focam a organização como um todo, considerando as suas interfaces e não apenas as partes individuais que as compõem. A complexidade na redução

de custos surge nos pontos em que uma unidade organizacional se encontra com outra. Os custos surgem também nas áreas de contacto organizacional. O corte de custos depende de iniciativas que necessitam de coordenação entre diferentes partes da organização ou com partes externas, como fornecedores.

2.2.2 Metodologia SMED

Este conceito nasceu nos finais da década de 50, início da década de 60, quando um engenheiro da Toyota (Shigeo Shingo) tentava calcular qual seria a capacidade ideal de um lote de produção de maneira a reduzir os custos. Até esta data, os custos de inatividade das máquinas na mudança de lotes era minimizada pela produção de grandes lotes, por forma a garantir que o tempo perdido fosse o menor possível. Segundo alguns estudos o tamanho do lote era ideal quando os custos de armazenamento iguallassem os custos de paragem dos equipamentos para mudança de lote [24].

Contudo, Shiego Shingo verificou que como os custos de armazenamento se tornavam muito altos, a solução deveria passar pela redução dos tempos de paragem, para assim diminuir os tamanhos de lote necessários e consequentemente os custos [24].

Assim, o SMED consiste na aplicação de 4 fases distintas [24]:

- Fase 0: “Não existe distinção entre operações internas e externas”. Nesta fase a mudança de lote é desorganizada e não planeada. A mudança de lote consiste na realização de várias tarefas, sendo que algumas necessitam da paragem do equipamento (internas) e outras podem ser realizadas com o equipamento a produzir (externas). Embora nesta fase ambas sejam realizadas com o equipamento parado;
- Fase 1: “Separação entre operações internas e externas”. A primeira fase passa por distinguir as operações internas e externas, e garantir que as operações externas se realizam com a máquina em funcionamento. Tipicamente, esta alteração poupa 30% de tempo na realização da mudança

de lote;

- Fase 2: “Conversão de operações internas em operações externas”. O objetivo desta fase passa por converter as operações internas em externas, isto é, por alteração de método conseguir que algumas das operações que são realizadas atualmente com a máquina parada passem a ser efetuadas com a máquina a operar. Um exemplo poderá ser, no caso de uma empresa de moldes, efetuar o pré-aquecimento do molde para assim diminuir o tempo de aquecimento do molde durante a mudança do molde na máquina;
- Fase 3: “Desenvolvimento de todas as operações de *setup*”. Esta fase tem o objetivo de reduzir as operações externas e internas, desenvolvendo soluções para realizar as diferentes tarefas de modo mais fácil, rápido e seguro.

Por forma a implementar o SMED numa organização devem ser seguidos os seguintes procedimentos [24]:

- Observar os procedimentos adotados atualmente;
- Classificar as várias operações realizadas, em operações externas ou internas;
- Converter as operações internas em externas, isto é, definir métodos de trabalho que visem a realização das operações externas com as máquinas em funcionamento;
- Desenvolver métodos que possam reduzir o tempo das operações internas;
- Desenvolver métodos que possam reduzir o tempo das operações externas;
- Criar procedimentos rigorosos de modo a reduzir as falhas na realização das mudanças de lote;
- Voltar ao início do processo e repetir todo o procedimento anterior de modo a reduzir de novo o tempo de mudança de lote.

Para que este método obtenha bons resultados é necessário estar continuamente a analisar as mudanças no processo de produção. Cada vez que são aplicadas as fases do método, são implementadas novas soluções que permitem ganhos produtivos [24].

2.2.3 Tipos de *Layout*

A organização física das instalações e dos equipamentos de qualquer organização é bastante importante. De facto, qualquer alteração de máquinas ou de fluxos de produção pode afetar a eficácia de produção, principalmente ao nível dos custos associados [25].

Ao nível do estudo das possíveis implementações físicas, um dos principais itens a avaliar são os fluxos de produção. Numa situação ideal, o fluxo deverá ser linear e contínuo, possibilitando uma economia de tempo e custos nas movimentações dos produtos e pessoas. Quando um fluxo não é contínuo os custos associados com o transporte aumentam devido às constantes movimentações [25].

Planear a disposição física de uma instalação significa tomar decisões em relação ao posicionamento dos centros de trabalho, que aí vão permanecer. Entenda-se por centro de trabalho qualquer recurso que ocupe espaço, podendo ser um departamento, uma sala, uma pessoa ou grupo de pessoas, máquinas, equipamentos, estações de trabalho, entre outros [25].

Existem algumas configurações de base, “*layouts* padrão”, que permitem organizar as empresas em função do tipo de operações e fluxos associados. Estes podem classificar-se em [25]:

- *Layout* posicional ou de posição fixa (apresentado na Figura 11). Neste tipo de *layout* o produto a ser trabalhado permanece relativamente fixo, enquanto os trabalhadores e as ferramentas se movimentam a sua volta. Este tipo de configuração é usada quando o processo de produção se realiza numa área restrita, como são o caso das produções de navios ou aviões;

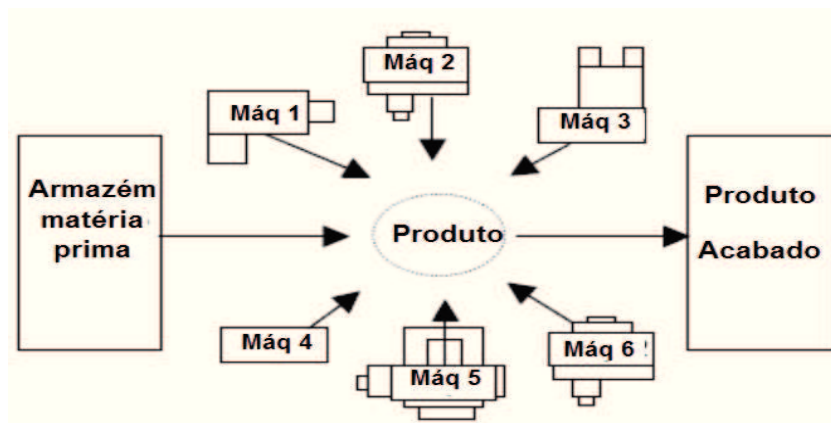


Figura 11 - *Layout posicional*, adaptado de [25]

- *Layout funcional* ou de processo (apresentado na Figura 12). Neste tipo de *layout* os recursos são organizados de acordo com as suas funções e necessidades comuns. Por exemplo, uma empresa que trabalha peças de fundição poderá ter vários setores, como o das fresadoras, o dos tornos ou até o setor de tratamentos térmicos. Neste *layout*, os produtos é que se movem, e onde as operações, desempenhadas em diferentes produtos, são semelhantes e por isso existe a possibilidade da criação de departamentos ou unidades funcionais;

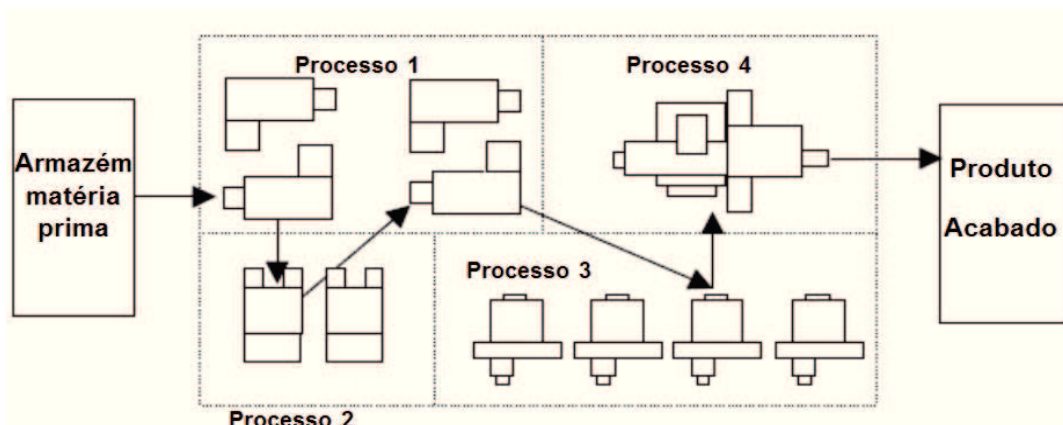


Figura 12 - *Layout de processo*, adaptado de [25]

- *Layout contínuo* ou de produto (apresentado na Figura 13). Neste *layout* os equipamentos são dispostos de acordo com a sequência de fabricação do produto, situando-se um imediatamente após o outro, o que facilita o controlo do processo e minimiza o manuseamento de materiais;

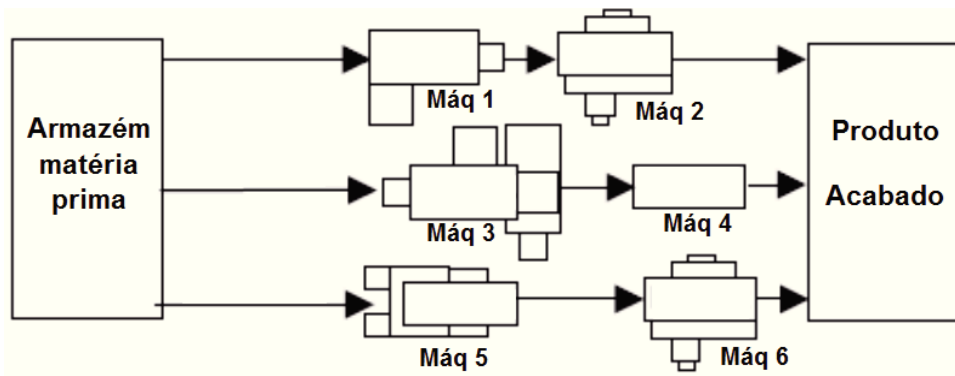


Figura 13 - *Layout* do produto, adaptado de [25]

- *Layout* em células de fabrico (apresentado na Figura 14). Neste *layout* o material para processo é direcionado para uma determinada área da fábrica, denominada célula, onde vão ocorrer as várias etapas do seu processamento. A célula tem todos os recursos necessários para a obtenção do produto acabado e pode ser organizada por produto ou processo. Com este *layout*, pretende-se limitar os fluxos e as movimentações de materiais a uma região específica da instalação, proporcionando a redução dos fluxos;

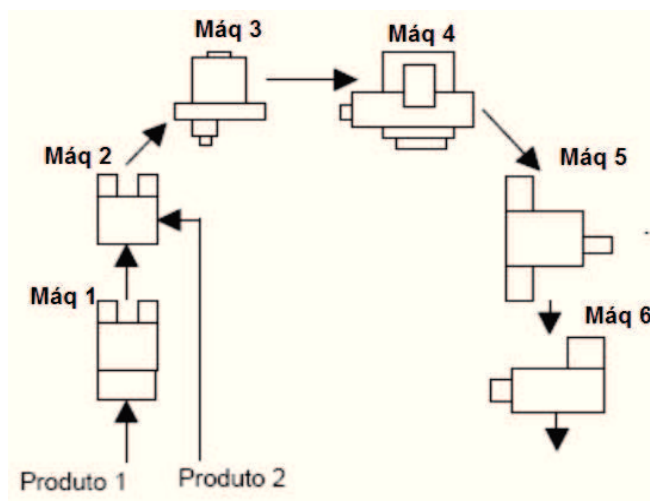


Figura 14 – *Layout* em células de fabrico, adaptado de [25]

Quando se idealiza o *layout* de uma unidade fabril devem ser seguidos alguns princípios fundamentais. Estes princípios são [25]:

- Reduzir ao máximo os transportes e vias internas, sem interferir na melhor movimentação;

- Garantir que as vias sejam racionais e os transportes em número suficiente;
- A localização dos diversos sectores de produção principais e auxiliares deve ser pensada de forma a facilitar o processo de fabrico e o seu controlo;
- As secções que interferem umas nas outras devem ser separadas;
- A superfície útil ocupada pelas máquinas e pelas diversas secções deve ser distribuída de forma económica;
- Deve ser sempre prevista a eventualidade de uma expansão da unidade fabril;
- Prever boas condições do local de trabalho, sendo a segurança a de primeira importância;

2.2.4. Metodologia SLP

No desenvolvimento de uma nova empresa, ou na expansão de uma, sem o conhecimento adequado e sem a aplicação de metodologias corretas podem ser cometidos erros. Assim, é de total interesse usar a metodologia SLP (*systematic layout planning*), que vai ajudar a organizar uma unidade industrial de maneira a facilitar os fluxos de trabalho e a redução de movimentações. Para por em prática esta metodologia devem ser seguidos seis passos [26], [27]:

1. Deve ser criado um fluxo de produção para se saber a sequência de operações necessárias para completar o produto final. Nesta fase devem já estar definidos os equipamentos que vão realizar cada uma das fases de produção;
2. O segundo passo, depois de definidas as operações, a sua ordem e os equipamentos que as realizam, é definir um diagrama de relações. Este diagrama vai definir as etapas de produção presentes na produção de determinado produto e relacionar umas com as outras, obtendo resultados em relação a necessidade de uma maior proximidade ou não, de cada uma destas etapas. Este diagrama permite relacionar todas as etapas entre si e classificar a sua proximidade da seguinte maneira:

A – Absolutamente necessário;

E – Especialmente importante;

I – Importante;

U – Sem importância;

X – Indesejável

Além de classificar a proximidade deve ser indicada a razão para ser mais, ou menos próximo. Essa informação é decidida pelos projetistas do *layout* e pode ser organizada da maneira apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Razões de proximidade no *layout*

Classificação	Razão
1	Conveniência
2	Supervisão
3	Fluxo de materiais
4	Sequência de produção

3. Avaliação do espaço necessário e do espaço disponível para dispor os equipamentos de produção da forma pretendida. Para isso deve ser feita uma avaliação do espaço necessário para cada um dos postos de produção, por forma a avaliar se todos eles se enquadram fisicamente de forma correta na unidade fabril;
4. Depois de avaliado o espaço necessário e as relações entre cada etapa do processo é criado um diagrama que relaciona o espaço ocupado com as relações. Assim, surge a criação de um *layout* inicial pouco definido, em que se representam apenas as áreas necessárias para cada etapa e se juntam as etapas que devem ficar mais próximas;
5. Verificar neste ponto, depois de distribuir as zonas de produção, se existe algum problema com esta disposição, podendo ser limitações práticas, limitações da estrutura, ou até limitações humanas. Se for necessária alguma alteração esta deve ser feita neste ponto;

6. Por fim depois de considerados e aprovados espaços, relações e restrições é então definido um *layout* final. Este *layout* deve ser detalhado, indicando todos os pontos considerados necessários, desde distâncias, a máquinas, vias e posição de trabalho dos operadores.

2.2.5. Metodologia MTM

Na procura de melhorias numa linha produtiva, ter dados suficientes para poder melhorar a linha é bastante importante. O tempo é um dado bastante importante, já que a análise de tempos numa linha produtiva permite a gestão do tempo gasto em cada posto de trabalho e permite a gestão dos tempos de todos os postos de trabalho em conjunto, para cumprir e até aumentar as encomendas. Além do tempo, o método de trabalho é também um ponto bastante importante. Uma empresa que pretenda manter-se competitiva deve procurar constantemente melhorias no seu método de trabalho, procurando novas formas de realizar tarefas e repensando a sua estrutura de produção [28].

É aqui que o método MTM (*Methods Time Measurement*) se revela importante. O conceito deste método é de que o tempo para uma determinada sequência de trabalho depende do método utilizado. Assim, o método MTM é definido como um sistema no qual as atividades normais são divididas nos seus movimentos básicos. Cada um destes movimentos corresponde a um valor de tempo normalizado. [29].

A unidade de tempo normalizada usada é TMU (*Time Measurement Unit*), em que uma unidade de TMU corresponde a 0,036 segundos. Através de observação determinou-se que, 85% dos movimentos feitos numa unidade industrial usam cinco movimentos básicos (Figura 15) [29].

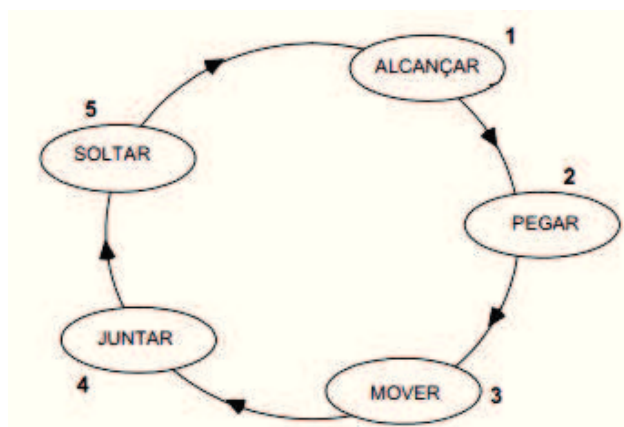


Figura 15 – Cinco movimentos básicos na metodologia MTM [29]

Os cinco movimentos podem então ser classificados da seguinte maneira [29]:

- **Alcançar** – É o movimento da mão vazia ou do dedo para um local determinado ou indeterminado;
- **Pegar** – É o movimento da mão ou do dedo para obter o controlo de uma ou várias peças, para poder executar o movimento básico seguinte;
- **Mover** – É transportar uma ou várias peças com a mão ou com os dedos, para um local determinado ou indeterminado;
- **Juntar ou posicionar** – É o movimento do dedo ou da mão, para introduzir duas peças, uma dentro da outra ou para colocar uma junto à outra;
- **Soltar** – É o movimento básico quando os dedos ou a mão perdem o controlo exercido sobre o objeto.

Para se poder contabilizar cada um destes movimentos em tempo TMU, foram criadas tabelas que padronizam este tempo em função do tipo de movimento, da sua dificuldade de realização (ou grau de controlo) e da distância até onde este é feito. Assim, obtiveram-se as Tabelas apresentadas no Anexo 1 [29].

Com as tabelas apresentadas é então possível fazer um cálculo do tempo que demora uma determinada tarefa, sabendo exatamente o método seguido e contabilizando todos os movimentos realizados pelo operador.

Além dos cinco movimentos básicos é possível fazer cálculos em tempo TMU para outro tipo de movimentos, como é o caso de movimentos com membros inferiores. Este tipo de cálculos é importante para conseguir calcular os movimentos de operações em que seja necessário o operador deslocar-se. Assim, a Figura 16 apresenta movimentos deste género com tempos padrão.

DESCRIÇÃO	Símbolo	Distância mm	Tempo TMU
Movimento dos pés - Tornozelo fixo.	FM	até 4" 100	8.5
Com bastante pressão	FMP		19.1
Movimento da perna	LM	até 6" 150	7.1
		adicione cada 1" 25	1.2
Passo ao lado - Caso 1 - completo quando a perna dianteira chega ao chão	SS-C1	menos que 12" 300	use tempo de alcan- ce ou de movimento
		12" 300	17.0
Caso 2 - perna trazeira deve- rá tocar o chão antes do iní- cio do próximo movimento.	SS-C2	adicione cada 1" 25	0.6
		12" 300	34.1
		adicione cada 1" 25	1.1
Curva inclinar ou ajoelhar em um joelho	B, S, KOK		29.0
Levantar	AB, AS, AKOK		31.9
Ajoelhar no chão - ambos os joelhos	KBK		65.4
Levantar	AKBK		76.7
Sentar	SIT		34.7
Levantar da posição sentado	STD		43.4
Gire o corpo de 45 para 90°			
Caso 1 - completo quando a perna dianteira chegar ao chão.	TBC1		18.6
Caso 2 - p. traz. deverá tocar chão antes do iníc. próx.mv.	TBC2		37.2
Andar	W-FT	por pé	5.3
Andar	W-P	por passo	15.0

Figura 16 - Tabela de tempo TMU para movimentos dos membros inferiores [30]

3. Caracterização da empresa e do Caso de Estudo

A empresa onde foi realizado este estudo é a CMS (CLADD & MANUFACTURING SERVICES), sita em Cós, Alcobaça, uma empresa pertencente ao grupo francês Mathevon. Como esta empresa teve o início das suas produções em Agosto de 2013, ainda se encontra a adaptar a produções de novas peças, como é o caso da válvula em estudo neste trabalho. Nesta empresa são prestados serviços de arranque por corte de apara, revestimento por soldadura e tratamento térmico de componentes de conexão pertencentes a empresas do setor petrolífero, atividade a que o grupo Mathevon se dedica.

Este grupo tem várias filiais espalhadas pelo globo e recentemente apostou na sua expansão para Portugal, pela criação da CMS, com o intuito de se tornar a empresa modelo do grupo (Figura 17).



Figura 17 - Empresa CLADD & MANUFACTURING SERVICES

Pertencendo a uma casa mãe, Mathevon, as principais preocupações da CMS são o cumprimento de todos os requisitos técnicos e de qualidade impostos pelo cliente final, o cumprimento de prazos de entrega e a redução ao máximo dos custos de produção (para manter a empresa competitiva dentro e fora do grupo). Numa fase inicial, apenas era fabricado um tipo de produto nesta unidade industrial. Com o decorrer do processo de instalação de equipamentos e recrutamento de pessoal, este âmbito foi alargado. O produto inicial é designado de *Bonnet* (apresentado na Figura 18), envolvendo peças que podem ter

até 3 tamanhos diferentes e que envolvem operações de produção semelhantes. Estas peças têm menor dificuldade de produção que as válvulas em estudo nesta tese e inicialmente envolviam apenas duas operações de desbaste inicial. De seguida, estas peças eram entregues a outras empresas do grupo para completar as operações até a entrega ao cliente. Atualmente a CMS possui processos produtivos para a realização deste e de outros produtos, o que inclui a válvula em análise, e mais dois produtos, designados de *treecap* e *instrument flange body*, para três clientes diferentes. De futuro, o objetivo da CMS será completar todas as etapas produtivas até à obtenção dos produtos acabados, tornando a unidade Portuguesa independente do restante grupo. Para tal, é necessário desenvolver conhecimento próprio dos produtos comercializados pelo grupo, assim como desenvolver os seus próprios métodos de trabalho.



Figura 18 - Bonnets

3.1 Capacidade instalada e Recursos humanos

Inicialmente a capacidade instalada na área fabril não correspondia às necessidades de fabrico deste novo produto. Para tal foram adicionados novos equipamentos à unidade fabril para cumprir com os requisitos desta nova produção. Os equipamentos existentes inicialmente eram os seguintes:

- Um Centro de torneamento DOOSAN PUMA 400B (Figura 19);
- Um Centro de torneamento DOOSAN PUMA 400 M (Figura 20);



Figura 19 - DOOSAN PUMA 400B



Figura 20 - DOOSAN PUMA 400 M

Estes equipamentos têm as seguintes características:

Tabela 6 - Características do DOOSAN PUMA 400B e do DOOSAN PUMA 400M

Características DOOSAN PUMA 400B	
Diâmetro máximo de trabalho (mm)	550
Comprimento máximo de trabalho (mm)	1043
Velocidade de rotação máxima (rpm)	2000
Número máximo de ferramentas	10
Número de eixos controlados	3
Características DOOSAN PUMA 400M	
Diâmetro máximo de trabalho (mm)	550
Comprimento máximo de trabalho (mm)	978
Velocidade de rotação máxima (rpm)	2000
Número máximo de ferramentas	10
Número de eixos controlados	3

- Duas células de revestimento Compact cladding cell advanced 1500 da Fronius (Figura 21);



Figura 21 - FRONIUS Compact cladding cell advanced

Estes dois equipamentos têm ambos as seguintes características:

Tabela 7 - Características da FRONIUS Compact cladding cell advanced

Características	
Carga máxima (kg)	1000
Comprimento máximo (m)	1
Permite TIG hotwire	Sim
Número de eixos controlados	3

- Um Forno Ceramifor ETH 3,3 (figura 22);



Figura 22 - Forno Ceramifor ETH 3,3

Este equipamento tem as seguintes características:

Tabela 8 - Características do Forno Ceramifor ETH 3,3

Características	
Capacidade útil (m ³)	3,3
Temperatura máxima (C°)	700
Número de zonas de controlo de temperatura	2
Potência elétrica	130KW

- Equipamento para inspeção de partículas magnéticas Magnaflux M530 (Figura 23);



Figura 23 - Equipamento Magnaflux M530

Este equipamento tem as seguintes características:

Tabela 9 - Características do Magnaflux M530

Características	
Corrente de magnetização	AC / HWDC
Voltagem de saída	17 Volts
Corrente de saída	6000 amps AC/ HWDC

- Um pórtico de transporte de peças (Figura 22), da marca Comege, para facilitar a inserção e remoção das várias peças nos dois tornos. Este pórtico tem uma capacidade máxima de 1000kg;



Figura 24 - Pórtico Comege

A seleção dos tornos iniciais teve em especial consideração as características dos trabalhos para produção das *Bonnets*. Como tal, serão sempre os utilizados para a produção deste tipo de peças ou para peças de dimensões e geometria semelhantes. Os restantes equipamentos foram selecionados tendo em conta a sua capacidade para a produção de peças de pequenas dimensões (tais como, *Bonnets*, *treecaps* e *instrument flange body*), mas também para permitir trabalhar peças de maiores dimensões (tais como, as válvulas em estudo).

Estes equipamentos inicialmente estavam dispostos num *layout* provisório, mas pensado para abranger no futuro mais equipamentos e mais fluxos produtivos. O *layout* inicial era então o seguinte (Figura 25):

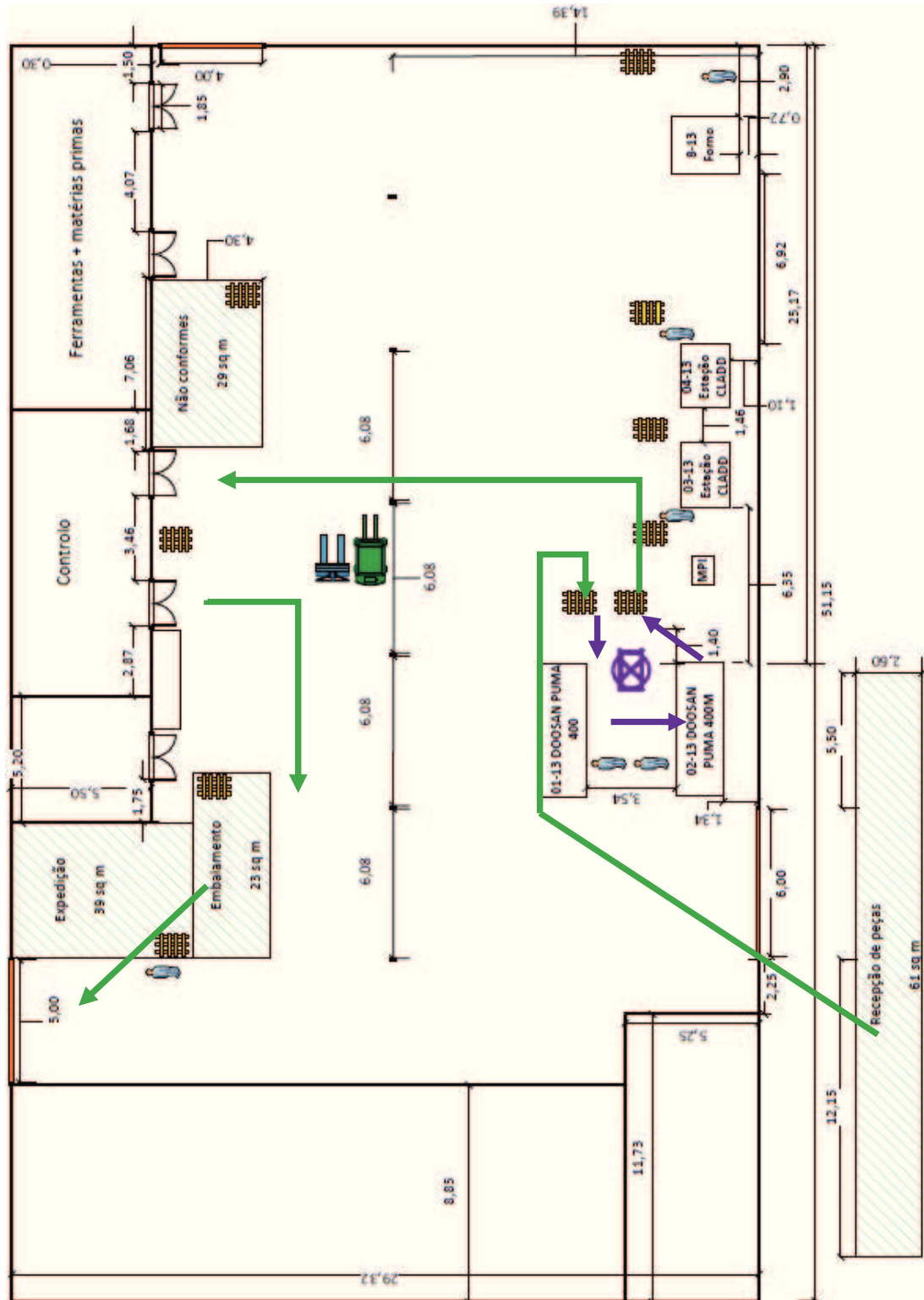


Figura 25 - Layout provisório

Neste *layout* não existia ainda a definição clara de processos e de fluxos de produção, apenas continha as movimentações necessárias para a produção das *Bonnets*. Na Figura 25 as setas a verde representam movimentações de peças por empilhador, já as setas a roxo representam movimentações de peças através do pórtico de transporte. Estes fluxos foram renovados mais tarde quando a diversidade de produtos aumentou, tendo como objetivo facilitar e melhorar as etapas de cada uma das operações produtivas.

Em relação aos recursos humanos envolvidos na produção, inicialmente eram constituídos por dois operadores de tornos, dois operadores em formação para as máquinas de revestimento e forno, um responsável pelos testes de qualidade das peças, uma pessoa de secretariado e o diretor geral, num total de 7 pessoas. Em termos produtivos, inicialmente existia apenas a produção inicial das peças *Bonnets*, como já foi referido, por isso só eram necessários os operadores de tornos, já que os processos feitos nestas peças não incluíam revestimento ou tratamento térmico. Assim, os processos iniciais de trabalho realizados eram apenas os apresentados no fluxograma da Figura 26.

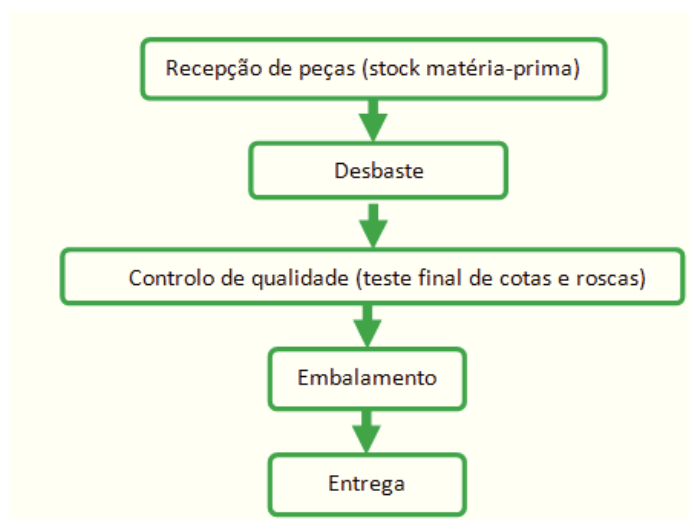


Figura 26 - Fluxograma de processos iniciais de fabrico das *Bonnets*

Com as produções a tornarem-se cada vez mais independentes do exterior e com o aumentar de processos de fabrico e produtos fabricados, foi definido um fluxograma geral de todas as produções, que indica, na produção completa de qualquer dos produtos, as etapas ordenadas do processo pelas quais estes passam. De produto para produto poderão variar o número de operações completas, por exemplo, em certos produtos o revestimento

não é necessário para completar a sua produção, mas os restantes processos são sempre feitos e pela ordem apresentada. Assim, o fluxograma geral de produções completas para todos os produtos é o indicado na Figura 27.

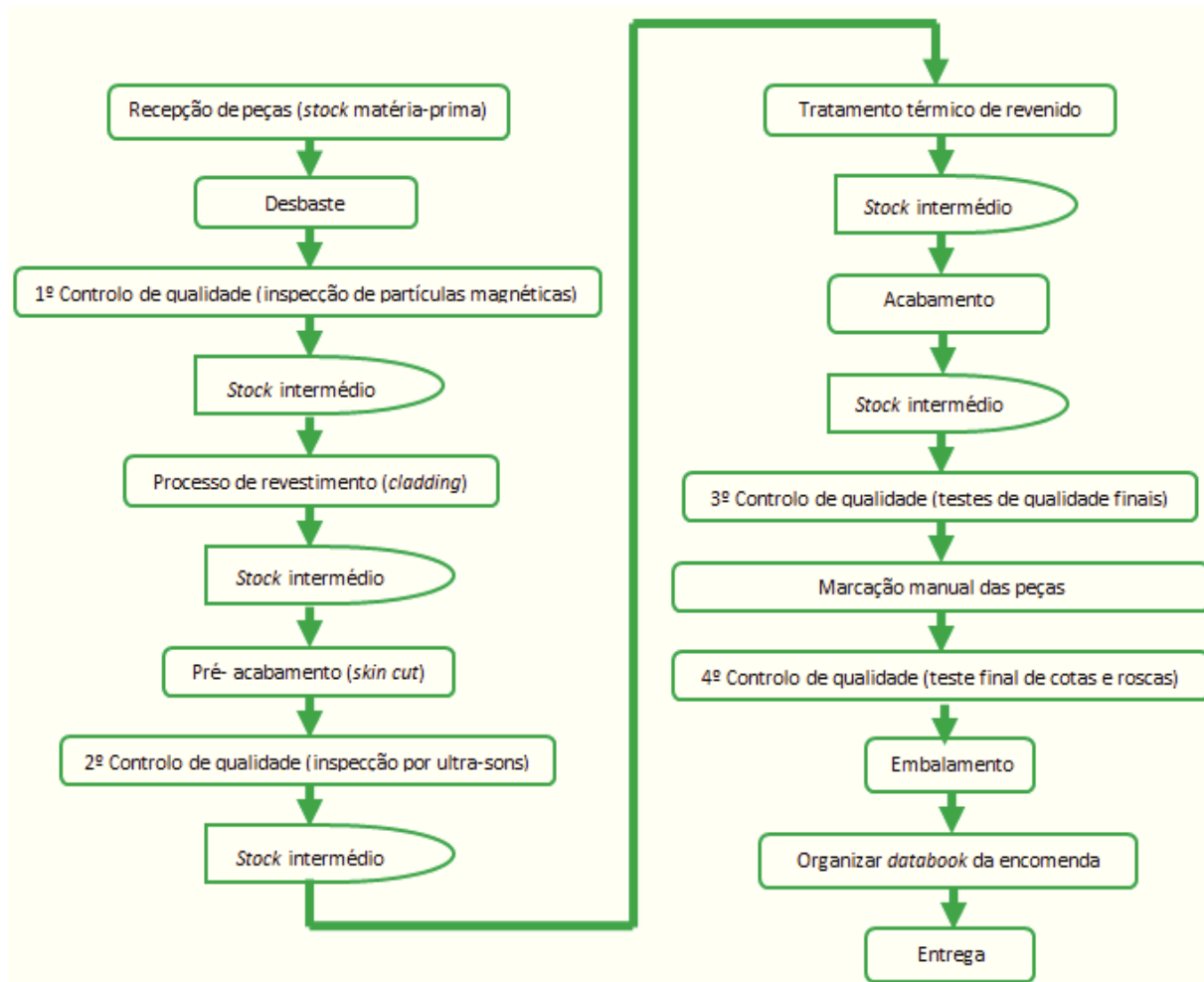


Figura 27 - Fluxograma de processos futuros

3.2 Caracterização do novo produto

O produto em estudo nesta tese é uma válvula designada de *GV Body Surface*, M130, 51/8 10K, apelidada no seio da CMS por *Vanne* (Figura 28). Esta válvula é produzida para o cliente FMC technologies. O seu desenho técnico com todos os detalhes e dimensões é apresentado no Anexo 2 para uma visualização em detalhe do produto. Em termos de fluxo, o desenho da peça é enviado pelo cliente, em conjunto com a matéria-

prima, em que a aquisição é da sua responsabilidade. A empresa FMC é uma empresa líder no desenvolvimento de soluções de tecnologia para a indústria das energias. A FMC technologies projeta, fabrica e presta serviços em sistemas e produtos tecnologicamente avançados usados na indústria energética, tais como sistemas de produção e processamento subaquático, sistemas de superfície de cabeças de poços, equipamentos de controlo de fluídos a alta pressão, soluções de medição e sistemas de carregamento marinho para as indústrias do petróleo e gás [31].



Figura 28 - Válvula Vanne

As válvulas a serem produzidas são válvulas de emergência, o que implica que o seu funcionamento não é contínuo, e sempre que necessário entrar em operação deverão cumprir a sua função sem nenhum problema. Tudo isto implica um cuidado redobrado na sua produção e um aumento de requisitos de qualidade impostos pelo cliente. De facto, os equipamentos deste género têm que cumprir a sua função sem qualquer falha, pois estas poderão ter grandes impactos ambientais no local de extração.

Um exemplo de um desastre relacionado com a extração petrolífera foi o desastre ocorrido numa plataforma petrolífera da BP (*British Petroleum*) a 20 de Abril de 2010 no Golfo do México. Este desastre aconteceu devido a explosão ocorrida na plataforma *Deepwater Horizon* que matou 11 pessoas e que levou a um dos maiores derrames de petróleo na história [32].

Este derrame de petróleo levou a efeitos catastróficos na zona de impacto, não só em impactos ambientais mas também ao nível da economia da região. De destacar: [33]

- Destruição da orla costeira da região. Aproximadamente 1100 km de

pântanos situados na costa foram afetados pelo derrame, onde as raízes da vegetação foram destruídas e deu-se início à erosão dos sedimentos expondo a costa ao mar aberto;

- O fecho de fábricas da indústria pesqueira reduziu esta produção cerca de 20%, o que causou problemas económicos para trabalhadores do sector;
- Morte de golfinhos. Desde Fevereiro de 2010 até Dezembro de 2012, 817 golfinhos foram encontrados mortos, comparando com 100 mortes no período de 2002 a 2009, reduzindo bastante a sua população na zona;

Após um inquérito feito pela BP foram indicadas falhas em sistemas de segurança que deveriam prevenir este tipo de acidente. Na altura o poço estava a ser fechado para ser temporariamente abandonado pela plataforma petrolífera. Devido a falha dos técnicos responsáveis, que não realizaram bem os testes de verificação do isolamento das condutas e que interpretaram mal os sinais de perigo, e também devido a falha do funcionamento de diversos equipamentos que deveriam prevenir este tipo de acontecimentos, especialmente válvulas de segurança, deu-se esta catástrofe [32].

Este desastre mostra que, além de ocorrerem outros problemas graves no funcionamento dos dispositivos de segurança de uma plataforma petrolífera, o bom funcionamento e estado de conservação das válvulas usadas, principalmente as de segurança, são uma prioridade neste tipo de trabalho.

3.4 Processo de Produção das válvulas *Vanne*

Esta válvula passa por uma sequência ordenada de processos que completam a sua produção, tal como já foi referido. Estes processos encontram-se identificados no fluxograma de fluxo de produção desta válvula apresentado na Figura 29, que é uma versão detalhada do fluxograma apresentado na Figura 27. No decorrer do processo de produção da válvula é atribuído uma identificação a cada zona da peça, para que se possa organizar a produção e definir tarefas claras para cada fase, mas também para fazer uma rastreabilidade dos locais onde surgem defeitos. A identificação de cada parte da válvula é a apresentada no Anexo 3 para melhor visualização.

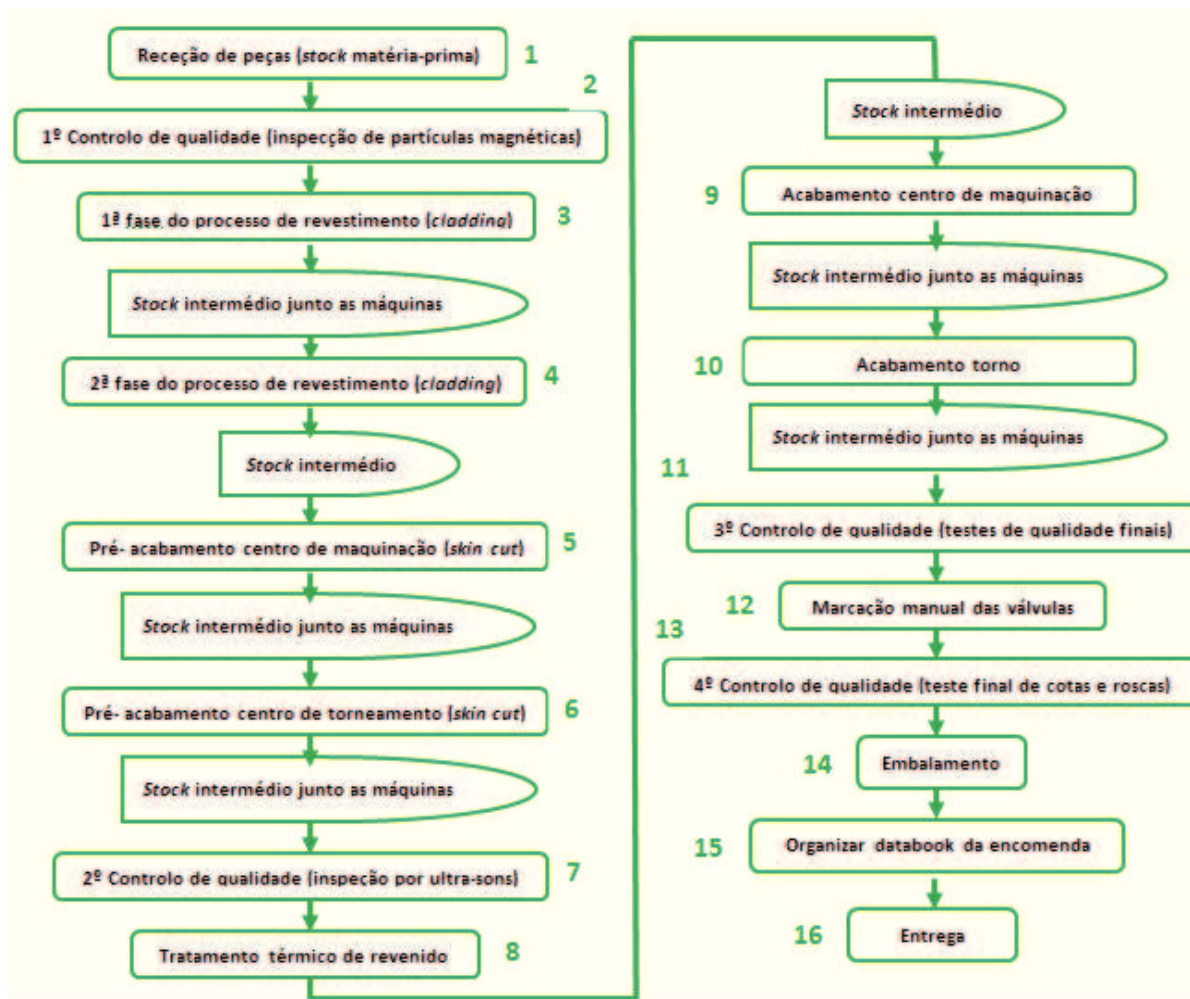


Figura 29 - Fluxograma de processos de produção da válvula *Vanne*

3.4.1 Etapas de produção das válvulas

1. Receção de peças (*stock* de matéria-prima). Quando chega à empresa, a válvula oriunda de um representante do cliente, vem apenas com um desbaste inicial (Figura 30). Este desbaste não é ainda feito nesta unidade industrial. Depois de rececionadas, as válvulas são colocadas na área de *stock* de matéria-prima e é planeada a ordem de produção das mesmas.



Figura 30 - Válvula em bruto

2. 1º Controlo de qualidade (inspeção de partículas magnéticas). Este teste tem como função identificar defeitos na superfície exterior de válvula (na superfície do aço), garantindo assim a sua qualidade antes de iniciar o processo de fabrico. Neste teste é aplicada uma tinta magnética fluorescente nas válvulas e estas são colocadas numa câmara totalmente escura (apresentada na Figura 31). Em seguida, com auxílio de um equipamento de magnetização (já apresentado na Figura 23), as válvulas são magnetizadas. De seguida, com uma luz ultravioleta é feita uma inspeção à válvula. A aplicação desta luz torna a tinta aplicada na válvula num verde fluorescente visível a olho nu, tinta que ao ser aplicada na válvula magnetizada converge para eventuais fendas que esta possa conter. Para determinar se existem defeitos superficiais basta procurar os locais onde esteja um verde mais brilhante que no resto da válvula, locais estes onde a tinta se acumula devido à existência de fendas.



Figura 31 - Câmara escura

3. 1ª fase do processo de revestimento (*cladding*). Antes de se realizar ambos os processos de revestimento é feito um pré-aquecimento das válvulas até aos 200C°, aquecimento feito para facilitar a aderência do material de enchimento à válvula e para não introduzir um grande choque térmico na sua superfície quando esta for revestida (o que ia criar elevadas tensões residuais durante o revestimento). Quando a temperatura da válvula desce, esta é coberta com uma manta térmica que conserva o seu calor, permitindo assim manter a sua temperatura durante as operações de revestimento e em eventuais pausas no processo (como por exemplo, mudar consumíveis das tochas de revestimento).

Na primeira fase, a válvula é colocada na posição apresentada na Figura 32 e são revestidas as zonas, B1, B2, Fond e Fût;

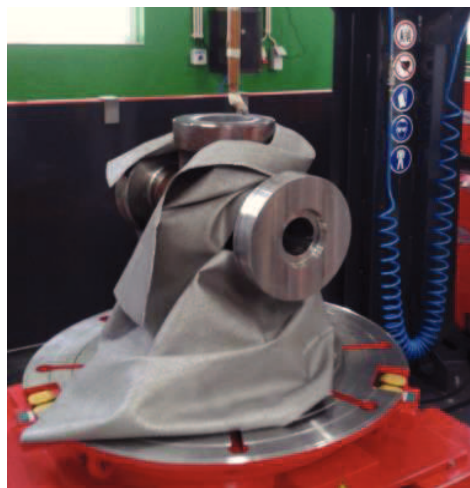


Figura 32 - Primeira fase de revestimento

4. 2ª fase do processo de revestimento (*cladding*). Na segunda fase a válvula é colocada na posição apresentada na figura 33 e são revestidas as zonas, P1, P2, G1, G2, A1, A2. Após os processos de revestimento, as zonas revestidas têm o especto da zona apresentada na Figura 34.

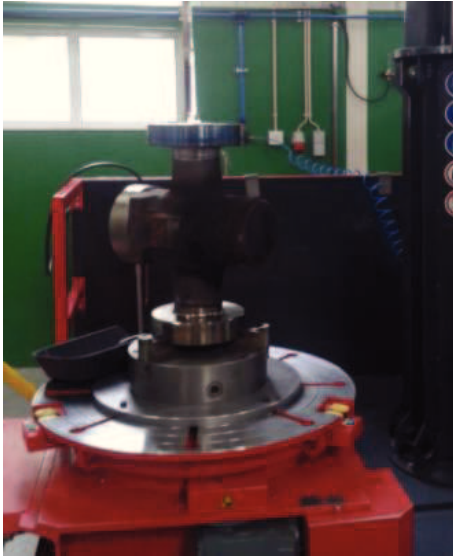


Figura 33 - Segunda fase de revestimento



Figura 34 - Válvula após revestimento

5. Pré-acabamento no centro de maquinação. Após o processo de revestimento, é feito um pré-acabamento (denominado de *skin cut*) das superfícies revestidas, para conferir a estas uma superfície com baixa rugosidade. Esta permite a realização dum teste de qualidade intermédio. Este processo de *skin cut* é feito em duas fases, onde na primeira fase é retirado o material das superfícies Cone, Fut, FB1, FB2 e Fond da válvula (canal vertical, apresentado na Figura 35), operação realizada no centro de maquinação DOOSAN NHM 6300. Esta primeira fase é efetuada no centro de maquinação, porque as dimensões da válvula não permitem a colocação no centro de torneamento na posição certa para maquinar estas superfícies;



Figura 35 - *Skin cut* no canal principal

6. Pré-acabamento no centro de torneamento (*skin cut*). Na segunda fase é removido material das superfícies G1, G2, A1, A2, P1, P2, B1, B2 (canais laterais, apresentados na Figura 36) no centro torneamento DOOSAN PUMA 480L. A razão para fazer o corte das superfícies dos canais laterais neste centro de torneamento prende-se com o facto de ser a peça a girar e não a ferramenta. Isto faz com que o corte feito seja contínuo, ao invés de um corte interrompido, conferindo assim uma superfície com melhor acabamento. Um bom acabamento nesta zona da válvula é fundamental, pois é nestas superfícies que passa o petróleo, razão pela qual estas deverão ser lisas evitando desgaste excessivo por abrasão;



Figura 36 - *Skin cut* nos canais secundários

7. 2º Controlo de qualidade (inspeção por ultra-sons). Depois do pré-acabamento é feito o teste de qualidade intermédio. Este teste consiste numa análise de defeitos no interior do revestimento depositado, recorrendo a ultra-sons. Este teste é feito antes da realização do tratamento térmico para verificar se existe algum problema com o material depositado, evitando que a válvula sofra o tratamento térmico e que depois seja necessário revestir novamente. Este teste é feito apenas em algumas zonas interiores da válvula, nomeadamente B1, B2, P1, P2 servindo apenas para controlo interno da produção, de forma a garantir que as zonas mais críticas não contêm defeitos. Este ensaio é repetido no final do processo em todas as zonas da válvula, isto porque os problemas que surgem, tipicamente, devem-se a poros ou faltas de revestimento nas superfícies, que poderão ser detetados com este tipo de controlo.

Para se realizar este teste, a válvula é coberta por um gel nas zonas que vão ser analisadas, onde de seguida com um dispositivo de ultra-sons e com uma sonda

SEB5KF3 (GE Technologies (Figura 37)), é analisada manualmente a superfície. Enquanto isso é apresentado num visor os resultados instantâneos a cada passagem. As sondas utilizadas são perfiladas através de um calibre K2-ZERT da mesma marca da sonda (Figura 38). A superfície de emissão e recepção de sinal da sonda é arredondado para que fique com o mesmo ângulo da superfície a analisar, aumentando a sua área de contacto e apresentando resultados mais fiáveis.



Figura 37 - Sonda de ultra-sons SEB5KF3

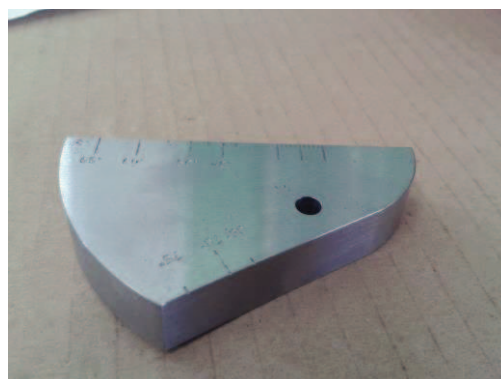


Figura 38 - Calibre de sondas ultra-sons K2-ZERT



Figura 39 - Equipamento de ultra-sons USN 58L, GE technologies

Como é apresentado na figura anterior (Figura 39), o visor do equipamento USN 58L (GE technologies) mostra os desvios sofrido pelos ultra-sons que são emitidos e recebidos de volta pela sonda. Os picos mostrados no visor mostram que existe naquela zona, uma descontinuidade de material. Esta descontinuidade pode ser uma mudança de material (indicando assim a espessura de *Nicrofer*® 6020 até a superfície da liga de aço da válvula), ou pode ser um espaço vazio no interior do

material depositado (defeito). O procedimento de calibração das sondas e o de avaliação de defeitos é realizado de acordo com normas fornecidas e indicadas pelo cliente. Um defeito deste género enfraquece o material de enchimento causando furos e fugas para o aço do petróleo extraído, bem como uma degradação mais acelerada do material de enchimento.

8. Tratamento térmico. Nesta fase é feito o tratamento térmico de revenido para reduzir as tensões inseridas na válvula pelo processo de revestimento. A Figura 40 mostra as válvulas no forno antes do revenido, já a Figura 41 mostra uma válvula após o mesmo. As válvulas são colocadas em grupos de quatro, permitindo assim rentabilizar o espaço do forno. São soldadas sondas térmicas em cada válvula para seguir a evolução do ciclo térmico de cada uma, provando assim ao cliente que o ciclo desejado é cumprido e garantindo que cada uma delas fica com as propriedades desejadas.



Figura 40 - Válvulas antes do tratamento térmico



Figura 41 - Válvula após revenido

9. Acabamento no centro de maquinaria. Após o revenido é feito um acabamento final. A primeira fase de acabamento passa pela maquinaria das superfícies Cone, Fut, FB, FB2, Fond no centro de maquinaria DOOSAN NHM 6300 (Figura 42). Esta fase tem o intuito de conferir uma superfície interior final de acordo com os requisitos do cliente. Além disso, são feitos os furos no topo da válvula para permitir o aperto dos restantes componentes que completam a montagem da válvula. Mais uma vez, de forma semelhante ao que ocorre na fase de *skin cut*, o acabamento das zonas do canal principal são realizadas no centro de maquinaria pelas mesmas razões;

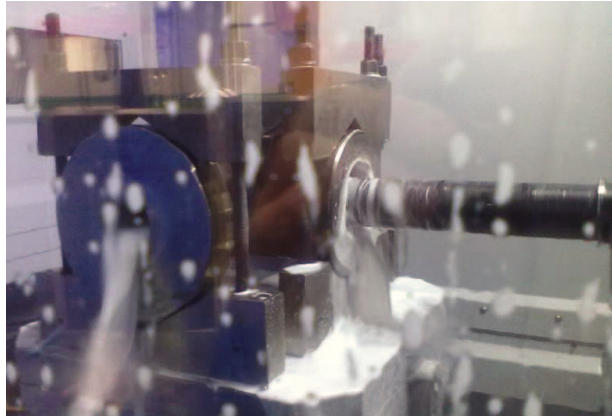


Figura 42 - Acabamento no centro de maquinação

10. Acabamento no centro de torneamento. A segunda fase de acabamento visa a maquinação das superfícies G1, G2, A1, A2, P1, P2, B1, B2 no centro de torneamento DOOSAN PUMA 480L (Figura 43), por forma a conferir uma superfície interior final de acordo com os requisitos do cliente;

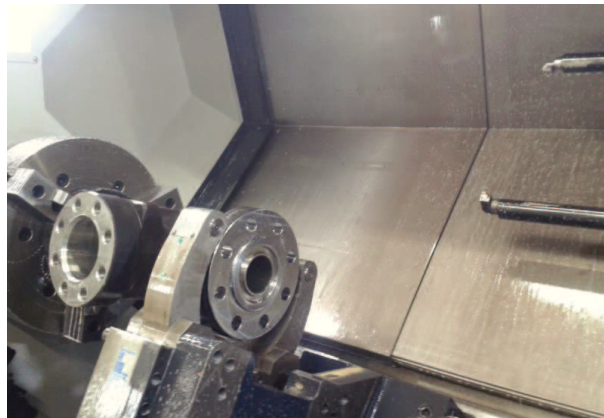


Figura 43 - Acabamento no centro de torneamento

11. 3º Controlo de qualidade (testes de qualidade finais). Nesta fase são feitos todos os testes de qualidade necessários para confirmar a qualidade final do produto. Testes estes em que os resultados são enviados para o cliente para que este os aceite. No total são feitos seis testes de qualidade distintos, nomeadamente:

- I. O primeiro teste realizado, à semelhança do 2º controlo de qualidade do processo produtivo, é um teste de ultra-sons. Este teste vai ser feito em todas as zonas interiores, à exceção das zonas G1,G2 E CONE. Numa

primeira fase do teste são analisadas todas as superfícies, menos o FOND. Para isso é aplicado o mesmo gel usado no primeiro teste de ultra-sons e com a sonda SEB5KF3 (GE technologies (Figura 44 a direita)) são analisadas as superfícies. De seguida é analisada a zona FOND, que pelo difícil acesso é analisada pelo exterior com uma sonda MSEB4, que permite uma profundidade de análise maior (GE technologies (Figura 44 a esquerda)). Esta sonda permite analisar o material depositado através do exterior facilitando o teste. O procedimento do teste é igual ao teste de ultra-sons já feito na produção em que os resultados instantâneos são apresentados num visor.



Figura 44 - Sondas de ultra-sons SEB5KF3 e MSEB4 (GE technologies)

- II. O segundo teste realizado é um teste de rugosidade. Existem indicações de acabamento superficial no desenho da válvula exigidas pelo cliente. Assim, ao longo da fabricação vão sendo verificadas estas indicações através de comparação visual e através do tato com um padrão de rugosidades. No final, associado ao teste de ultra-sons, é feito um teste de rugosidades com auxílio de um equipamento portátil de referência DH-8, (Diavite (Figura 45)) próprio para o efeito que permite a impressão de um documento com a rugosidade medida pela sonda. O resultado deste teste é apresentado em termos de validação ou rejeição, ou seja, se a rugosidade estiver abaixo do valor máximo exigido pelo cliente, é considerada conforme.



Figura 45 – Equipamento de medição de rugosidade DH-8, Diavite

- III. O terceiro teste realizado é um teste com líquido penetrante para detetar defeitos superficiais nas zonas interiores da válvula. A válvula é colocada numa bancada criada para o efeito (Figura 46) e é exposta a agentes reveladores para detetar alguma imperfeição. Primeiro, todas as zonas revestidas são pulverizadas com um solvente de limpeza para remover impurezas da superfície. De seguida, a válvula é pulverizada com uma tinta vermelha penetrante, que é deixada a atuar durante 20 minutos, como apresentado na Figura 47. Depois disso, a válvula é lavada com água e novamente com o solvente de limpeza para retirar o excesso de tinta penetrante. É então aplicada uma tinta reveladora em todas as zonas revestidas e é deixada a atuar durante 10 minutos (Figura 48). Esta tinta vai revelar a tinta vermelha pelo processo de capilaridade, identificando poros onde esta está alojada, revelando assim se existem imperfeições superficiais. Estas imperfeições são visíveis a olho nu como está apresentado na Figura 49. Depois de detetadas, estas são medidas para analisar se são ou não consideradas defeitos;

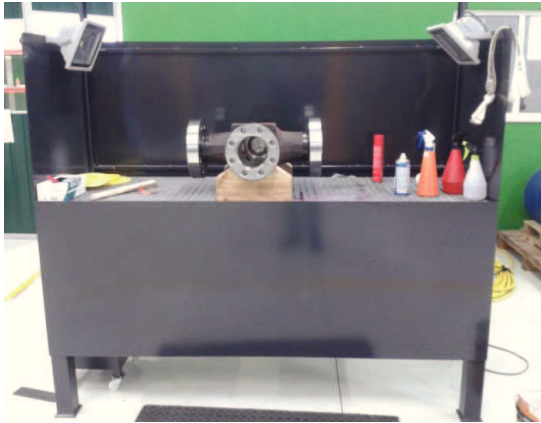


Figura 46 - Bancada para controlo da qualidade

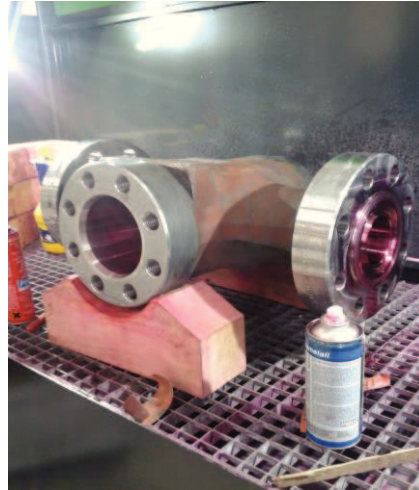


Figura 47 - Válvula com tinta penetrante aplicada

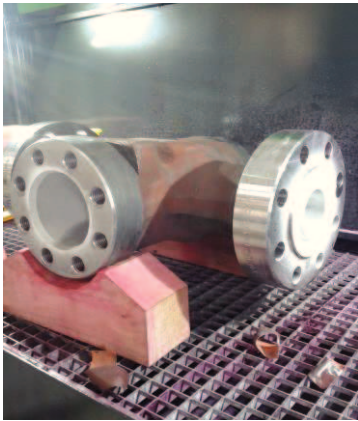


Figura 48 - Válvula com liquido revelador



Figura 49 - Imperfeições superficiais detetadas nas válvulas

- IV. O quarto teste realizado é um teste de medição da dureza. Este teste é feito no aço para confirmar se, após o tratamento de revenido (que reduz a dureza do aço), este possui dureza acima do valor mínimo exigido pelo cliente. Para medir a dureza do aço é usado um equipamento manual, de referência Brinella HBW 3000 (Mecadrum (Figura 50)), que com a força definida pela norma respetiva marca uma impressão circular na válvula (Figura 51). Essa indentação circular é posteriormente medida com um microscópio (Mecadrum (Figura 52)) com uma ampliação de 20 vezes. Através de uma escala de medida no microscópio é possível estabelecer uma relação entre esta e valores de dureza brinell tabelados, sendo depois atribuído o valor de dureza. Este teste é feito nas zonas assinaladas na Figura 53 (laterais dos furos das válvulas);

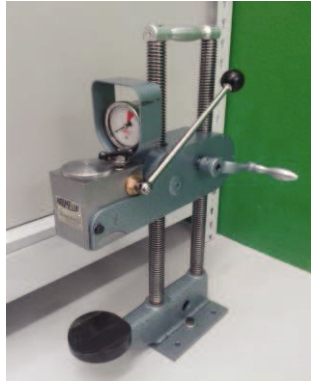


Figura 50 - Equipamento de dureza Brinella HBW 3000, Mecadrum



Figura 51 - Marcação de dureza no aço



Figura 52 - Microscópio para medição de idetações Mecadrum

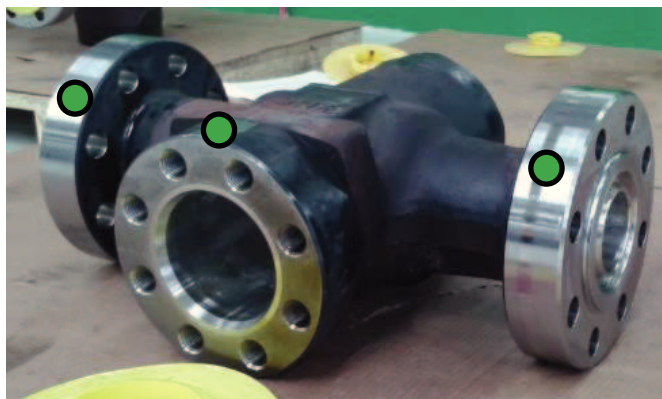


Figura 53 - Zonas do teste de dureza do aço

- V. O quinto teste é um teste de inspeção de partículas magnéticas. Este teste tem a função de identificar algum defeito na superfície exterior de válvula (na superfície do aço), sendo o procedimento igual ao teste de partículas

magnéticas feito no 1º controlo de qualidade. Este teste final assegura que a qualidade do aço não sofreu deterioração ao longo do processo produtivo;

- VI. O sexto teste é um teste de espessura do material de enchimento. Com auxílio de um equipamento portátil, de referência A456 CFBS (Elcometer (Figura 54)), é determinada a espessura da camada de Nicrofer® 6020 depositado em cima da liga de aço;



Figura 54 – Medidor de espessura A456 CFBS, ELCOMETER

12. Marcação manual das válvulas. Após a realização de todos os testes de qualidade e validados os seus resultados pode-se então fazer a marcação das válvulas (Figura 55). Cada válvula tem de ser marcada com o seu número de série, número de encomenda e dureza. Esta marcação é feita com auxílio de punções em aço, método de marcação que o cliente exige. Esta marcação é feita para, além de identificar cada válvula, saber também o percurso que esta fez ao longo da produção, para que o cliente possa fazer a rastreabilidade de cada válvula individualmente.



Figura 55 – Marcação das válvulas

13. 4 ° Controlo de qualidade (teste final de cotas e roscas). O último teste de qualidade visa a verificação das cotas da válvula. Embora ao longo do processo sejam medidas as cotas da válvula após cada operação, seja no corte por arranque de apara ou no revestimento, nesta fase são ainda confirmadas as cotas que estejam em dúvida. A medição das cotas ao longo do processo é feita com aparelhos manuais de medida, estando aqui incluídos paquímetros, paquímetros de profundidade, micrómetros interiores e micrómetros de profundidade. Além destes equipamentos existem dois equipamentos próprios para avaliar as zonas G1 e G2, em que um destes aparelhos mede o diâmetro destas zonas (Figura 56) e o outro mede a sua largura (Figura 57). Estes equipamentos são compostos por esferas calibradas de diferentes medidas que através de tabelas e segundo o valor obtido nos micrómetros dão o valor real das cotas desejadas.

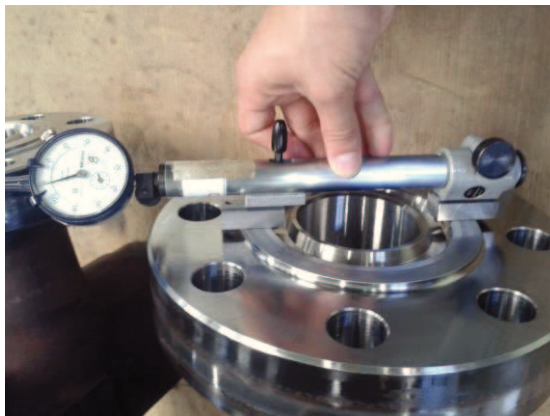


Figura 56 - Aparelho de medida do diâmetro das zonas G



Figura 57 - Aparelho de medida da largura das zonas G

O mesmo procedimento é adotado em relação as roscas, dado que ao longo do processo estas já foram verificadas com ajuda de calibres de rosca (Figura 58), efetua-se apenas uma verificação final e uma limpeza para evitar que estas vão com lixo ou ferrugem no seu interior;



Figura 58 - Calibre de roscas usado nas medições das roscas

14. Organizar *databook* da encomenda. Este *databook* é a junção dos vários documentos que contêm toda a informação da produção. Estes contêm as informações seguintes:

1. Certificados do material de enchimento e do aço relativo ao fabrico do lote de válvulas;
2. Registo dos parâmetros do processo de revestimento para cada válvula;
3. Parâmetros e gráficos do tratamento térmico de revenido para cada conjunto de válvulas;
4. Resultado do teste de dureza para cada válvula;
5. Resultado do teste de líquidos penetrantes para cada válvula;
6. Resultado do 2º teste de inspeção de partículas magnéticas para cada válvula;
7. Resultado do 2º teste de ultra-sons para cada válvula;
8. Resultado do teste de espessura de material de enchimento para cada válvula;
9. Registo do controlo dimensional das cotas em acabamento, incluindo cotas de rugosidades;
10. Certificados das qualificações dos operadores responsáveis pelo processo de revestimento.

Os resultados de cada um destes testes são apresentados no Anexo 4. Na Tabela 10 são apresentados, para cada um dos testes, as normas seguidas para a realização de cada teste, as normas que validam os resultados e os locais de cada teste na válvula. Por algumas normas indicadas serem do cliente ou do grupo Mathevon não podem ser exibidas na totalidade, sendo que nesta tabela se encontram apenas as referências das normas usadas.

Tabela 10 - Resultados e normas dos testes de qualidade

TESTES	Resultado aceite pelo cliente	Normas seguidas na realização	Local do teste
1º teste de inspeção de partículas magnéticas	API 6A, seção 7.4.2.2.8	ASME V, artigo 7	100% das superfícies preparadas para sobreposição de material, 100% das superfícies ferromagnéticas com acabamento final.
1º teste de ultrasons	API 6ª, seção 7.4.2.3.15	ASME V, artigo 4	100% das superfícies com revestimento <i>cladding</i>
2º teste de ultrasons	API 6ª, seção 7.4.2.3.15	ASME V, artigo 4	100% das superfícies com revestimento <i>cladding</i>
Teste de rugosidade	Especificação indicada no desenho	ISO 1302	Locais indicados no desenho técnico da válvula
Teste de líquidos penetrantes	API 6A , seção 7.4.2.2.9	ASME V, artigo 6	100% das superfícies com revestimento <i>cladding</i> alcançáveis
Teste de dureza	Dureza entre 197 e 237 HBW	ASTM E10	Metal base após tratamento térmico e acabamento
2º teste de inspeção de partículas magnéticas	API 6A, seção 7.4.2.2.8	ASME V, artigo 7	100% das superfícies preparadas para sobreposição de material, 100% das superfícies ferromagnéticas com acabamento final.
Teste de espessura do material de enchimento	Especificação indicada no desenho	-	Locais indicados no desenho técnico da válvula

15. A fase final do processo produtivo é a expedição. As válvulas são então colocadas em caixas de madeira, em grupos de 5, e os seus orifícios são protegidos com tampas plásticas para evitar que o seu interior seja contaminado (Figura 59). Depois de preparadas as caixas de válvulas, estas são expedidas por uma transportadora à responsabilidade do cliente.



Figura 59 - Válvula com tampas de protecção

4. Soluções e alterações necessárias na produção

4.1 Mudanças efetuadas na instalação

Para introduzir a linha produtiva destas válvulas foram necessárias mudanças nos equipamentos presentes na fábrica e na sua disposição. Os equipamentos iniciais presentes na parte de corte por arranque de apara não satisfaziam os requisitos necessários para processar as válvulas, foi então necessário adquirir novos equipamentos para este trabalho. Além disso, foram adquiridas novas estações de revestimento e novos pórticos. Os equipamentos adquiridos foram então os seguintes:

- Um Centro de torneamento DOOSAN PUMA 480L (Figura 60);



Figura 60 - DOOSAN PUMA 480L

Este equipamento tem as seguintes características:

Tabela 11 – Características do Centro de torneamento DOOSAN PUMA 480L

Características	
Diâmetro máximo de trabalho (mm)	650
Comprimento máximo de trabalho (mm)	2042
Velocidade de rotação máxima (rpm)	1500
Número máximo de ferramentas	12
Número de eixos controlados	3

- Um centro de fresagem DOOSAN NHM 6300 (figura 61);



Figura 61 - DOOSAN NHM 6300

Este equipamento tem as seguintes características:

Tabela 12 – Características do Centro de maquinação DOOSAN NHM 6300

Capacidade	
Distância de trabalho máxima eixo dos X' (mm)	1050
Distância de trabalho máxima eixo dos Y' (mm)	850
Distância de trabalho máxima eixo dos Z' (mm)	1000
Tamanho da mesa de corte (mm)	630 × 630
Carga máxima (kg)	1200
Rotação máxima (rpm)	6000
Número máximo de ferramentas	60
Permite paletização	Sim

- Uma nova estação de revestimento Compact Cladding Cell Advanced 1500 (Fronius), idêntica as que já estavam instaladas na empresa e com as mesmas características. Dado que são necessárias atualmente duas estações para fazer o processo de produção das válvulas, foi adicionada outra estação para fazer os restantes trabalhos;

- Quatro novos pórticos de transporte de peças, da marca Comege, para facilitar a inserção e remoção das várias peças nas máquinas de corte por arranque de aparas e nas estações de revestimento. Estes pórticos são iguais ao pórtico inicial instalado na unidade fabril;

Também os recursos humanos tiveram de sofrer um reforço para acompanhar o acréscimo de produção. Foram contratados mais 4 colaboradores para as máquinas de revestimento, permitindo operar as 3 estações de trabalho em dois turnos. Foram ainda contratados mais 5 colaboradores, que ficaram distribuídos pelas estações de corte presentes na fábrica, permitindo também aqui operar em dois turnos. Além disso, foram contratados mais 3 colaboradores para os testes de qualidade, marcação e embalagem das peças fabricadas. Em sumo, a empresa neste momento conta com 19 colaboradores no total. Com o aumento da produção, do número de processos e o tipo de produtos realizados, é natural que de futuro o número de colaboradores venha a aumentar.

4.1.1 Alterações de *Layout*

Para realizar a nova produção, o *layout* anteriormente adotado foi alterado, de maneira a acomodar os novos equipamentos necessários e organizar os novos fluxos de produção. O resultado final é o *layout* apresentado na Figura 61. O *layout* foi agrupado pelo tipo de peças produzidas em determinadas operações (por exemplo o corte por arranque de aparas) e agrupado pelo tipo de processo noutras operações (por exemplo revestimento *cladding* e tratamento térmico), tornando-se assim num *layout* misto, englobando o *layout* de produto e de processo. A sua adoção justifica-se por duas razões. A primeira é a necessidade de encadear o processo produtivo da válvula estudada, evitando muitas movimentações e definindo claramente as áreas de *stock* intermédio. A segunda razão é a disposição de alguns equipamentos partilhados por várias peças, que deve ser de fácil acesso para todos os tipos de peças, evitando grandes deslocações para alguns tipos de peça. Neste *layout* estão inseridos, até ao momento, cinco tipos de peças diferentes, em que algumas têm dimensões diferentes dentro das referências da mesma peça, por isso o *layout* foi pensado de forma a acomodar todas as referências de todas as peças.

A produção da válvula estudada tem os seus fluxos representados no *layout* da Figura 62, desde a recepção da matéria-prima até a expedição do produto final. Nesta Figura, os fluxos a verde são realizados com o auxílio do empilhador, os fluxos a azul são realizados com o auxílio de um porta-paletes e os fluxos a roxo são realizados com o auxílio de pórticos de transporte espalhados pela unidade fabril (a sequência de fluxos apresentada está de acordo com o fluxograma da Figura 29). A numeração deste *layout* não corresponde com a utilizada no fluxograma representado na Figura 29, servindo apenas para facilitar a visualização dos fluxos.

No Anexo 5 é apresentado este *layout*, para uma melhor visualização, com as medidas pormenorizadas da unidade fabril.

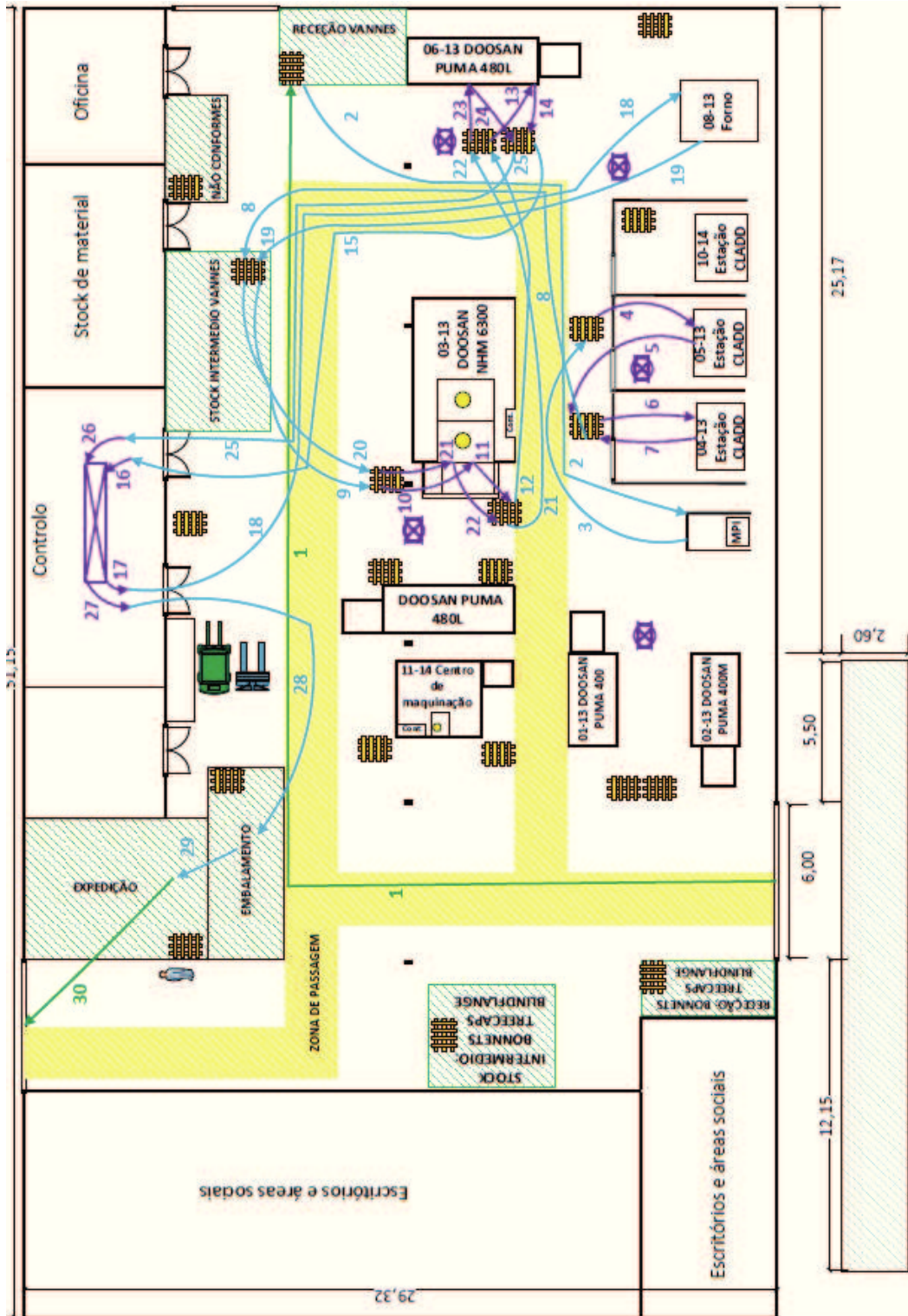


Figura 62 - Layout final da instalação fabril

Este *layout* foi conseguido empiricamente, não tendo sido feita uma análise SLP para a organização dos seus equipamentos. Esta organização foi conseguida após a seleção

dos equipamentos e já com algumas áreas da unidade fabril criadas (o caso das áreas sociais e dos escritórios). Assim, já sabendo o espaço ocupado pelos equipamentos e áreas sociais foi distribuído o espaço de forma a acomodar esses equipamentos da melhor maneira, por forma a facilitar e reduzir as movimentações dos vários tipos de peças em produção.

Por nunca ter sido aplicada uma análise SLP neste *layout* foi desenvolvida uma análise deste tipo para verificar se os postos de trabalho, maquinaria e áreas de *stock* estão dispostos da melhor maneira.

Como o *layout* com as medidas finais já existe, foi feito em primeiro lugar uma análise de relações entre os diversos postos do processo produtivo e áreas adjacentes, isto para a produção da válvula estudada, que foi a produção sobre a qual esta análise incidiu. Esta análise foi baseada na classificação de relações já apresentada no estado da arte (ver Tabela 5). Assim o resultado obtido é o apresentado na Figura 63.

DE		PARA										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Áreas administrativas e sociais	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A	E
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
2	MPI	A	E	U	U	U	U	U	I	U	U	A
		4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3
3	1ª Estação de cladding	A	I	U	U	E	U	U	E	U	U	E
		4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3
4	2ª Estação de cladding	E	I	U	A	U	U	I	U	U	I	
		4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	
5	Centro de fresagem	A	E	A	E	I	U					
		4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3				
6	Centro de torneamento	E	A	E	U							
		4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3					
7	Forno	A	A	U	U							
		4 e 3	4 e 3	4 e 3	4 e 3							
8	Stock intermédio	E	U	U								
		4 e 3	4 e 3	4 e 3								
9	Controlo	A	U									
		4 e 3	4 e 3									
10	Embalamento/Expedição	U										
		4 e 3										
11	Recepção peças											

Figura 63 – Diagrama de relações dos postos de produção das válvulas

Depois de feita a análise de relações, é criado um esquema de avaliação das posições atuais de cada um dos postos produtivos e áreas adjacentes. Os percursos apresentados neste esquema são aqueles que são considerados importantes, todos os outros

zona só existe naquele local e as pontes de transporte de peças dentro desta zona já se encontram fixas.

Outra possibilidade de mudança seria a alteração de posição da zona de receção de peças. Esta zona por ter uma relação do tipo A com o equipamento de inspeção de partículas magnéticas (representado por MPI (*Magnetic Particle Inspection*) no *layout* da Figura 63) poderia ser alterada para junto deste. Contudo, não há espaço suficiente neste local, já que aqui se encontram outras máquinas a utilizar na produção de outras peças feitas na unidade industrial.

4.2 Soluções desenvolvidas para melhorar produção

Com o decorrer da produção das válvulas, foram desenvolvidos alguns equipamentos que serviram para facilitar os processos de trabalho e minorar o tempo de troca de peças. Além disso, foram também criados documentos de controlo de produção e gestão de *stocks*, isto para auxiliar a produção, assim como para recolha e monitorização de dados importantes sobre a produção.

4.2.1 Equipamentos desenvolvidos

O primeiro equipamento criado foi a mesa de fixação para centragem automática nas estações de revestimento (Figura 65). Estas mesas são acopladas às estações de revestimento com o objetivo de ajudar a centrar as válvulas na máquina, evitando perda de tempo no *setup* de centragem. Este processo, antes da existência desta mesa, era feito manualmente e sujeito a erros de posicionamento.

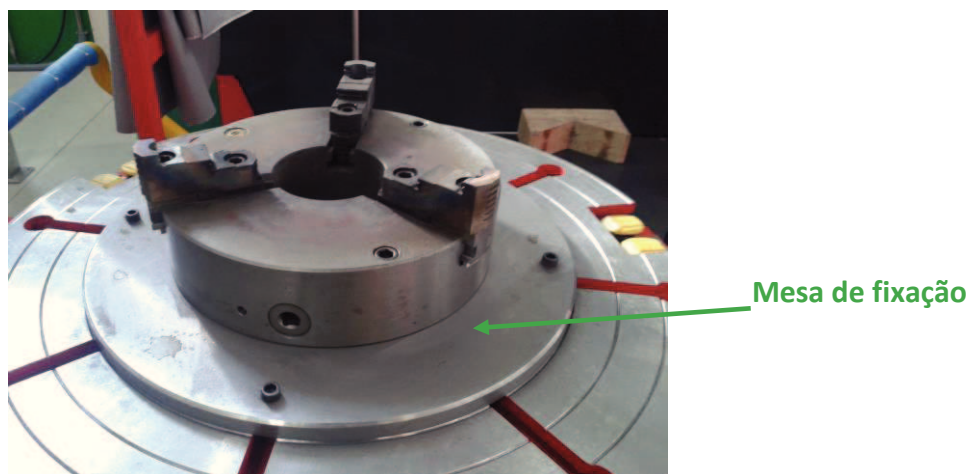


Figura 65 - Equipamento de centragem automática 3274-400, Bison

Foi ainda adquirido um equipamento de centragem automática com três garras de aperto, de referência 3274-400 (Bison). Contudo, teve de ser desenvolvida na empresa a mesa que faz a ligação entre este equipamento de aperto e a mesa da estação de revestimento (figura 66). No Anexo 6 é apresentado o desenho técnico deste equipamento.

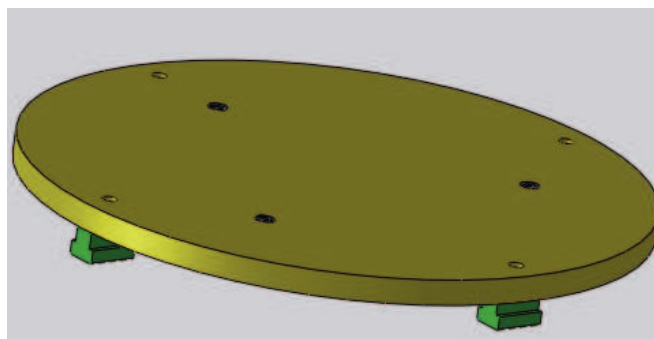


Figura 66 - Placa de apoio de equipamento de aperto

Para comprovar a melhoria nos tempos de *setup* foi feito um estudo MTM incidindo sobre a preparação de peças para trabalho. Esta preparação, apesar de ainda não seguir nenhum método em particular, tem uma fase ordenada de passos que necessitam ser executados. Assim, foram criadas duas tabelas com os movimentos necessários para realizar todos estes passos, uma com a mesa de fixação para o equipamento de centragem e outra sem esta, por forma a avaliar o impacto desta alteração. Estas tabelas, assim como os desenhos 2D do posto de trabalho da respetiva tabela, são apresentados no Anexo 7.

Os resultados obtidos mostram que, com a mesa de aperto a preparação da peça demora cerca de 130 segundos, enquanto que, sem a mesa de aperto demorava cerca de 193 segundos, isto revela uma redução de 32,6% de tempo.

$$(130/193 - 1) \times 100 = 32,6\%$$

Além destas diferenças de tempo existe ainda a garantia de que a peça fica realmente centrada, enquanto que, manualmente a peça poderia ficar descentrada afetando o processo de revestimento.

O segundo equipamento a ser criado foi uma bancada para efetuar o teste de qualidade com líquido penetrante. Este teste, por ser efetuado com tintas penetrantes e por impor uma limpeza das peças com água corrente, necessitava de um posto de trabalho adequado. Por isso, foi desenvolvida a bancada que se apresenta na figura 67. No Anexo 6 é apresentado o desenho técnico deste equipamento.

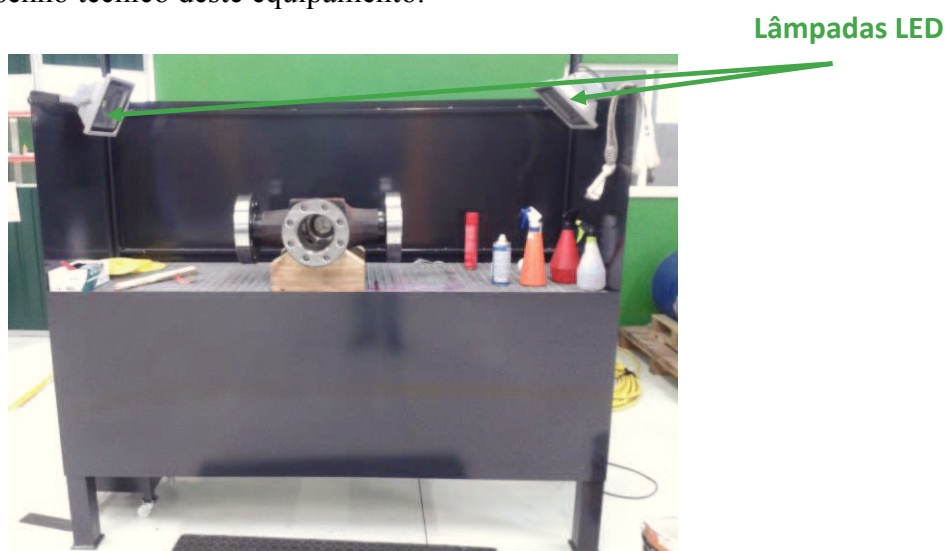


Figura 67 - Bancada para teste de líquidos penetrantes

Esta bancada foi construída por um fornecedor com base nas características definidas nos desenhos criados. Contudo, foram incluídas algumas modificações surgidas ao longo da sua produção para facilitar o trabalho. O modelo 3D inicial da bancada está apresentado na Figura 68. Depois de ter sido feita uma primeira bancada, foram assinaladas algumas mudanças que teriam de ser feitas para melhorar o seu funcionamento, por exemplo, este teste para poder ser validado necessita de uma luminosidade de 100 lux, por isso, inicialmente iria ser colocada uma luz na parte superior da bancada para iluminar

as peças. Depois de analisada a questão foi modificada a posição das lâmpadas porque as peças são colocadas com o empilhador na bancada e uma barra com luz na parte superior não permitia o posicionamento correto das peças. Assim, optou-se por colocar duas lâmpadas LED (*Light Emitting Diode* (apresentadas na bancada da Figura 67)), uma em cada lateral da bancada, proporcionando a luz necessária e não criando sombras nas peças. Outra modificação feita foi a montagem de duas portas nas zonas de trabalho, para permitir em peças de difícil acesso, a abertura de duas portas para aplicar as tintas. Sendo que, sempre que uma estiver aberta a outra está fechada, para quando se lava as peças com água corrente esta não saia da bancada e seja descarregada diretamente para um reservatório criado por baixo da bancada (Figura 68).

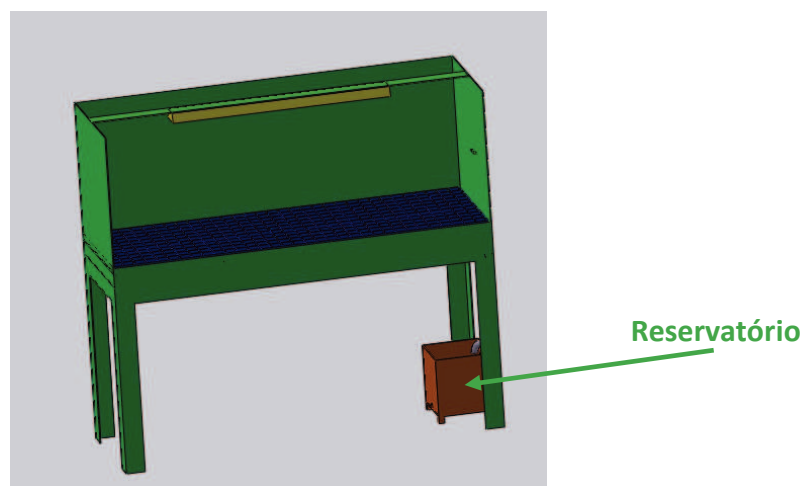


Figura 68 - Modelo 3D inicial da bancada

O terceiro equipamento a ser criado foi uma plataforma (Figura 69) aplicada junto ao centro de maquinação DOOSAN NHM 6300. Esta plataforma facilita a paletização deste equipamento, reduzindo assim tempos de *setup* relacionados com este processo. Antes de ser aplicada esta bancada, tinham de ser usadas paletes, que eram retiradas depois do *setup* feito, para elevar os operadores (isto porque a mesa de paletização está muito alta em relação ao chão). Assim, foi desenvolvida uma plataforma elevada do chão para reduzir tempos, que tem também uma bancada com toda a ferramenta necessária para esta operação, facilitando e tornando mais rápido este *setup*. O modelo 3D deste elemento está apresentado na Figura 70. No Anexo 6 é apresentado o desenho técnico deste equipamento.



Figura 69 - Plataforma de apoio a *setup*

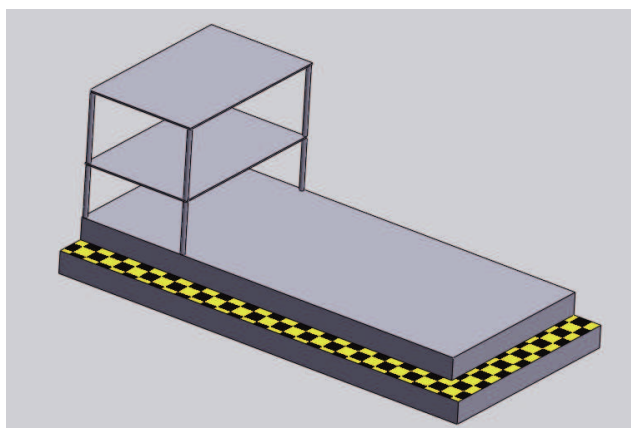


Figura 70 - Modelo 3D da plataforma para centro de fresagem

Para comprovar a melhoria nos tempos de *setup* foi feito um estudo MTM sobre a preparação de peças para trabalho. Esta preparação, semelhantemente o que acontece nas máquinas de revestimento, ainda não segue nenhum método em particular, mas tem uma fase ordenada de passos necessários para a sua realização. Assim, foram criadas duas tabelas com os movimentos necessários para realizar todos estes passos, uma com a bancada e outra sem esta. Estas tabelas, assim como os desenhos 2D do posto de trabalho da respetiva tabela são apresentados no Anexo 7.

Os resultados obtidos mostram que com a bancada os passos para a preparação da peça demora cerca de 552 segundos, enquanto que, sem bancada demora cerca de 578 segundos, isto revela uma redução de 0,045% de tempo. Apesar de a redução de tempo ser pequena nesta preparação, ergonomicamente para o operador da máquina é melhor ter uma

plataforma toda ao mesmo nível, ao invés de ter de descer paletes e deslocar-se a uma bancada baixa e longe, sempre que necessita de algum objeto.

$$(552/578 - 1) \times 100 = 0,045\%$$

4.2.2 Documentos de controlo criados

Para fazer um controlo de custos associados a material consumível, foram elaborados quatro documentos que ajudam a gerir o *stock* deste material.

O primeiro documento, apresentado no anexo 8, com a referência interna ARM-IMP-001, tem a função de controlar as entradas e saídas de materiais, à exceção dos materiais relacionados com as estações de revestimento que têm um documento próprio. Os materiais em *stock* podem também ser não consumíveis, sendo que no segundo caso este material tem uma saída e depois uma entrada novamente em *stock* não entrando na contabilização de custos associados as produções. Este documento foi criado para evitar ruturas de *stock* de material e avisar quando os níveis de *stock* de uma determinada referência estão baixos, para que seja feita a sua encomenda. Neste documento, o colaborador que retirar material, além de assinar e identificar que material retirou do *stock* e que quantidade, tem também de identificar quantas unidades sobraram. Isto para que haja um controlo de quem retira o quê, não havendo a possibilidade de material sair do *stock* sem o respetivo registo.

Este documento poderá no futuro servir de histórico para o consumo de todos os tipos de materiais presentes no *stock* e para que de futuro possa ser feita uma análise de consumos de material.

O segundo documento elaborado, apresentado no Anexo 8, de referência ARM-IMP-002, é um documento que permite a qualquer colaborador, ou ao responsável de *stock*, fazer um pedido de material. Este foi desenvolvido por forma a permitir elaborar uma ficha com vários pedidos de material, que vão servir para realizar as encomendas/compras necessárias aos fornecedores. Este torna o processo de encomenda de material muito mais simples, o que é importante dado que não existe atualmente um departamento de compras na empresa. Em suma, cria-se um registo de todas as

encomendas que devem ser feitas a fornecedores, para se saber o que já foi encomendado e o que está por encomendar, evitando assim a repetição de um pedido de material. Neste documento identifica-se o componente a encomendar, a quantidade a encomendar, o dia em que o colaborador fez o pedido neste documento, o dia em que o responsável fez a encomenda ou compra direta ao fornecedor e quem é o fornecedor. Este documento, de forma simples organiza as compras de material de *stock*, não havendo excesso de material pedido e informando quem fez o pedido de um material específico.

O terceiro documento elaborado, apresentado no Anexo 8, de referência ARM-IMP-003, serve para gerir, por lote, a saída das bobines de material de enchimento usadas na fase de revestimento. Este justifica-se pelo controlo apertado em relação ao material de enchimento, por parte do cliente, visto que este terá de receber um certificado enviado pelo fornecedor do lote em como o material tem as características desejadas. Assim, deve ser registado o lote de material usado em cada válvula, garantindo ao colaborador que está a usar o lote certo de fio na peça certa. Para além disto, por ser um material caro há a necessidade de registar se o material já foi utilizado e quem o retirou do *stock*, por forma a evitar problemas de rutura de *stock* ou, em caso extremo, perda de material.

O quarto documento elaborado, apresentado no Anexo 8, de referência ARM-IMP-004, é um documento em tudo semelhante ao primeiro documento que permite identificar os materiais que saem e entram no *stock*, aqui incidindo apenas no material usado nas estações de revestimento. Este documento foi o último a ser criado, sendo a sua principal justificação a falta de controlo da cadência de uso dos materiais consumíveis desta área. Existia uma cadência de uso maior que a esperada inicialmente o que causava ruturas no *stock*. Assim, existindo apenas um documento com os materiais desta área, além de verificar mais facilmente o uso de material por operador e por máquina, facilita-se a visualização dos materiais retirados para que não exista rutura de *stock*. No caso das áreas de corte por arranque de apara não foi necessário um documento específico porque, estas máquinas seguem programas específicos que aliados a experiência adquirida por cada operador dão as referências de material usado, principalmente pastilhas de corte, assim como a quantidade de material médio usado por peça feita.

4.2.3 Documentos de padronização e gestão de produção

Na gestão produtiva já existem quatro dossiês para cada encomenda de peças realizada, disponibilizados para cada uma das fases de produção (operações de torneamento, operações de fresagem, operações de *cladding* e controlo). Estes dossiês servem para sejam registados os parâmetros de produção e as cotas necessárias, assim como para que o operador tenha acesso a toda a informação necessária para realizar cada etapa do processo (por exemplo, programas de corte por arranque de apara e programas de *cladding*). Além dos dossiês, existem também fichas para registo de defeitos, para que sempre que surja um defeito seja registada a ocorrência (peça, localização do defeito na peça e resolução).

No âmbito deste trabalho, e como se pretende a avaliação dos custos da produção do novo produto, a informação existente não era suficiente para uma correta avaliação dos custos de produção das fases de corte por arranque de apara, que seguiam informações enviadas pelo grupo e que muitas vezes não estavam corretas com a realidade desta unidade fabril. Assim, teve de ser criado um dossiê para registar as informações necessárias neste âmbito (informações apresentadas no Anexo 9). Primeiramente fez-se este documento para o produto em estudo na tese, sendo que depois disso já foram criados mais três documentos com informações de outros produtos criados nesta unidade fabril. De futuro, da mesma forma, serão criados os documentos necessários para os novos produtos.

Na válvula em estudo, o dossiê contém as seguintes informações referentes as operações de corte por arranque de apara:

- Quantidade e referência de pastilhas de corte usadas em cada uma das fases de trabalho, no centro de torneamento e no centro de maquinação. Como já explicado o corte das válvulas, tanto em torneamento, como em fresagem é feito com o aperto de pastilhas de corte nas extremidades das ferramentas. Estes elementos são considerados consumíveis, visto que o seu uso é de pequena duração pois sofrem grande desgaste aquando do corte. Estas pastilhas são de várias marcas e várias referências. Em cada fase de corte as características necessárias das pastilhas alteram-se, sejam elas a geometria da pastilha, a sua dureza, o seu tamanho de grão, o seu diâmetro de corte e até o seu preço. Estas questões são analisadas pelo grupo Mathevon, que envia as referências de pastilhas a serem usadas em cada operação, mas não

uma identificação do número de pastilhas usadas, sendo que por vezes também a referência de pastilhas enviada pelo grupo é alterada por uma referência melhor. Era então necessário uma indicação do número de pastilhas usadas, a sua referência e marca, para fazer o corte de cada válvula, podendo assim fazer-se uma análise de custo por válvula, em função das pastilhas utilizadas. A informação necessária para determinar quantas pastilhas são usadas por válvula foi adquirida através do histórico obtido junto dos operadores, que através do conhecimento já adquirido e registos feitos, permitiram calcular o número de pastilhas médio consumido;

- Informação completa dos programas de corte para cada uma das fases de corte. Esta informação indica, em que fase são usadas cada uma das ferramentas (indicando a sua referência e marca) e também em que fase são usadas cada uma das referências de pastilhas, bem como informações sobre o raio de ponta da pastilha usada, velocidade de corte e avanço. Esta informação vem já compilada do grupo Mathevon, contudo, os programas originais são modificados nesta unidade para otimização do processo, com alterações de ferramentas e da sua posição, ou alterações nas pastilhas usadas;
- Fotos de todas as ferramentas usadas. Em cada uma das fases foram identificadas todas as ferramentas usadas e foi feito um registo visual de cada uma, bem como a sua posição nos suportes de ferramentas. Esta informação é importante para que os operadores possam fazer uma confirmação visual da ferramenta usada e da sua posição na máquina;
- Representações 3D enviadas pelo grupo Mathevon da forma como devem ser fixadas as válvulas e qual a posição certa de fixação, tanto para o centro de torneamento, como para o centro de maquinação.

Das informações compiladas acerca produção feita nesta unidade industrial, das mais importantes é a informação sobre o número de pastilhas usadas. Esta informação possibilita um estudo sobre o custo associado ao corte por arranque de apara de cada válvula, em termos de consumíveis, neste tipo de operação. Os consumíveis usados

assumem uma parcela de custos que vai de 20% até 79% (percentagens baseadas no estudo de custos de cada fase de produção, que não é aqui apresentado por conter informações confidenciais), o que faz deles um elemento bastante importante, tornando o seu controle e gestão essencial.

Um novo projeto já iniciado, é a passagem de alguma da informação compilada neste dossiê para os dossiês disponibilizados na produção, nomeadamente nas fases de corte por arranque de apara. As informações que foram copiadas para estes dossiês são: informações das ferramentas usadas; informações das posições das ferramentas e das pastilhas usadas. A informação de pastilhas usadas é importante aqui porque podem ser feitas melhorias no processo de produção (que podem levar a um menor consumo de pastilhas) e também pode ocorrer a mudança de referências de pastilhas, assim esta informação fica atualizada de encomenda para encomenda. Com base nestes dossiês atualizados a cada encomenda, atualiza-se também o dossiê principal de cada peça mais rápido.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

5. Oportunidades de melhoria encontradas ao longo da produção

À medida que foram sendo feitos os trabalhos nas válvulas foram surgindo dificuldades que tiveram de ser analisadas e ultrapassadas para melhorar a produção. Na parte de corte por arranque de apara as dificuldades sentidas foram devido à difícil maquinabilidade do material de revestimento. Este material é difícil de maquinar devido a uma série de fatores:

- O encruamento ocorre rapidamente a partir dos esforços aplicados sobre o material durante a maquinação;
- Alto desgaste abrasivo da ferramenta devido à presença de diversos carbonetos;
- Soldadura por fricção da liga de Nicrofer® 6020 na superfície da ferramenta de corte, devido à alta adesão da liga e também das baixas velocidades usadas na maquinação;
- Grandes taxas de difusão entre a peça e a ferramenta devido às altas temperaturas na região de corte;
- Alta ductilidade do material levando a uma dificuldade de formação da apara;
- Liga com baixa condutividade térmica, tornando a liga refratária. Esta característica prejudica o desempenho da ferramenta uma vez que o calor gerado na zona de corte não é extraído nem pela peça, nem pela apara retirada.

Nos processos de corte por arranque de apara, até a data, o que foi modificado para diminuir ao máximo os efeitos negativos explicados foi uma modificação do lote de pastilhas de corte usadas para melhorar o seu desempenho, “jogando” também um pouco

com o preço da pastilha usada. Estes estudos foram realizados pelo operador, em conjunto com os fornecedores, que com o acumular de válvulas feitas conseguem determinar, com amostras de pastilhas usadas, quais as referências que proporcionam melhor acabamento em função do preço. Os estudos sobre quais as melhores pastilhas usadas continuam ainda hoje a ser feitos, não só nas válvulas em estudo, mas também noutras peças fabricadas na unidade. No entanto, nas válvulas em questão, o lote de pastilhas usado até esta altura provou ser o melhor relativamente à qualidade vs preço, mesmo com alguns testes feitos já após a formação deste lote.

Além das dificuldades encontradas no corte por arranque de apara surgiram também dificuldades no processo de revestimento. Este processo ao longo da produção das válvulas tem sido o processo mais problemático, sendo que uma grande quantidade de defeitos têm surgido na deposição do material de enchimento (65 defeitos em 56 válvulas produzidas). Para avaliação e registo dos defeitos encontrados foram criadas fichas de registo de não conformidades. Nestas fichas, apresentadas no Anexo 10, o operador que identifica o defeito, escreve o defeito e em que fase o encontrou, além disso indica no documento a zona da válvula onde foi descoberto o defeito e também que processo foi usado para corrigir o defeito encontrado.

Com uma análise feita a estas fichas de não conformidades verificou-se que 40% dos defeitos registados foram poros na superfície do revestimento. Além dos poros, apareceram 50,7% de defeitos relacionados com falta de revestimento. Os restantes 9,3 % foram devido a erros diversos que por apresentarem uma baixa percentagem não foram analisados (Gráfico de Pareto apresentado na Figura 71).

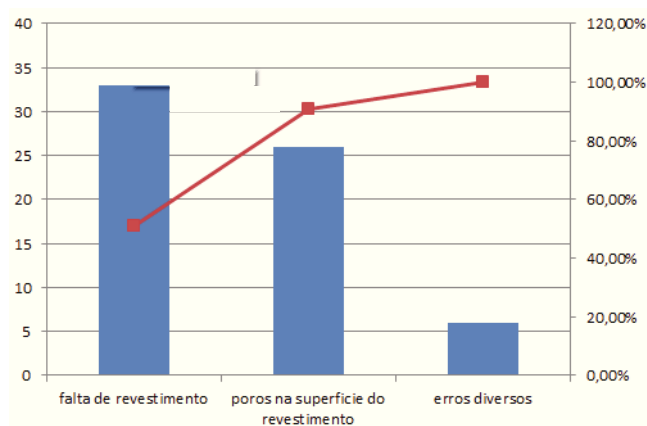


Figura 71 – Gráfico de Pareto dos defeitos encontrados nas válvulas

As ações tomadas para correção destes defeitos foram as seguintes:

- No defeito de falta de revestimento, em 50% das vezes é revestido manualmente um cordão de soldadura para preencher a falta de revestimento. Nas outras 50% de vezes é realizado um cordão automaticamente nas estações de revestimento, sendo que esta solução é efetuada quando o acesso manual ao interior da válvula é muito limitado. Posteriormente ao processo de revestimento é feito um processo de acabamento adicional no centro de torneamento DOOSAN PUMA 480L, e por fim, é feito um teste extra de líquidos penetrantes para confirmar se o erro foi corrigido;
- No defeito de poros na superfície do revestimento, é feito em primeiro lugar um corte na superfície do material de enchimento na zona do defeito no centro de torneamento DOOSAN PUMA 480L. De seguida é feito o revestimento da zona P da válvula, zona onde normalmente surge este defeito. Por fim, é feito um processo de acabamento extra no centro de torneamento DOOSAN PUMA 480L, seguido de um teste extra de líquidos penetrantes para confirmar se o erro foi corrigido.

Além da correção dos problemas encontrados foi necessário iniciar uma avaliação das causas dos defeitos, de forma a evitar no futuro a sua repetição. O problema da falta de revestimento foi corrigido com uma velocidade de deposição menor, evitando assim espaços sem material de enchimento. Determinou-se ainda que o seu aparecimento devia-se a erro na programação da máquina ou erro do operador e que com a correção feita na velocidade de revestimento e com um cuidado adicional no trabalho o problema seria reduzido. Após a implementação destas soluções, será feita novamente uma avaliação dos registos de não conformidades para se verificar se estes defeitos foram realmente eliminados.

O problema dos poros está ainda em estudo porque não foi encontrada a sua causa raiz. Contudo, com esse intuito foi feita uma pesquisa para se determinar a razão do seu aparecimento, de forma genérica. Como tal, verifica-se que a porosidade é uma descontinuidade no processo de revestimento que surge da evolução dos gases durante a

solidificação da solda. As bolhas de gás podem ser aprisionadas pelo material solidificado à medida que a zona de fusão é deslocada [34].

As causas mais comuns de porosidade são a contaminação por sujidades, humidade, óleos e massas. Correntes de ar durante o revestimento ou ainda corrente e tensão inadequadas podem causar estas descontinuidades no processo de revestimento. A porosidade pode ser minimizada pelo uso de equipamentos em boas condições e o uso de parâmetros de revestimento adequados [34].

Tendo em conta estes fatores, o procedimento adotado passou a ser, sempre que é revestida uma válvula, realizar uma limpeza da superfície a soldar, e entre as suas passagens de revestimento são feitas limpezas da camada já depositada para evitar contaminações. Em paralelo, foram alterados os materiais de consumo das células de revestimento. No futuro, ir-se-á analisar se estas medidas surtiram efeito e se não forem suficientes, ir-se-á fazer uma nova análise para verificar outras potenciais causas.

6. Discussão de Resultados

Paralelamente ao trabalho já realizado e retirando informações deste trabalho, foram, por fim, desenvolvidas duas análises distintas ao processo produtivo. Para estas análises foi elaborado um documento em *Excel*® que permite reunir a informação dos custos associados a cada uma das fases de produção, possibilitando a elaboração de gráficos que demonstram quais os processos que estão a envolver mais recursos monetários para a produção das válvulas. O mesmo documento inclui ainda informação sobre os tempos de produção de cada uma das fases, o que permite ilustrar graficamente quais os processos que dispendem de mais tempo na produção das válvulas.

6.1 Análise de custos

Na elaboração do gráfico de custos foram analisadas cada uma das fases de produção, para determinar quais os custos diretos de cada uma delas. Para cada uma das fases foram analisados os seguintes custos:

- Custo associado ao gasto energético de cada máquina no decorrer do tempo de operação;
- Custo associado ao operador de cada máquina no decorrer do tempo de operação;
- Custo associado aos consumíveis gastos em cada uma das fases para conseguir completar a produção. Nos processos de corte por arranque de apara foram considerados, como consumíveis, as pastilhas de corte gastas durante a produção, sendo que nos processos de revestimento foram considerados como consumíveis, a quantidade de material de enchimento usado e o gás gasto durante cada fase de revestimento. Nos testes de

qualidade foram considerados como consumíveis, as tintas usadas no teste de líquidos penetrantes e as tintas usadas no teste de inspeção de partículas magnéticas.

O resultado alcançado com esta análise de custos encontra-se ilustrado na Figura 72. Esta Figura apresenta os custos de cada uma das fases em valores relativos, relativamente ao custo total de produção de uma válvula.

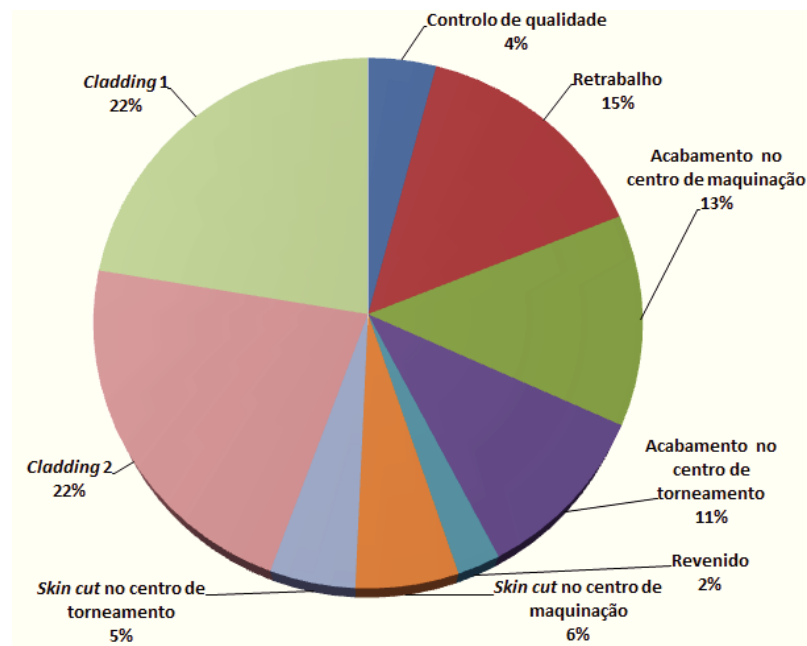


Figura 72 - Custos de produção de cada válvula em percentagem

Como é visível, as maiores fatias de consumo vão para os processos de revestimento, sendo que o tratamento térmico é o que despendia menos consumo por peça, visto que é feito com grupos de quatro peças. Os processos de corte por arranque de avara poderão de futuro vir a ter menor consumo, visto que os programas de corte vão sendo otimizados e a escolha de pastilhas vai-se modificando para reduzir custos. Além disto, é possível verificar que o grande problema nesta avaliação de custos é a fatia (15%) que o retrabalho assume, sendo que este ponto deverá ser o primeiro a resolver para diminuir os custos de produção. Note-se que, o retrabalho tem uma fatia de custos superior a qualquer um dos processos de corte por arranque de avara.

6.2 Análise de tempos

Para a análise de tempos foram consideradas cada uma das fases de produção e determinados os tempos usados na produção de cada válvula, sendo que nos processos de corte por arranque de aparas, revestimento e tratamento térmico estão calculados os tempos de operação e tempos de *setup*. O resultado alcançado com a análise de tempos foi um gráfico, apresentado na figura 73, que apresenta os tempos relativos de cada uma das fases, relativamente ao tempo total de produção de uma válvula.

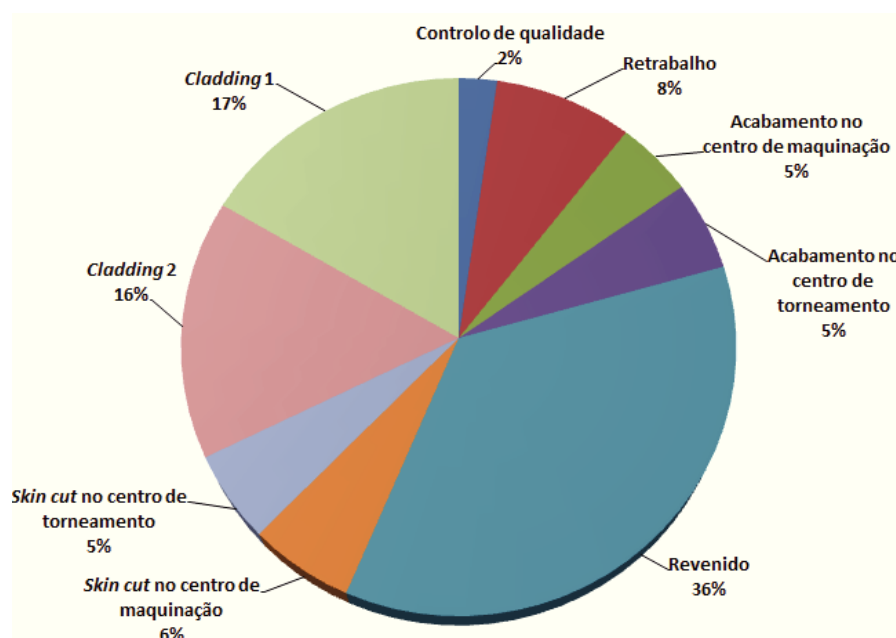


Figura 73 - Tempos de produção de cada válvula em percentagem

Como visível na Figura 73, a maior fatia de tempo vai para o processo de revenido, que demora 27 horas a concluir o seu ciclo. Os restantes processos têm tempos semelhantes de produção, exceto para os processos de revestimento *cladding* que demoram um pouco mais que os restantes. Também aqui é possível verificar que o retrabalho é um problema, visto que 8% do tempo de produção ainda é gasto a corrigir não conformidades (note-se que é gasto mais tempo em retrabalho do que em qualquer uma das operações de corte por arranque de aparas).

Para a redução da quantidade de retrabalho têm de ser aplicadas as técnicas descritas no Capítulo 6, referentes aos defeitos de revestimento. Para a falta de revestimento nas válvulas, a aplicação de uma velocidade de revestimento menor e um cuidado adicional no trabalho, por parte dos operadores, poderão diminuir bastante o número de ocorrências, resultados que de futuro serão confirmados para avaliar estas técnicas.

Para a porosidade o procedimento adotado passou a ser, sempre que é revestida uma válvula, realizar uma limpeza da superfície a soldar, e entre as suas passagens de revestimento são feitas limpezas da camada já depositada, evitando contaminações. Em paralelo, foram alterados os materiais de consumo das células de revestimento. O procedimento adotado e a mudança dos materiais de consumo vão, de futuro, ser avaliados para mostrar se apresentam resultados positivos.

Nas restantes etapas de produção, o que tem sido implementado para reduzir consumos é a modificação do lote de pastilhas de corte usadas, para melhorar o seu desempenho, tendo em conta também o preço da pastilha usada. Estes estudos sobre quais as melhores pastilhas usadas continuam ainda hoje a ser feitos, apesar de o lote de pastilhas usado até está altura, nesta produção, provar ser o melhor relativamente à relação qualidade-preço. Contudo, isto não invalida que a seleção de pastilhas continue a ser realizdaa, com o objetivo de procurar novas soluções na redução de custos.

7. Conclusões

Face ao trabalho desenvolvido, entende-se que, foram cumpridos os objetivos estabelecidos. Estes visam o desenvolvimento de um *layout* adequado para a produção deste novo produto, o desenvolvimento de soluções para reduzir tempos de *setup* e facilitar o trabalho realizado, o controlo de *stocks* e controlo dos parâmetros de produção. Estes objetivos primários levaram a cumprir os objetivos finais de realizar um estudo de custos e outro de tempos de produção, por forma a avaliar a situação e indicar caminhos futuros.

Em termos de análise crítica ao trabalho desenvolvido, é possível verificar que existem ainda pontos a melhorar, justificados principalmente pelo aumento do número de encomendas deste produto. Assim, no futuro, o principal objetivo passará pela redução dos defeitos nas válvulas produzidas. É de salientar que 15% do custo total de uma válvula se destina à correção de defeitos (Figura 72). Da mesma forma, verifica-se que 8% do tempo de produção de cada válvula é gasto em reparações de defeitos (Figura 73).

Além da análise de custos e tempos, a análise do *layout* demonstrou que este é o mais correto para a produção da válvula em estudo, isto porque, com a análise SLP verificou-se que os postos de produção e áreas adjacentes, com relações mais importantes, estão mais próximos. À exceção de alguns casos, por exemplo a zona de *stock* intermédio, que de futuro poderia ser alterada para uma zona mais central da unidade fabril, já que se encontra um pouco distante dos postos de trabalho que serve diretamente. De futuro, dado que a empresa produz várias peças, também seria interessante fazer esta análise contemplando os restantes produtos nesta unidade.

Em relação à criação de componentes que facilitem a produção e diminuam os tempos de *setup*, este é um processo de melhoria contínua e no futuro será equacionada a instalação de mais componentes que reduzam tempos de produção e facilitem o trabalho. Ao nível dos componentes já criados, verificou-se que o seu uso permitiu reduzir os tempos de *setup* (nomeadamente os processos de preparação de peças) em relação a instalações anteriores. Além disso, estas permitiram facilitar o trabalho dos operadores das

máquinas e no caso da mesa instalada nas máquinas de revestimento, garantir o correto posicionamento das peças.

A introdução dos documentos descritos para gestão de *stocks* e padronização dos trabalhos veio facilitar o controlo e possibilitar uma análise quantitativa dos consumíveis gastos, principalmente nas operações de corte por arranque de apara. A criação dos documentos de gestão de *stocks* incrementou o sentido de responsabilidade dos colaboradores ao nível de material consumível usado. O próximo passo passará por informatizar todo este processo por forma a conseguir um controlo mais rígido e mais eficaz dos *stocks* consumidos.

Bibliografia

[1] Kevasadas T. (2007). Computer Numerical Control (CNC). Acedido em: 1 de Maio de 2014, em: <http://wings.buffalo.edu/academic/department/eng/mae/courses/460-564/Course-Notes/CNC%20notes.pdf>

[2] Ink (2013). Computer-Aided Design (CAD) and Computer-Aided Manufacturing (CAM). Acedido a 1 de Maio de 2014 em: <http://www.inc.com/encyclopedia/computer-aided-design-cad-and-computer-aided-cam.html>

[3] Barbosa, C. (2011). Torneamento. Acedido a 1 de Maio de 2014, em: <http://www.ebah.pt/content/ABAAe0J8AD/torneamento>

[4] Borges, M. Torneamento. Acedido a 1 de Maio de 2014, em: <http://mmborges.com/processos/USINAGEM/TORNEAMENTO.htm>.

[5] Fundamental Manufacturing Processes Study Guide (2010). Milling & Machining Centers. Society of Manufacturing Engineers. Acedido a 1 de Maio de 2014, em: <https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sme.org%2FWorkArea%2FDownloadAsset.aspx%3Fid%3D73763&ei=r0uxU8HqGbOZ0QXo9YDABw&usg=AFQjCNGqkkVwT8XGbeBHWHeBs1hg9te4Q>

[6] Sandvik Coromant. Stainless Steel Milling. Acedido a 1 de Maio de 2014 em: http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/getting_started/milling_different_materials/stainless_steel_milling/pages/default.aspx

[7] Carneiro, T. (2012). Furação. Acedido a 1 de Maio de 2014, em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAABiIAI/furacao>

[8] Sandvik Coromant. Coolant. Acedido a 27 de Junho de 2014 em: http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/drilling/getting_started/cutting_fluid/pages/default.aspx

[9] Exa Pro (2012). Machining centers – vertical. Acedido a 1 de Maio de 2014 em: <http://www.exapro.com/used-2012-mitsubishi-diamond-cut-mcv-1000a-vertical-machining-center-p30605066/>

[10] Processing and Quality Assurance Equipment. Acedido a 1 de Maio de 2014 em: <http://wwwme.nchu.edu.tw/~CIM/courses/Flexible%20Manufacturing%20Systems/Microsoft%20Word%20-%20Chapter4F-Processing%20and%20Quality%20Assurance%20Equipment.pdf>

[11] JrLon (2012). CNC Turning & Milling Services. Acedido a 1 de Maio de 2014 em: <http://www.jrlon.com/cnc-turning-milling-services.html>

[12] Miller Electric Mfg. Co (2013). Guidelines For Gas Tungsten Arc Welding (GTAW). Miller USA. Acedido a 25 de Abril de 2014, em: <http://www.millerwelds.com/pdf/gtawbook.pdf>

[13] Kennametal Stellite (2010). TIG/Oxy Acetylene. Acedido a 25 de Abril de 2014, em: <http://www.stellite.co.uk/WeldingProcesses/TIGOxyAcetylene/tabid/70/Default.aspx>

[14] Henon, B (2014). Advances in Automatic Hot Wire GTAW (TIG) Welding. Acedido a 25 de Abril de 2014, em: <http://www.arcmachines.com/news/case-studies/advances-automatic-hot-wire-gtaw-tig-welding>

[15] Barthoux, J. e Kruger, J (2011). Cladding in the Field of Industrial Applications. Polysoude, Nantes, França. Acedido a 25 de Abril de 2014, em: http://www.polysoude.com/images/stories/documents/english/press-releases/CLADDING_JBA_SV_EN.pdf

[16] Steel Guru (2012). AISI 4130 Alloy Steel. Acedido a 27 de Abril de 2014 em: [http://www.steelguru.com/sfTCPDF/getPDF/MjkkxNjk5/AISI_4130_Alloy_Steel_\(UNS_G41300\).html](http://www.steelguru.com/sfTCPDF/getPDF/MjkkxNjk5/AISI_4130_Alloy_Steel_(UNS_G41300).html)

[17] Ashess e Stonecypher, L (2010). 4130 Alloy Steel. Acedido a 27 de Abril de 2014, em: <http://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/74496-production-and-use-of-4130-alloy-steel/>

[18] Cimm. Elementos Químicos Presentes e a sua Influência. Acedido a 27 de Abril de 2014, em: http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6362-elementos-quimicos-presentes-e-sua-influencia#.U5BEsPldWzA

[19] The Internacional Council on Clean Transportation (2011). An Introduction to Petroleum Refining and the Production of Ultra Low Sulfur Gasoline and Diesel Fuel. Acedido a 27 de Abril de 2014, em: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT05_Refining_Tutorial_FINAL_R1.pdf

[20] Engber, D. (2006). My Pipeline's Corroded. Acedido a 27 de Abril de 2014, em: http://www.slate.com/articles/news_and_politics/explainer/2006/08/my_pipelines_corroded.html

[21] ThyssenKrupp VDM (2007). Nicrofer® 6020 hMo-alloy 625, Corrosion-resistente and high-temperature alloy. ThyssenKrupp VDM GmbH. Acedido a 27 de Abril de 2014, em:

https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.vdm-metals.com%2Fen%2Fdownloads%2Fdata-sheets%2F%3Fno_cache%3D1%26tx_newsdownloads_pi1%255BsendFile%255D%3D130%26tx_tnews%255Btt_news%255D%3D&ei=Q3WxU8KjE7DJ0AXi_IHwBQ&usg=AFQjCNECs21XEM7VVQUgvAWvfHZ1Nz6wQA

[22] Soares, P. (1992). Aços características tratamentos. 5ª edição.

[23] Guarraia, P. Saenz, H e Fallas, E (2012). Como reduzir custos de forma sustentável e manter a redução a longo prazo. Brain & Company. Acedido a 27 de Abril de 2014, em: http://www.bain.com/offices/saopaulo/pt/Images/Sustained_cost_transformation_POR.pdf

[24] Mota, P (2007). Estudo e implementação da metodologia SMED e seu impacto numa linha de produção. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

[25] Oliveira, L. Poltroniere, L. Etchebehere, R. e Barella, T (2006). Um estudo de caso sobre melhorias no layout de uma indústria plástica. Bauru. Acedido a 14 de Junho de 2014, em: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/799.pdf

[26] Bodi Engineering LLC (2003). Facility Planning Methodology. Acedido a 14 de Junho de 2014, em: <http://www.vanmell.com/Articles/bodi.pdf>

[27] Gilbert, J. (2004). Construction office design with systematic layout planning. Acedido a 14 de Junho de 2014, em: http://www.pomsmeetings.org/confproceedings/002/poms_cd/browse%20this%20cd/papers/002-0563.pdf

[28] Borba, M e Neto, J. (2012). Aplicação Methods-Time Measurement (MTM) para o diagnóstico de um sector produtivo: Um estudo de caso em uma empresa de plásticos da grande Florianópolis. Acedido a 15 de Junho de 2014, em: http://www.peteps.com.br/arquivos/2649_ENEGEP2012_TN_STP_157_919_20589.pdf

[29] CENCAL Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica (2004). GPC Gestão da Produção Cerâmica, Capítulo 6 – Movimentos elementares MTM. pp 71-84. Caldas da Rainha

[30] Santos, A. Engenharia de métodos e produtividade módulo – 3. Acedido a 15 de Junho de 2014, em: <http://pt.scribd.com/doc/225723802/Apostila-MTM>

[31] FMC Technologies. About us. Acedido a 3 de Maio de 2014, em: <http://www.fmctechnologies.com/AboutUs.aspx>

[32] New Scientist (2010). The eight failures that caused the Gulf oil spill. Acedido a 3 de Maio de 2014, em: <http://www.newscientist.com/article/dn19425-the-eight-failures-that-caused-the-gulf-oil-spill.html#.U2U0XfldWzB>

[33] Science Daily (2013). Assessing impacts of the Deepwater Horizon oil spill in the Gulf of Mexico. Acedido a 3 de Maio de 2014, em: <http://www.sciencedaily.com/releases/2013/07/130710122004.htm>

[34] Morganti, M (2013). Estudo da influência do espaçamento entre chapas e do posicionamento do ataque do arame no processo robotizado de soldagem MIG/MAG de junta sobreposta para arame de 1,2 mm. Acedido a 3 de Maio de 2014, em: [file:///C:/Users/Andre/Downloads/estudo-da-influencia-do-espacamento%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Andre/Downloads/estudo-da-influencia-do-espacamento%20(4).pdf)

Anexos

Anexo 1: Tabelas MTM.....	I
Anexo 2: Desenho técnico da válvula GV BODY SURFACE.....	III
Anexo 3: Classificação das várias zonas da válvula <i>Vanne</i>	V
Anexo 4: Resultados dos testes de qualidade presentes no <i>databook</i>	VII
Anexo 5: Desenho A3 do <i>layout</i> final.....	XIV
Anexo 6: Desenhos técnicos dos equipamentos criados.....	XVI
Anexo 7: Estudo MTM dos dois processos de <i>setup</i> analisados	XXI
Anexo 8: Documentos de controlo criados	XXVIII
Anexo 9: Informações técnicas dos processos de corte por arranque de apara	XXXIII
Anexo 10: Fichas de não conformidades	LXII

Anexo 1: Tabelas MTM

Anexo 2: Desenho técnico da válvula GV BODY SURFACE

Anexo 3: Classificação das várias zonas da válvula *Vanne*

Anexo 4: Resultados dos testes de qualidade presentes no *databook*

Anexo 5: Desenho A3 do *layout* final

Anexo 6: Desenhos técnicos dos equipamentos criados

Anexo 7: Estudo MTM dos dois processos de *setup* analisados

Anexo 8: Documentos de controlo criados

Anexo 9: Informações técnicas dos processos de corte por arranque
de apara

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Anexo 10: Fichas de não conformidades