



Ricardo Jorge Sousa Gomes

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

Redução de Tempos de Preparação de Trabalho em Operações de Maquinagem no Fabrico de Ferramentas de Estampagem

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientadora: Professora Doutora Carla Maria Moreira Machado,
Professora Auxiliar, Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Telmo Jorge Gomes dos Santos
Arguente: Prof. Doutor Alberto José Antunes Marques Martinho
Vogal: Prof. Doutora Carla Maria Moreira Machado

Redução de Tempos de *Preparação de Trabalho* em Operações de Maquinagem no Fabrico de Ferramentas de Estampagem

Copyright © 2016 Ricardo Jorge Sousa Gomes, Faculdade de Ciências e Tecnologia e Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

À minha sobrinha Maria Inês

Agradecimentos

Ao longo de toda a minha formação académica, foram muitas as pessoas que de forma direta ou indiretamente contribuíram para que este percurso terminasse com a realização deste trabalho. A todos eles o meu sincero obrigado, em especial:

À minha orientadora, Professora Doutora Carla Machado pela atribuição deste tema, pela confiança que depositou em mim, pela ajuda dada na elaboração desde estudo e pela paciência para a correção do relatório.

A todo o departamento de *design* e fabrico de ferramentas de estampagem da MCG mind for metal, em especial ao Engenheiro Armando Bastos, e engenheiro José Calção pela visão dada no início deste estudo, ao Mário Francisco e Joaquim Diniz pela disponibilidade apresentada, aos programadores João, Ricardo e Filipe pelo auxílio prestado na elaboração do projeto do zero point e por último ao André Machado, Daniel Murteira e Daniel Barradas pela ajuda prestada, na elaboração dos ensaios do zero point.

Aos meus amigos de sempre Luís, Félix e Pedro, pela camaradagem, pelo apoio nos momentos de maior aperto, pelos momentos de diversão e pelas palavras incentivadoras.

Aos amigos e colegas de faculdade, em particular ao grupo dos 7 e derivados pelas histórias marcantes que juntos partilhámos e que ficaram para sempre marcadas na minha vida.

Por último, mas os mais importantes um especial obrigado aos meus pais, por terem acreditado em mim mesmo quando eu começava a não acreditar, pelo apoio incondicional, pelo esforço que fizeram para que esta percurso se torna-se possível.

À minha irmã pelo carinho, motivação e apoio nas alturas mais difíceis, e á minha sobrinha, o orgulho dos meus olhos, que com a sua alegria e palavras genuínas me deram força e motivação incondicional ao longo deste percurso.

A todos o meu obrigado.

Resumo

O aumento da competitividade na indústria metalomecânica, aliada à nova tendência de produção de produtos customizados, obriga à sua adequação estratégica. Um dos principais factores a observar é a minimização do tempo de produção, para garantir quer o cumprimento de prazos quer a minimização dos custos. Consequentemente, é necessário manter os tempos não produtivos tão baixos quanto possível. Na indústria de maquinaria de peças únicas, o tempo de *setup* tem um peso muito grande no tempo não produtivo pelo que é de grande interesse a sua redução.

O objetivo deste trabalho, realizado em parceria com a MCG *mind for metal*, é a redução dos tempos de *setup*, nomeadamente do tempo de preparação de trabalho, para aumento de produtividade na indústria de maquinaria de produtos únicos. Para a concretização deste objetivo foi desenvolvida uma metodologia que inclui a aplicação de práticas para reduzir os tempos de preparação de trabalho nos equipamentos individuais e em todo o processo de obtenção de cada componente específico, promovendo assim o aumento da produtividade na fabricação de ferramentas de estampagem. Desenvolveu-se ainda um novo sistema de fixação das peças, rápido e simultaneamente rigoroso, baseado nos sistemas *zero point* existentes no mercado.

Com a aplicação da metodologia criada e com a introdução das práticas propostas para reduzir os tempos não operativos conseguiu-se aumentar consideravelmente a produtividade de todo o sistema. Verificou-se um aumento na taxa de ocupação em todas as máquinas, entre 3% e 23%. Foram ainda realizados ensaios de validação do sistema de fixação desenvolvido (*zero point MCG*) e verificou-se uma redução do tempo de *setup* de 50%. A implementação do *zero point MCG* em todos os equipamentos que constituem o sistema produtivo das ferramentas de estampagem poderá significar uma redução do tempo de *setup* em pelo menos 40%.

Palavras-chave: SMED; Tempo de *setup*; Tecnologia de grupo; Família de peças; Sistema de fixação Zero Point.

Abstract

The increased competitiveness in the metalworking industry, coupled with the new trend of customized products, requires an adequacy of strategies. The most important factor to observe is to minimize production time to ensure both compliance with deadlines and to minimize costs. Consequently, it is necessary to keep non-productive times as low as possible. When machining of one-off products, the setup time has a very large weight in the non-productive time and it is of great interest to reduce it.

This study, conducted in partnership with *MCG mind for metal*, is to reduce setup times for increased productivity in the machining of one-off products. To achieve this goal a new methodology was developed, which includes the application of practices to reduce the setup time in the individual equipment and the whole process for obtaining each specific component, thus promoting increased productivity in the manufacture of die tools. It was also developed a new fixing system, both fast and accurate, based on the zero-point systems commercially available.

With the application of the developed methodology and the introduction of the proposed procedures to reduce non-operating time the productivity of the entire system was considerably increased. There was an increase of the occupancy rate of all machines, between 3% and 23%. Validation tests of the developed fixing system (*zero point MCG*) were carried out and there was a 50% reduction in setup time. The implementation of the *zero point MCG* in all the equipments that constitute the production system of the die tools can mean a reduction in setup time by at least 40%.

Keywords: SMED; Setup time; Group Technology; Part family; Zero Point system.

Índice de Matérias

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
1 Introdução	1
1.1 Contexto e Motivação	1
1.2 Objectivo e trabalhos realizados	3
1.3 Estrutura da Tese.....	4
2 Estado da arte	5
2.1 <i>Preparação de Trabalho (Setup)</i>	5
2.1.1 <i>Setups</i> curtos e idênticos.....	7
2.1.2 <i>Setups</i> curtos e diversos.....	7
2.1.3 <i>Setups</i> longos e diversos.....	7
2.1.4 <i>Setups</i> longos e idênticos.....	8
2.2 SMED.....	10
2.2.1 Etapas da implementação da metodologia SMED	11
2.3 Tecnologia de grupo e Família de peças	12
2.4 Análise de tempos e métodos	13
2.5 <i>Zero Point Systems</i>	15
3 Procedimento Experimental	17
3.1 Introdução	17
3.2 Células produtivas estudadas	17
3.2.1 Célula produtiva 1 (FPF).....	17
3.2.2 Célula produtiva 2 (MAS).....	18
3.2.3 Célula produtiva 3 (Zayer)	19
3.2.4 Célula produtiva 4 (CM7/CM1)	19
3.2.5 Célula produtiva 5 (CM5/CM6).....	21
3.3 Dispositivos atualmente utilizados.....	22
3.3.1 Dispositivos de fixação.....	22
3.3.2 Dispositivos para alinhamento das peças	24

3.3.3	Dispositivos para definição do zero-peça	25
3.4	Objeto de estudo.....	25
3.5	Percurso de cada componente	27
3.5.1	Percurso de peças da família A.....	27
3.5.2	Percurso de peças da família B.....	28
3.6	Levantamento de dados na condição atual.....	29
3.7	<i>Setup</i> Atual	31
4	Propostas de melhoria	33
4.1	Soluções propostas para implementação na célula produtiva 3	33
4.1.1	Diagrama dos deslocamentos do operador com propostas implementadas.....	37
4.2	Soluções propostas para implementação nas restantes células produtivas.....	38
4.3	<i>Zero Point</i>	40
4.3.1	Descrição do equipamento.....	42
4.3.2	Montagem e funcionamento do <i>zero point</i> MCG.....	44
4.4	<i>Setup</i> proposto	47
4.5	Síntese da metodologia.....	48
5	Validação.....	49
5.1	Taxa de ocupação de máquina.....	49
5.2	Validação do sistema de fixação do <i>zero point</i>	52
5.3	Tempo de <i>setup</i> atual.....	56
6	Conclusões e trabalhos futuros.....	59
6.1	Conclusão.....	59
6.2	Trabalhos futuros.....	60
	Bibliografia.....	61
	Anexos.....	63
Anexo 1	63
Anexo 2	65
Anexo 3	67
Anexo 4	72

Anexo 5.....	73
Anexo 6.....	74
Anexo 7.....	75
Anexo 8.....	77
Anexo 9.....	79
Anexo 10.....	80

Índice de Figuras

Figura 1 – Sistema de Fabrico.....	1
Figura 2 - Tipologias de <i>Setup</i> [5].....	6
Figura 3 - Etapas de aplicação de SMED.....	11
Figura 4 - Processo de estudo de tempos [11].....	14
Figura 5 - Esquema de montagem padrão de um sistema de fixação <i>zero point</i> [12].....	16
Figura 6 - Montagem de uma base para maquinagem na fresadora <i>FPF</i> (célula produtiva 1).....	18
Figura 7 – <i>MAS</i> (célula produtiva 2).....	18
Figura 8 - <i>FRE7 - Zayer</i>	19
Figura 9 - Centro de maquinagem de 5 eixos (<i>CM7</i>).....	20
Figura 10 - <i>CM1 (Bridgeport)</i>	21
Figura 11 - <i>CM6</i>	21
Figura 12 - Montagem de prensa da <i>CM7</i> com recurso a dispositivo <i>T-slot</i>	22
Figura 13 - Bucha para fixação de peças de secção transversal circular.....	23
Figura 14 - Montagem de peça com recurso exclusivo a dispositivos <i>T-slot</i>	23
Figura 15 - Exemplo de alguns dispositivos auxiliares de fixação <i>T-slot</i>	24
Figura 16 - Comparadores utilizados para a execução de operações de alinhamento.....	24
Figura 17 - Instrumentos de definição de zero-peça nas diferentes células produtivas.....	25
Figura 18 - Ferramenta progressiva estudada para a criação de família de peças.....	26
Figura 19 - Exemplo de peças da família de peças A.....	26
Figura 20 - Tipologia de peças de grandes dimensões (família de peças B).....	27
Figura 21 - Diagrama de movimentações com o <i>layout</i> inicial.....	30
Figura 22 - Diagrama do <i>setup</i> geral.....	31
Figura 23 - Localização do botão de acionamento de válvula eletromecânica.....	34
Figura 24 - Localização do computador na face lateral do comando da máquina CN.....	34
Figura 25 - Porta cones MCG.....	35
Figura 26 - Calços <i>Standard</i>	36
Figura 27 - Organizador de pinças para a <i>Zayer</i>	36
Figura 28 - Diagrama de movimentações com propostas implementadas.....	38
Figura 29 - Carros de ferramenta colocados junto das respetivas máquinas.....	39
Figura 30 - Estrutura para retenção de apara.....	40
Figura 31 - Esquema de posicionamento utilizado nos <i>zero point</i> [14].....	41
Figura 32 - <i>Zero point MCG</i>	41

Figura 33 - Base geral do <i>zero point MCG</i>	42
Figura 34 - Mesa de receção de peça.....	43
Figura 35 - Vista explodida do <i>zero point MCG</i>	44
Figura 36 - Esquema de posicionamento de peça temperada na mesa da máquina	45
Figura 37 - <i>Presets</i> básicos para as mesas pequena do <i>zero point</i>	45
Figura 38 - Diagrama de <i>setup</i> proposto	47
Figura 39 - Síntese da metodologia.....	48
Figura 40 - Evolução da taxa de ocupação de máquina para a FPF	49
Figura 41 - Taxa de ocupação de máquina da <i>CM4</i>	50
Figura 42 - Taxa de ocupação de máquina da <i>CM5</i>	50
Figura 43 - Taxa de ocupação de máquina da <i>CM6</i>	51
Figura 44 - Taxa de ocupação de máquina da <i>CM7</i>	52
Figura 45 - Mesa fixa na base do <i>zero point</i>	53
Figura 46 - Verificação do assentamento de toda a mesa na base do <i>zero point</i>	53
Figura 47 - Variação da coordenada X ao longo dos 5 ensaios.....	54
Figura 48 - Variação da coordenada y ao longo dos 5 ensaios.....	55
Figura 49 - Verificação de desvio de concentricidade do <i>probe</i>	56

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Matriz das operações das peças de pequena e media dimensão.....	28
Tabela 2 - Matriz de operações de peças de grandes dimensões.....	28
Tabela 3 - Média da taxa de ocupação de máquina.....	52
Tabela 4 - Tabela dos dados recolhidos no ensaio de repetibilidade	54
Tabela 5 - Tempo de setup atual após implementação do zero point.....	57
Tabela 6 - Comparação dos tempos de <i>setup</i>	57
Tabela 7 - Tempos de <i>setup</i> estimados após implementação do <i>zero point MCG</i>	59
Tabela 8 - Lista de peças da ferramenta em estudo.....	63
Tabela 9 - Tabela de percurso de peças.....	65
Tabela 10 - Lista de operações de <i>setup</i> para a FPF	67
Tabela 11 - Lista de operações de <i>setup</i> da CM7.....	68
Tabela 12 – Lista de operações de <i>setup</i> da CM6 - Micron	70
Tabela 13 - Lista de operações de <i>setup</i> da Zayer.....	71
Tabela 14 - Tabelas de movimentações	72
Tabela 15 - Leitura de tempos para os deslocamentos iniciais	73
Tabela 16 - Leitura de tempos com as propostas implementadas	73
Tabela 17 - Legendas tabelas 8 e 9	73
Tabela 18 - Tabela de tolerâncias MCG.....	74
Tabela 19 - Tabela da taxa de ocupação de máquina	75

1 Introdução

1.1 Contexto e Motivação

A indústria metalomecânica abrange o conjunto de sistemas de produção responsáveis pela transformação de metais nos produtos desejados, sejam eles produtos finais ou intermédios. Os processos que têm como resultado um produto, designam-se processos de conversão, uma vez que modificam a estrutura, geometria ou as características iniciais da matéria-prima. Os domínios de investigação relacionados com a indústria metalomecânica englobam os processos de deformação plástica, soldadura, fundição e maquinagem e ainda o estudo das propriedades dos materiais utilizados.

Um sistema de produção é composto pelo conjunto de pessoas, equipamentos, procedimentos e metodologias organizados para a concretização da fabricação, através do sistema de fabrico que é o que tem contacto físico com o produto em fabricação (Figura 1). O aumento da complexidade dos produtos tem conduzido a uma maior complexidade destes sistemas, impondo necessidade de maior eficiência operacional.

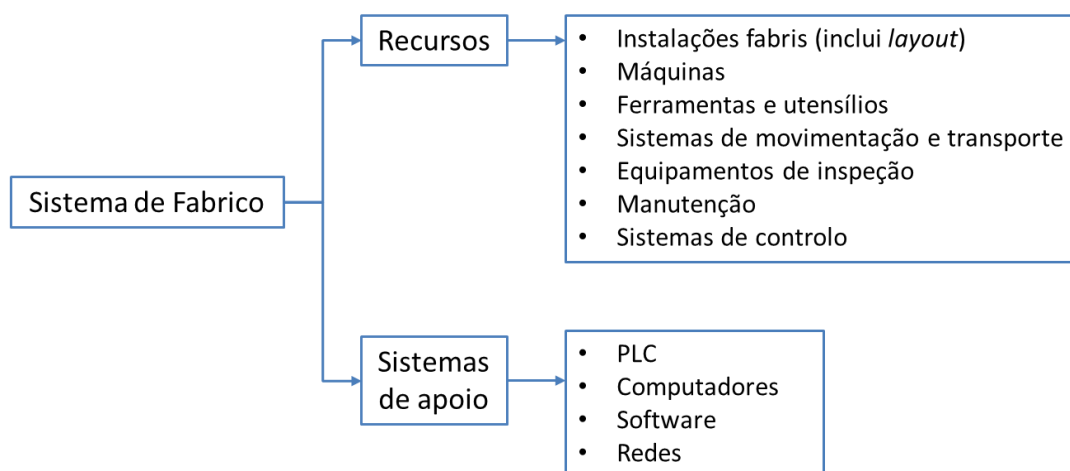


Figura 1 – Sistema de Fabrico

O conceito de *Lean manufacturing* baseia-se no facto de os consumidores apenas pagarem o valor dos serviços que recebem, e não os desperdícios [1]. Neste sentido, as empresas apostam cada vez mais no uso adequado de determinadas ferramentas e métodos que permitam entregar produtos e serviços com maior valor acrescentado, no momento certo e ao melhor preço, de forma consistente e sustentável [2].

No caso concreto da indústria metalomecânica, onde existe forte concorrência, subsiste a necessidade de reduzir os tempos de produção e custos, de modo a melhorar o seu funcionamento, desempenho e flexibilidade [3]. Para além disso, ao longo das últimas décadas, os avanços

tecnológicos a nível global deram origem a uma nova tendência na indústria concretizada pela oportunidade dada aos consumidores de exigir produtos personalizados de acordo com as suas expectativas. Em termos do sistema produtivo, essa nova tendência é caracterizada pela produção em pequenos lotes e prazos de entrega curtos. É absolutamente necessário que o sistema produtivo seja eficiente em condições de pequenas séries e grande variabilidade, garantindo que as alterações exigidas pelo cliente devem ser efetuadas no menor período de tempo possível e possuindo a capacidade de se adaptar rapidamente para a produção de novos produtos, garantindo a competitividade perante os concorrentes. Surge então o grande desafio para as empresas que produzem produtos intermédios, como é o caso das ferramentas de estampagem, cujos tempos de produção têm inevitavelmente que ser reduzidos ao máximo, para ser possível responder às solicitações dos fabricantes dos produtos finais.

Quando se trata de peças maquinadas, o seu tempo de produção é composto pelo tempo de maquinagem, tempos passivos e tempo de preparação de trabalho também conhecido como tempo de *setup* (Eq. 1).

$$T_{produção} = T_{maquinagem} + T_{passivo} + T_{setup} \quad \text{Eq. 1}$$

O tempo de *setup*, ou seja, o tempo decorrido entre a produção da última peça de qualidade do último lote e a produção da primeira peça de qualidade do lote seguinte, por ser considerado tempo não operativo não acrescenta valor ao produto, logo a sua redução é uma forma de alcançar esse objectivo. Uma das metodologias mais conhecidas para a redução de tempo de *setup* é a metodologia SMED, criada por Shingo [4], que sugere a conversão, sempre que possível, de tarefas internas (realizadas com a máquina parada) em externas (realizadas com a máquina a funcionar).

A MCG - *mind for metal*, é uma empresa, dedicada à indústria de componentes metálicos, que conta já com 60 anos de história. Um dos nichos de mercado é a produção de peças maquinadas onde, como já foi dito, é um sector de mercado onde existe uma necessidade cada vez mais crescente de encontrar fatores de diferenciação face à concorrência de modo a tornar a empresa mais competitiva.

A motivação para a realização deste trabalho surgiu devido à colaboração entre o DEMI e a MCG, no sentido de se investigarem possíveis melhorias no processo de maquinagem dos componentes das ferramentas de estampagem habitualmente produzidas pela empresa. Este trabalho surgiu paralelamente a um estudo dos parâmetros e estratégias de maquinagem por serem duas matérias necessariamente interligadas, mas de génese diferente, pelo que a totalidade do estudo não poderia ser realizada no contexto de uma única tese de mestrado.

1.2 Objectivo e trabalhos realizados

O objeto principal deste estudo centra-se na possibilidade de diminuir o tempo não operativo de modo a diminuir os custos e, principalmente, aumentar a disponibilidade dos equipamentos na unidade de moldes de estampagem, nomeadamente tornos, fresadoras, centros de maquinagem, centros de torneamento, retificadoras e equipamentos de electroerosão. Obviamente foi necessário adquirir um conhecimento profundo dos processos envolvidos para ser possível realizar esta tarefa.

Por via da colaboração com a MCG, os objetivos deste trabalho tiveram forçosamente duas vertentes, uma tecnológica e outra científica.

Enquanto objectivo tecnológico pretende-se a aplicação de práticas para reduzir os tempos de preparação de trabalho nos equipamentos individuais e em todo o processo de obtenção de um componente específico, promovendo o aumento de produtividade na fabricação de ferramentas de estampagem.

O objectivo científico desta dissertação é o estabelecimento de uma nova metodologia específica para aplicação em indústrias de maquinagem de produtos únicos e com vista à melhoria do processo produtivo. Esta metodologia, baseada em técnicas existentes, pretende padronizar as atividades para que seja possível eliminar ou reduzir a duração das que não acrescentam valor ao produto final.

De modo a cumprir os objetivos traçados, foi fundamental a realização de uma revisão bibliográfica nas áreas de interesse de modo a obter os conhecimentos necessários à realização do planeamento do trabalho em questão. Foi feito um levantamento do procedimento de *setup* realizado pelos operadores, recorrendo a técnicas de tempos e métodos, onde foi possível detetar ações sem valor acrescentado. Detetados esses problema e recorrendo a metodologia SMED foi criado um procedimento para um *setup* mais curto, tornando assim a produção de peças maquinadas mais eficaz.

1.3 Estrutura da Tese

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 partes com os conteúdos abaixo indicados:

Capítulo 1: Nesta secção é apresentado o tema assim como as motivações que conduziram a este trabalho. Procede-se ainda à definição dos objetivos e apresentação da estrutura do documento.

Capítulo 2: Neste capítulo é apresentado um resumo de toda a matéria estudada para a realização do trabalho que foi proposto, nomeadamente:

- *Setup*
- SMED
- Tecnologia de grupo
- Família de peças
- Análise fluxo de produção
- *Zero point system*

Capítulo 3: São apresentadas detalhadamente as células produtivas, definidos os objetos de estudo e feita uma análise da situação inicialmente encontrada.

Capítulo 4: Nesta etapa são expostas todas as propostas de melhoria implementadas e respetivas as expectativas esperadas de acordo com os dados recolhidos inicialmente. É apresentada a síntese da metodologia criada de acordo com todos os passos executados durante a dissertação.

Capítulo 5: Neste capítulo são apresentados os dados recolhidos para validar a metodologia apresentada

Capítulo 6: Por último são apresentadas as conclusões a que se chegou de acordo com o estudo realizado, e os trabalhos futuros de modo a dar continuidade a metodologia concebida e desenvolvida no âmbito desta dissertação.

2 Estado da arte

2.1 *Preparação de Trabalho (Setup)*

O *setup*, ou preparação de trabalho, é um conjunto de tarefas necessárias a efetuar desde que o trabalho anterior terminou até que o trabalho seguinte passe a desenrolar-se de uma forma estável, sem necessidade de intervenção e afinações promovidas pelo operador [5].

O aumento da diversificação de produtos e a necessidade de responder de forma cada vez mais célere às solicitações dos clientes e do mercado conduziram ao aumento crescente da importância das atividades de preparação de trabalho na indústria transformadora em geral. Apesar de serem necessárias à produção, não acrescentam valor ao produto. No entanto, afetam consideravelmente a produtividade e, conseqüentemente, a competitividade da empresa. A redução do tempo de *setup* tem um efeito direto no aumento do tempo disponível para produção e na redução do tempo total do processo produtivo, contribuindo para o incremento da produtividade e para o aumento da agilização do sistema produtivo. Note-se que as melhorias realizadas nas atividades de preparação de trabalho permitem potencialmente reduzir o impacto dos indesejados retrabalhos causados por erros de afinação ou pelas imprevistas operações de grande prioridade originadas por correção de defeitos ou por ordens de produção urgentes [5].

A preparação de trabalho refere-se a todas as atividades executadas antes de uma determinada tarefa e podem incluir a manipulação e substituição das ferramentas, o posicionamento dos materiais em bruto para a execução da tarefa, a colocação dos dispositivos de fixação necessários ou as tarefas de limpeza [6].

Dependendo do tipo de negócio e produtos da empresa, a preparação de trabalho é condicionada pela sequência de itens a serem processados. O procedimento de *setup* necessário poderá ser idêntico para a maioria das situações, onde é apenas necessário alterar a regulação paramétrica ou reposicionar um elemento do equipamento ou podem existir diferentes procedimentos de *setup* consoante o item a ser processado. Os meios e métodos de suporte à preparação de trabalho serão necessariamente diferentes caso se esteja perante procedimentos de *setup* constantes ou apenas com ligeiras alterações, ou no caso de uma elevada diversidade e combinações de procedimentos de *setup* [5].

O tempo de *setup* pode ser definido como o tempo requerido para preparar os recursos necessários (recursos humanos ou equipamentos) de modo a realizar uma determinada tarefa (trabalho ou operação) [6]. A duração típica de um *setup* depende em primeira análise do tipo de equipamento e processo. Independentemente da sequência em causa existem equipamentos cujo *setup* se pode efetuar num curto espaço de tempo, enquanto noutros equipamentos o *setup* pode decorrer durante horas ou até dias. O tempo de *setup* não se pode considerar independente da

sequência de itens e, numa abordagem mais ampla, pode-se admitir que permitem de certa forma caracterizar o tempo de *setup* de um dado equipamento num sistema produtivo.

O custo do *setup* é o custo de associado à utilização de todos os recursos necessários para a execução de uma determinada tarefa [6].

A frequência com que se efetua a preparação de trabalho depende principalmente do tipo de produção da empresa e, em equipamentos idênticos pode existir uma variedade considerável de tipos de *setup* ao longo do tempo. De facto, num dado equipamento numa empresa que adote a produção por lotes podem ser realizadas 1 ou 2 atividades de preparação de trabalho por mês, enquanto o mesmo equipamento numa empresa que efetue produção unitária por encomenda poderá ser objeto de várias actividades deste tipo por semana ou até por dia.

Estas características são típicas destas tipologias de *setup* e têm a utilidade de permitir identificar pontos comuns a adotar por empresas distintas, com equipamentos distintos, mas onde são idênticas [5].

Na Figura 2 estão identificadas quatro tipologias de *setup* que podem ser identificadas de acordo com a frequência de realização, o tempo e a variedade/combinções.

É fundamental referir que é de extrema importância definir pormenorizadamente o procedimento de *setup* e a sua correta e sistemática aplicação, o que obriga à reflexão das tarefas realizadas pela empresa e contribui para alterações de melhoria.

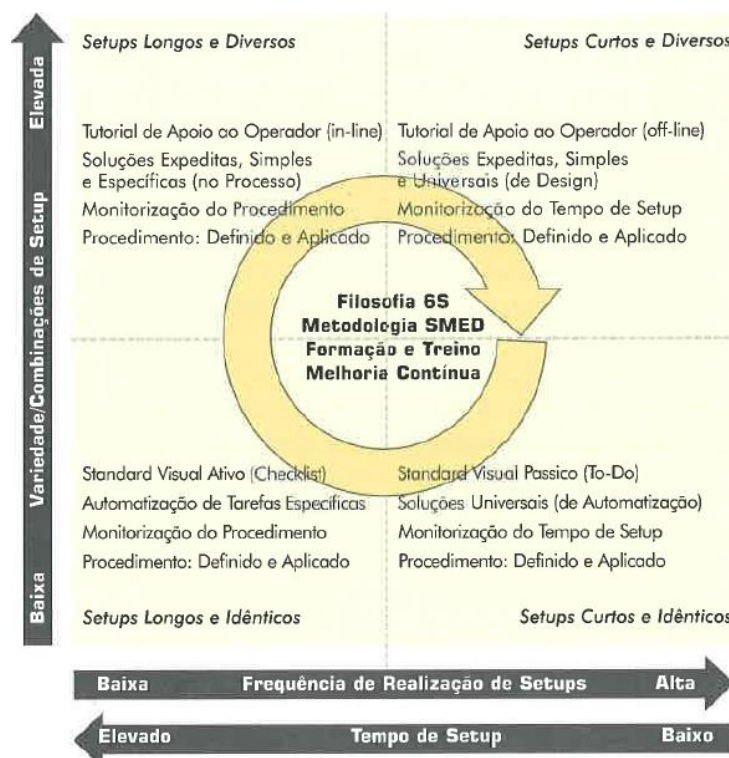


Figura 2 - Tipologias de *Setup* [5]

2.1.1 **Setups curtos e idênticos**

Em equipamentos onde os tempos de *setup* sejam reduzidos e/ou a empresa adote uma frequência elevada de atividades de preparação de trabalho por unidade de tempo, é recomendável a monitorização sistemática (automática de preferência) do tempo total de *setup*. Esta monitorização vai permitir identificar prematuramente desvios ao tempo previamente definido e assim permitir a aplicação de medidas corretivas de forma ágil. Dada a existência de apenas alguns tipos ou combinações de *setup* é recomendável a utilização de um *standard* visual passivo. Assim, o operador pode verificar de forma rápida e ágil se cumpriu a sequência prevista. Em alguns casos poderá ser útil o registo do tempo e/ou das tarefas efetuadas, devendo-se evitar no entanto que esta ação dê origem a um aumento do tempo de *setup*. A baixa variedade dos tipos e/ou combinações de *setup* poderá permitir também a utilização de soluções universais de aperto e desaperto, de alinhamento, de centragem e de calibração que permitam efetuar as tarefas de modo mais rápido e preciso [5].

2.1.2 **Setups curtos e diversos**

Quando a variedade e/ou as combinações de *setups* no mesmo equipamento é elevada recomenda-se que esse mesmo equipamento possua soluções expeditas e simples que permitam uma troca rápida de sistemas ou ferramentas. Estas soluções podem já ser parte integrante do equipamento ou serem adicionadas ao equipamento soluções universais como, por exemplo, a substituição de parafusos por sistemas de encaixe rápido. É muito importante nesta tipologia de *setups* optar por equipamentos em cujo projecto seja privilegiado o “*design for setup*”. Devido ao facto de existirem múltiplas combinações e/ou tipos de *setup* a realizar pelo operador no equipamento poderá tornar-se pouco prática a existência de um *standard* visual para cada alternativa. Desta forma, é recomendável a produção de um tutorial de apoio ao operador ilustrativo das várias alternativas para que se possa formar e treinar o operador com vista a tornar as suas ações intuitivas e naturais [5].

2.1.3 **Setups longos e diversos**

As empresas confrontadas com equipamento que obriguem a actividades de preparação de trabalho longas devem adotar uma estratégia de monitorização do procedimento de *setup* de forma recorrente. Esta monitorização consiste no registo dos tempos parciais das tarefas principais e do tempo total e pode ser efetuada de forma automática por sensores no equipamento, de forma semiautomática com introdução de termos de tarefas por parte do operador ou ainda através de um elemento externo ao *setup* que regista o procedimento adotado (sendo recomendável, neste caso, a utilização de gravações de vídeo). Os dados recolhidos devem ser posteriormente analisados recorrendo a técnicas de estudo dos tempos e métodos. Desta forma será possível controlar o processo

de *setup* de forma sistemática e identificar aspetos operacionais a melhorar no procedimento de preparação de trabalho.

Através do estudo das diversas tarefas que constituem esta tipologia de *setups* é recomendável identificar soluções expeditas e simples que permitam a sua realização de forma mais rápida e precisa. Num equipamento que permite inúmeros tipos de *setup* as características de *design* universais são de difícil implementação pois podem comprometer a flexibilidade, o que implica que se preconizem soluções específicas e relacionadas com o processo a utilizar. Neste sentido, e a título de exemplo, pode considerar-se a substituição de módulos do equipamento em vez de afinação por tipo de *setup*, sistemas de regulação, preferencialmente visuais, em vez de ajuste infinito ou blocos de programação pré-definidos por tipo de *setup*. Nesta tipologia de *setup* conjuga-se a existência de vários procedimentos diferentes com um número elevado de tarefas por procedimento. Recomenda-se a utilização de um tutorial de apoio ao operador em simultâneo com a realização do *setup* de forma a ir conduzindo o operador na sequência de ações do *setup* específico que está a realizar. Para além de indicar a sequência das operações, este tutorial deverá indicar aspetos de pormenor críticos que evitem a ocorrência de erros ou perdas de tempo [5].

2.1.4 **Setups longos e idênticos**

Tal como referido anteriormente, no caso de *setups* longos é recomendável a realização frequente da monitorização do procedimento, que poderá ser efetuada pelo operador ou por um elemento externo. Nesta tipologia de *setups* é recomendável a utilização de um *standard* visual ativo que sirva de auxílio ao operador na execução do procedimento, normalmente constituído por um número elevado de tarefas. O facto de existirem apenas alguns tipos de *setup* e de combinações diminui o volume de informação que o operador necessita. Assim, a utilização de listas de verificações poderá ser suficiente, não sendo necessária a utilização de tutoriais para guiar o operador nas várias combinações possíveis. Com o objetivo de garantir a execução plena do procedimento do *setup*, habitualmente de grande complexidade, o operador assinala as operações efetuadas na lista de verificações que não necessita de estar informatizada.

O facto de existirem poucas variações ao procedimento de *setup* conjugado com uma elevada duração justifica muitas vezes a automatização de tarefas específicas. Embora muitas vezes estas automatizações já existam nos equipamentos, algumas operações de manipulação de materiais e componentes, movimentação e ajuste de ferramentas, referências complexas que sejam repetidas de forma idêntica na maioria dos *setups*, deverão ser automatizadas. A longa duração dos *setups* e consequentemente o seu custo considerável podem justificar o investimento nestes sistemas [5].

A classificação dos *setups* apresentada pode ser utilizada como ponto de partida de modo a facilitar a sistematização da informação e a redução dos tempos de *setup*. Este método de classificação, quando aliado a outras metodologias e à reorganização dos *layouts*, permite concretizar

eficazmente a redução e consistência dos tempos de *setup*. A implementação da metodologia SMED (*single minute exchange of die*) é de extrema importância para a definição de procedimentos de preparação de trabalho que garantam a minimização do tempo de *setup*. Para tal, é necessário:

- Garantir que as operações que são realizadas com a máquina parada são só as operações absolutamente necessárias (operações internas);
- Assegurar que a maior parte das operações são realizadas com a máquina em funcionamento, ou seja, que se trata de operações de apoio (operações externas) e que estas são efetuadas no mínimo tempo possível;
- Identificar soluções simples que permitam diminuir o tempo das operações internas, como por exemplo a utilização de apertos rápidos.

2.2 SMED

A metodologia SMED (*single minute exchange of die*) foi desenvolvida por Shigeo Shingo no Japão entre os anos 1950 e 1960 e teve como objeto de estudo a planta da *Mazda da Toyo Kogyo* em 1950, o estaleiro da *Mitsubishi Heavy Industries* em 1957 e por último a planta principal a *Toyota Motor Company* em 1969. Tem como principal objetivo a redução do tempo de *setup* em máquinas ou linhas de produção. Esta metodologia, que se traduz na troca rápida de ferramenta, propõe que os *setups* sejam realizados com tempos na ordem de um dígito, ou seja, em menos de 10 minutos, tempo possível de atingir a partir da racionalização das tarefas realizadas pelo operador na máquina [7, 8]. O seu desenvolvimento surgiu devido às necessidades das empresas aumentarem a produtividade devido à crescente competitividade do mercado, associada ao controlo dos custos e reorganização dos processos de produção, de modo a otimizar o processo e acrescentar valor ao produto final. A utilização da metodologia SMED permite reduzir drasticamente o tempo de *setup*, mas será de referir que pode não ser possível atingir o objetivo de menos de 10 minutos para todos os *setups*. Os operadores devem ter um papel importante na implementação do método SMED, contribuindo com ideias para resolução de problemas, por serem quem melhor conhece o processo de *setup*.

A aquisição de equipamentos com especificações “*design for setup*” pode por vezes ser necessária de modo a atingir o proposto pelo método. No entanto, apenas com a aplicação de um método operatório no *setup* consegue-se atingir melhorias consideráveis, nomeadamente com reorganização do *layout* ou com a criação de um *standard* visual passivo, onde constem todos os passos necessários para uma correta realização do *setup*.

As diferentes etapas da aplicação do SMED estão apresentadas na Figura 3. Nesta figura, o termo ***setup externo*** refere-se às operações externas, ou seja às operações que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento. Analogamente, o termo ***setup interno*** refere-se às operações que só podem ser executadas com a máquina parada.

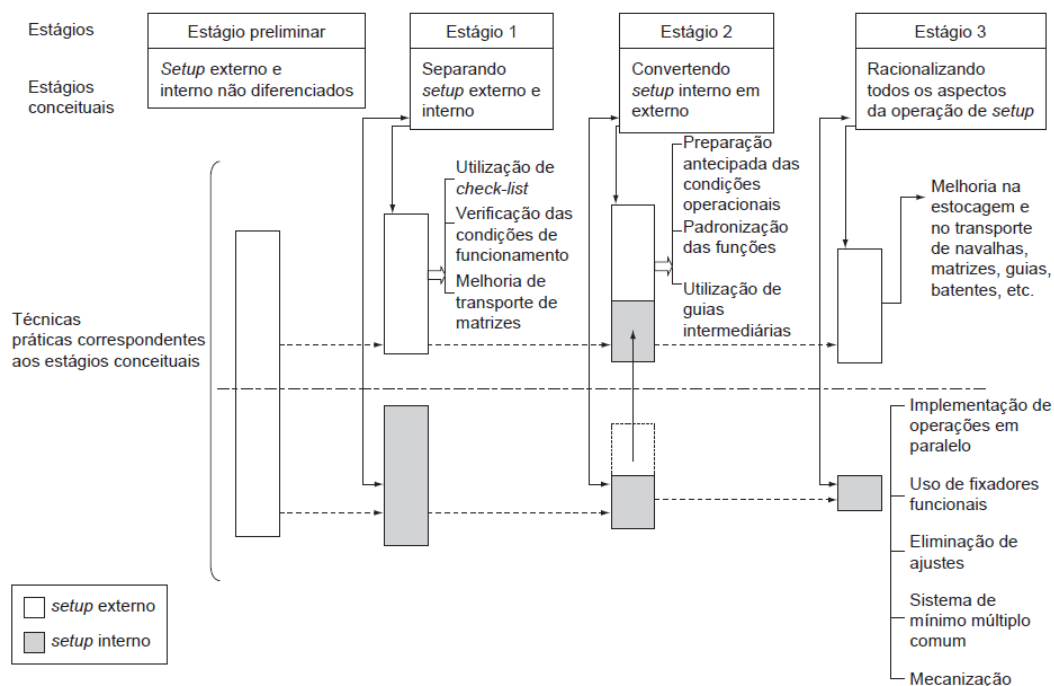


Figura 3 - Etapas de aplicação de SMED

2.2.1 Etapas da implementação da metodologia SMED

São precisas várias etapas para implementar corretamente a metodologia SMED. Apesar de não ser unânime, vários autores definem a aplicação da metodologia nas quatro etapas apresentadas em seguida.

Etapa Zero: Recolha de dados (atividades internas e externas não estão diferenciadas)

Esta fase inicial é utilizada para a recolha de parâmetros e tempo inicial das atividades de *setup* e estudo do método. De modo a obter os tempos e a listagem das atividades, Shingo aconselha o uso de cronómetro, mas pode-se também realizar a filmagem do *setup* caso a operação seja muito complexa ou demorada [8]. O operador que realiza a tarefa é o elemento chave neste processo de recolha de dados por ter o conhecimento da operação e poder facilmente identificar os problemas externos que afetam a preparação da máquina. Devem ser observados vários *setups* e caso existam vários operadores a trabalhar na mesma máquina. No início da análise deve ser dada uma explicação a todos os envolvidos de modo a que estejam cientes do respectivo objetivo.

Etapa Um: Distinção entre atividades internas e externas

Nesta etapa as atividades são classificadas como internas, as que são feitas com a máquina parada, e externas as que são feitas com a máquina em funcionamento. Como Shingo referiu: “ [...] *se for feito um esforço científico para realizar o máximo possível da operação de setup como setup externo, então, o tempo necessário para o interno pode ser reduzido de 30 a 50%. Controlar a separação entre setup interno e externo é o passaporte para atingir o SMED.*” [8].

Etapa Dois: Conversão das atividades internas em atividades externas

A redução de tempo do *setup* interno promovida pela Etapa Um ainda não é suficiente para atingir a meta de tempo proposta pelo SMED. Ainda é necessária uma reanálise das operações de modo a tentar converter algumas operações internas em externas. O operador deverá padronizar o máximo as ferramentas para realizar o máximo de tarefas possíveis. [8].

Esta é a etapa mais importante deste método. Neste passo é proposto um modo operatório que será o ponto de partida para o início das melhorias. O documento gerado deve conter toda a informação necessária à realização do *setup*, nomeadamente a verificação prévia do estado da peça a maquinar, das ferramentas a utilizar, o transporte de todos os dispositivos necessários para junto da máquina, entre outras ações.

Etapa Três: Melhoria permanente das operações

Nesta fase a busca da melhoria não se resume somente aos equipamentos, mas a tudo que está relacionado. Esta etapa tem como objetivo reduzir ao máximo o tempo das atividades, internas e externas, de modo a atingir o objetivo de menos de 10 minutos de *setup* [8]. Deve ser dada formação a todos os envolvidos na aplicação na metodologia, onde são apresentadas as ações que serão tomadas. Nesta formação deve ser inculcido o espírito de melhoria aos operadores, e serem procurados constantemente meios que facilitem redução de tempo tanto nas atividades internas como nas atividades externas. Todas as ações que levem a melhorias num equipamento devem ser aplicadas noutros equipamentos com características idênticas.

2.3 Tecnologia de grupo e Família de peças

A Tecnologia de grupo (TG) consiste em técnicas de agrupamento que visam identificar famílias de componentes e máquinas existentes no sistema produtivo com alto grau de similaridade interna, a ponto de justificar o agrupamento dos diversos elementos em células de fabrico. Estas mudanças propostas pela TG trazem significativa redução de custos na área produtiva da empresa. A Tecnologia de Grupo é ideal para sistemas produtivos de pequenos e médios lotes e médias

variedades de produtos, onde esta metodologia tem trazido para as empresas grandes benefícios na sua gestão produtiva [10].

Uma família de peças é um grupo de peças que têm características similares. Elas podem ser relacionadas através da forma geométrica, tamanho, função ou operações de fabrico idênticos. De facto, uma família de peças pode ser constituída por componentes que sendo dissimilares em formato, estão relacionadas por serem fabricadas a partir de operações de produção idênticas [10].

A análise de fluxo de produção é uma técnica que estuda o fluxo de fabricação de cada peça através das máquinas e de seus processos, em cada unidade produtiva. As peças com fluxos de produção coincidentes são agrupadas e identificadas como uma família. Ela é utilizada para simplificar o fluxo de produção através deste agrupamento de peças que seguem uma mesma sequência de fabricação [10].

2.4 Análise de tempos e métodos

A análise de tempos e métodos foi inicialmente desenvolvida por Frank B. Gilbreth e Lillian M. Gilbreth no final do século XIX. Mais tarde, F. W. Taylor, engenheiro na indústria extrativa tornou-se célebre por ter adotado a divisão de tarefas com o objetivo de responder a 2 questões:

- Como dividir as tarefas da melhor maneira?
- Como distribuir as tarefas de modo a otimizar o trabalho de grupo?

A busca da melhoria do método não se prende só com o trabalho humano mas sim com toda a sua envolvente de modo a promover o aumento da produtividade do sistema.

A definição do método de trabalho e da fixação dos tempos para a execução de uma determinada tarefa é uma das funções dos responsáveis pelas equipas de trabalho. Na presença de imprevistos o responsável tem de estabelecer uma hierarquia em função da influência que um determinado problema tem no sistema produtivo. De acordo que este princípio, é necessário estabelecer o objeto de estudo, seja ele uma tarefa, uma operação ou uma célula produtiva. O objeto de estudo a estudar em primeiro lugar deve ser aquele que tem maior influência sobre a produtividade do sistema, seja ele uma avaria, um retrabalho, uma não conformidade, ou uma tarefa sem valor acrescentado.

Um estudo de métodos assenta na realização de quatro atividades executadas com o maior rigor possível para que possíveis oportunidades de melhoria não sejam perdidas. Essas quatro atividades são:

- Observação
- Recolha/registo de dados e informações
- Análise crítica
- Proposta de novos métodos ou oportunidades de melhoria

O estudo de tempos é uma técnica de medida do trabalho que permite registar os tempos para os elementos de uma dada operação, executada em determinadas condições, e analisar os dados recolhidos de modo a obter o tempo necessário a executar uma tarefa a um determinado rendimento inicialmente definido. Estes estudos podem ser utilizados para determinar o tempo *standard* para uma determinada tarefa já sistematizada ou como ferramenta de estudo de métodos como apoio à análise inicial [11]. Podemos definir o processo do estudo de tempos de acordo com o esquema apresentado na Figura 4 - Processo de estudo de tempos.

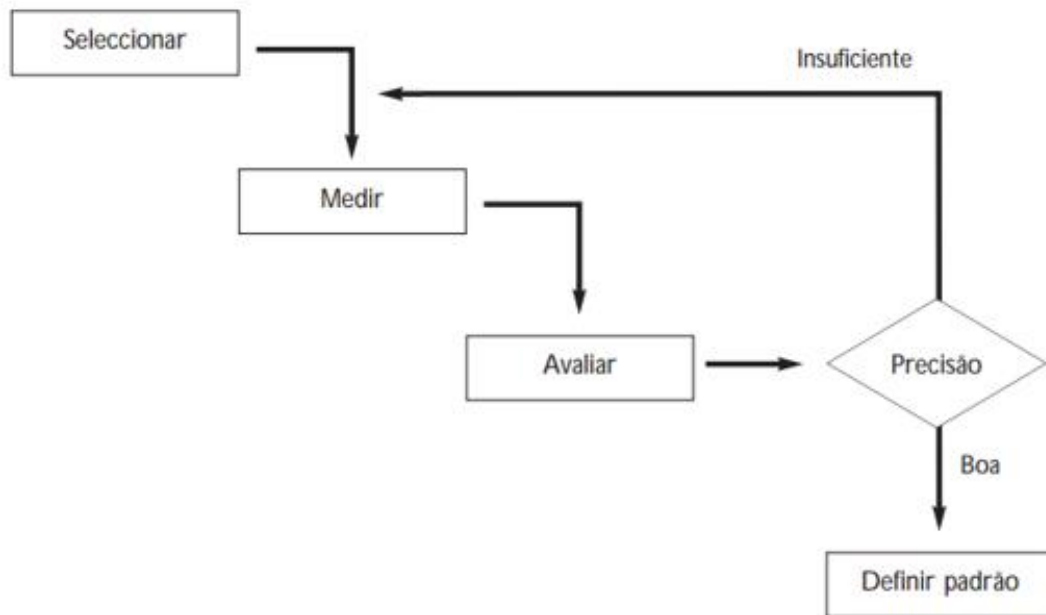


Figura 4 - Processo de estudo de tempos [11]

Cada uma das tarefas pode ser descrita da seguinte forma:

- **Selecionar:** escolher e preparar o assunto a analisar, realizar a recolha de toda a informação necessária e proceder à subdivisão de tarefas de modo a obter uma análise tão completa quanto possível;
- **Medir:** definir o procedimento, verificar os meios disponíveis e que considerações devem ser feitas quando os utilizamos;
- **Avaliar a precisão:** definir o número de medições de modo a permitir ter confiança para afirmar que o tempo de uma determinada operação é “X”;
- **Definir o padrão:** introduzir os coeficientes necessários para que o tempo possa ser considerado como padrão.

2.5 *Zero Point Systems*

O *zero point system* é um sistema de fixação composto por um conjunto de mecanismos que de um modo rápido posicionam e fixam, numa única operação, um determinado componente promovendo assim a troca rápida de ferramenta e conseqüentemente tempos de *setup* rápidos [12]. Estes dispositivos garantem também a repetibilidade do processo de fixação pelo que a peça pode ser deslocada de uma máquina para a outra sem que o zero peça seja perdido. A fixação da peça é uma operação que pode ser executada por via mecânica, pneumática ou hidráulica, conseguindo atingir forças de admissão/retenção na ordem dos 30 kN. Para obter um elevado rendimento deste sistema, é aconselhável a utilização da mesma interface em todas as máquinas de modo a otimizar todo o processo produtivo.

Estes mecanismos são constituídos por vários componentes como ilustrado na Figura 5. Em primeiro lugar surgem as bases que são fixadas e apertadas na mesa da máquina, em seguida os elementos de ligação entre a mesa da máquina e os elementos de fixação que estarão solidários com a peça. Na montagem referente à peça a produzir existem os anéis de conexão, a própria peça e os elementos de ligação. Estes são os elementos fundamentais na montagem do *zero point* porque garantem um correto posicionamento e fixação do mecanismo. Por sua vez, os anéis de conexão podem estar diretamente montados na peça a produzir, em pratos de suporte ou torres de montagem de múltiplas peças.

Após a montagem do conjunto estar concluída a origem do seu referencial é programada, pelo que a localização do ou dos zero peça e respetivos eixos é estabelecida relativamente ao referencial da máquina-ferramenta.

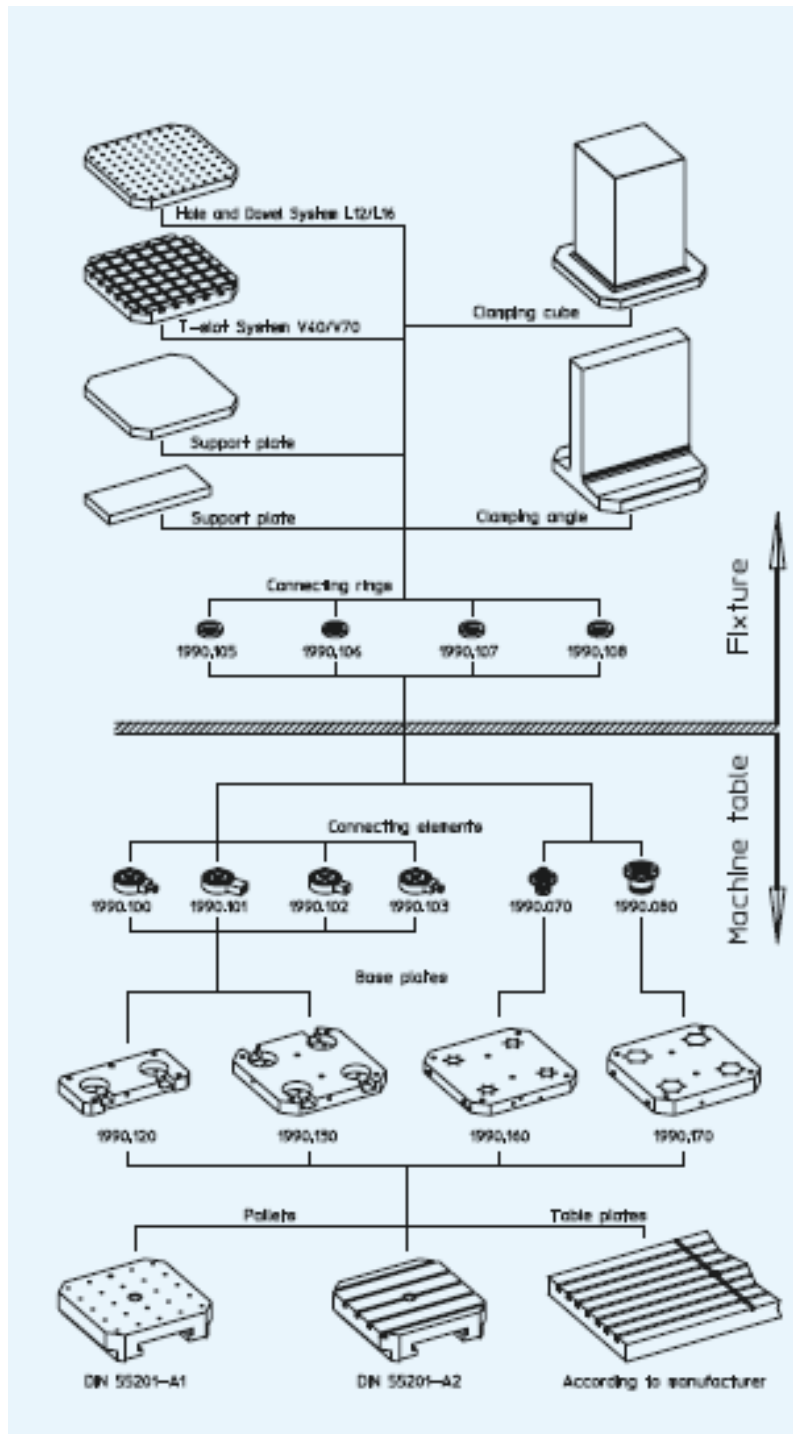


Figura 5 - Esquema de montagem padrão de um sistema de fixação *zero point* [12]

3 Procedimento Experimental

3.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se o procedimento experimental onde, numa primeira parte, será feita uma descrição pormenorizada de todas as células produtivas estudadas. Logo depois apresentam-se alguns dispositivos que auxiliam todo o procedimento de *setup*. De seguida serão apresentadas as tipologias de peças estudadas assim como o percurso que as mesmas fazem pelas células produtivas. Por fim, apresenta-se o fluxograma do *setup* padrão atualmente utilizado nas máquinas.

3.2 Células produtivas estudadas

A secção de maquinagem da MCG é composta por 8 células produtivas que incluem:

- 5 CNC's e 2 fresadoras de comando numérico;
- 2 tornos de comando numérico;
- 3 máquinas de electroerosão e 2 máquinas de micro-furação;
- 4 retificadoras.

Para o cumprimento do objectivo deste trabalho apenas vão ser estudadas as células produtivas compostas pelos centros de maquinagem CNC e fresadoras de comando numérico (NC) por terem sido as que apresentaram um maior défice de produtividade. Em seguida é apresentada uma breve descrição das células produtivas.

3.2.1 Célula produtiva 1 (FPF)

A máquina-ferramenta existente na célula produtiva 1, designada por *FPF* (Figura 6), é uma fresadora convencional utilizada para realizar os desbastes das peças de grandes dimensões (primeiros apertos) e maquinagem de peças sem rigor dimensional. Este equipamento não possui armazém de ferramentas e dispõe de uma mesa com 5300 de comprimento e 2300 de largura. Nesta célula produtiva os recursos humanos correspondem a apenas um operador. O zero peça é definido manualmente pelo operador, visto que a máquina não dispõe de nenhum equipamento incorporado que possibilite realizar esta operação.



Figura 6 - Montagem de uma base para maquinagem na fresadora *FPF* (célula produtiva 1)

3.2.2 Célula produtiva 2 (MAS)

A célula produtiva 2 compreende uma máquina-ferramenta designada por *MAS* (Figura 7) que é um equipamento CNC de grandes dimensões que dispõe de uma mesa fixa de 2500 x 1400 mm. Esta máquina é utilizada para realizar as operações de acabamento uma vez que permite a maquinagem de peças que exijam rigor dimensional (punções e matrizes de grandes dimensões). A máquina possui armazém de ferramentas com capacidade para 56 ferramentas, o que permite mais rapidez na troca de ferramentas durante a maquinagem.



Figura 7 – *MAS* (célula produtiva 2)

Esta célula produtiva, cujos recursos humanos correspondem a um operador, opera com utensílios próprios armazenados localmente num carro de ferramentas. Nesta célula a peça é alinhada com recurso a um comparador de alavanca, e os zeros peça são definidos recorrendo a um indicador de aresta (*probe*).

3.2.3 Célula produtiva 3 (Zayer)

A fresadora de comando numérico *Zayer* (Figura 8) é a máquina que realiza as operações iniciais de maquinagem para preparação do bloco inicial, que não requerem rigor dimensional, em peças de média dimensão (mesa com 1600 x 650 mm). Esta máquina-ferramenta não possui armazém de ferramentas. Nesta célula produtiva o operador tem ao seu dispor uma bancada onde estão arrumadas as ferramentas essenciais à realização das operações.



Figura 8 - FRE7 - Zayer

Os dispositivos de fixação da célula produtiva 1 (*FPF*) são frequentemente utilizados neste equipamento, sendo necessário, neste caso, a deslocação do operador para os recolher. Para o alinhamento da peça, quando necessário, utiliza-se um comparador de alavanca. A definição dos zeros nos eixos x e y é realizada com um centrador. No eixo z o zero é definido manualmente, com o auxílio da própria ferramenta.

3.2.4 Célula produtiva 4 (CM7/CM1)

Esta célula é composta por um operador responsável por dois equipamentos CNC, cuja denominação é *CM7* e *CM1*, e que tem ao seu dispor uma bancada de ferramentas comum a outra célula produtiva. Para auxiliar o *setup* existe uma bancada ao lado da máquina. Uma breve descrição dos dois equipamentos desta célula produtiva é apresentada em seguida.

O equipamento *CM7* é um centro de maquinagem CNC de 5 eixos (Figura 9). É utilizado para peças de elevado rigor, especificamente para a maquinagem de superfícies complexas com base

em programas gerados pelo sistema *CAM* utilizado na empresa. Este equipamento possui um armazém com capacidade para 24 ferramentas. É o ponto de estrangulamento do sistema produtivo, ou *bottleneck*, no que diz respeito a peças de pequenas dimensões. O alinhamento da peça é feito utilizando comparador de alavanca e a marcação dos zeros é feita exclusivamente com o indicador de aresta.



Figura 9 - Centro de maquinagem de 5 eixos (*CM7*)

O centro de maquinagem *CMI*, apresentado na Figura 10, é o equipamento mais recente do departamento de maquinagem da MCG e foi adquirido para realizar as operações iniciais de peças pequenas, libertando assim os equipamentos de maior rigor dimensional desta operação. Possui um armazém com capacidade para 16 ferramentas e é utilizado para realizar as operações de maquinagem de peças pequenas sem grande rigor dimensional.



Figura 10 - CMI (Bridgeport)

3.2.5 Célula produtiva 5 (CM5/CM6)

A célula produtiva 5 (Figura 11) engloba dois centros de maquinagem CNC idênticos de 3 eixos. Estes equipamentos têm armazéns com capacidade para 24 ferramentas e executam operações de maquinagem fina com precisão semelhante ao CM7. Para operar as 2 máquinas que compõem esta célula existe um operador. À semelhança dos outros equipamentos, o alinhamento da peça é feito com comparador de alavanca e a marcação dos zeros é feita com indicador de aresta.



Figura 11 - CM6

3.3 Dispositivos atualmente utilizados

3.3.1 Dispositivos de fixação

Os dispositivos de fixação utilizados para fixar as peças a máquina são apresentados em seguida, sendo importante referir que todas as mesas das máquinas são mesas *T-slot*, podendo assim qualquer uma delas receber diversos tipos de dispositivos de fixação.

Cada equipamento tem habitualmente uma prensa de precisão montada na mesa, por ser este o dispositivo de fixação mais utilizado. No entanto, pode surgir a necessidade de outro tipo de configuração ou espaço adicional e nestes casos utilizam-se outros dispositivos de fixação. Na Figura 12 apresenta-se a montagem da prensa de precisão utilizada na *CM7*.

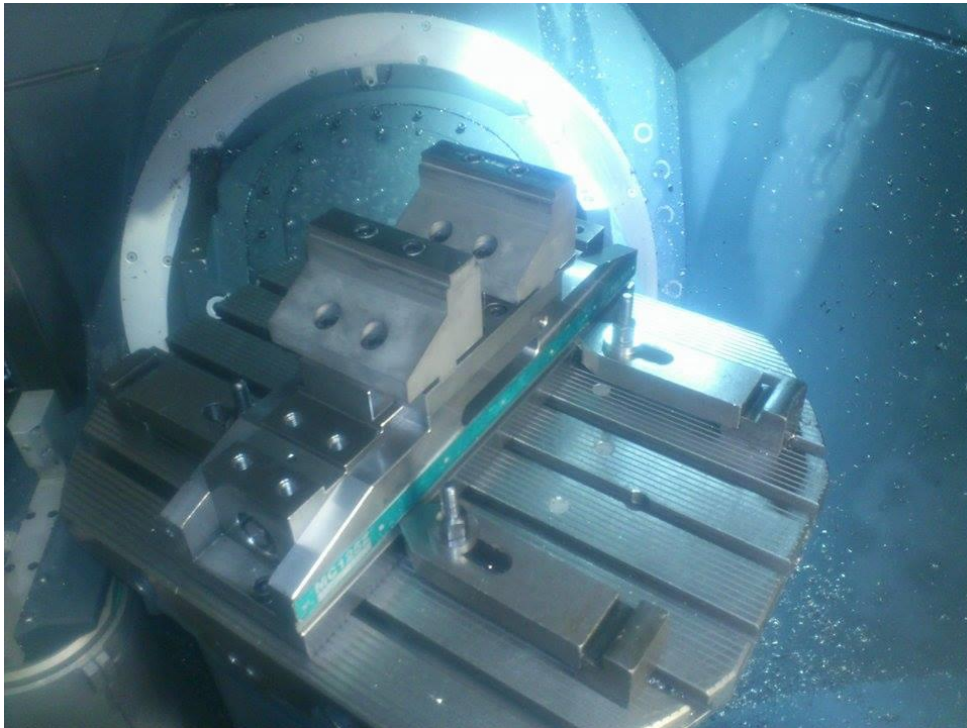


Figura 12 - Montagem de prensa da *CM7* com recurso a dispositivo *T-slot*

As buchas, também chamadas prensas de 3 apoios, são dispositivos de fixação auto-centrante utilizados para a fixação de peças axissimétricas. São utilizadas em qualquer dos equipamentos onde se pretenda maquinar peças com secção transversal circular, por exemplo componentes que não sejam simétricos em relação aos planos perpendiculares ao eixo de revolução. Na Figura 13 apresenta-se uma das buchas existentes.



Figura 13 - Bucha para fixação de peças de secção transversal circular

Os dispositivos *T-slot* são essenciais na fixação de qualquer sistema, pois conseguem não só garantir a fixação de prensas de precisão (Figura 12) assim como possibilitam a montagem de peças directamente na mesa da máquina (Figura 14). O sistema de fixação *T-slot* é composto por diversos componentes que englobam a mesa de todas as máquinas de corte por arranque de apra que a MCG tem ao seu dispor, e dispositivos auxiliares de fixação tais como grampos ou tirantes de fixação. Na Figura 15 são apresentados alguns dispositivos auxiliares que são utilizados para a fixação de peças de grandes dimensões.



Figura 14 - Montagem de peça com recurso exclusivo a dispositivos *T-slot*



Figura 15 - Exemplo de alguns dispositivos auxiliares de fixação *T-slot*

3.3.2 Dispositivos para alinhamento das peças

A fixação da peça tem que ser feita de acordo com a orientação dos eixos da máquina de modo a garantir o cumprimento dos requisitos geométricos e dimensionais do projecto. Para a realização deste procedimento pode recorrer-se a diversos equipamentos de precisão para verificar se existem desvios entre os eixos da máquina e da peça. Na empresa onde se desenvolveu este trabalho são utilizados 2 tipos de comparadores, cada um com a sua finalidade. O comparador de alavanca, apresentado na Figura 16 a), é utilizado para verificar de existência de desvios nos eixos x e y, e o comparador de haste, apresentado na Figura 16 b), é mais utilizado no alinhamento de peças de maior dimensão devido à sua maior resistência.



a)



b)

Figura 16 - Comparadores utilizados para a execução de operações de alinhamento

3.3.3 Dispositivos para definição do zero-peça

Feitas as operações de fixação e alinhamento da peça a maquinar, segue-se a definição da origem do referencial, ou zero-peça. As 2 fresadoras de controlo numérico não exigem rigor no alinhamento dos eixos pois as operações executadas nestas máquinas são operações de desbaste, no entanto a marcação dos zeros é necessária. Para essa operação é utilizado um dispositivo designado centrador, ilustrado na Figura 17 a). Nos centros de maquinagem o instrumento utilizado nesta operação é o indicador de aresta (*probe*), como apresentado na Figura 17 b).



a)



b)

Figura 17 - Instrumentos de definição de zero-peça nas diferentes células produtivas

3.4 Objeto de estudo

Numa ferramenta de estampagem progressiva ou *transfer* existem inúmeras tipologias de peças, pelo que no âmbito de um trabalho deste tipo não seria possível o estudo da totalidade das peças produzidas. Nestas circunstâncias, sentiu-se a necessidade de definir uma tipologia de peças, de modo a possibilitar um estudo pormenorizado do *setup* necessário para a produção das mesmas.

Partindo do planeamento de produção da ferramenta progressiva apresentada na Figura 18, foi criada uma tabela com todas as peças (Tabela 8, em anexo) e feita uma análise das tipologias de peças. Através da aplicação de tecnologias de grupo, restringiu-se a lista de peças até obtermos um

grupo de peças com um percurso idêntico (quantidade e percurso). Na Tabela 9 (Anexo 2) apresenta-se algum trabalho de análise de tipologia de peças tendo em conta o percurso do componente.

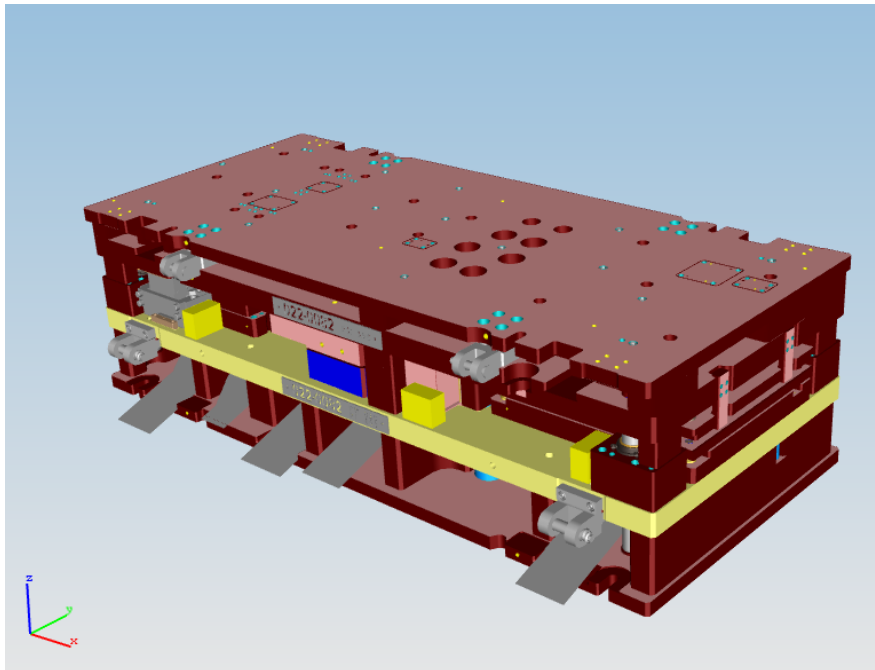


Figura 18 - Ferramenta progressiva estudada para a criação de família de peças

Assumindo como critério a eliminação de todas as peças cujo percurso produtivo não começasse pela célula produtiva 3, eliminaram-se algumas peças. Em seguida, restringiu-se a lista tendo em conta as dimensões, (a menor dimensão da peça não deve exceder os 300 mm) e tipo de material (assumiram-se só peças que possuíssem têmpera), obtendo assim uma lista final com as peças agrupadas como família de peças A. Na Figura 19 podemos ver um exemplo desta família de peças.



Figura 19 - Exemplo de peças da família de peças A

Analogamente, assumindo como critério a eliminação todas as peças cujo percurso produtivo não começasse pela célula produtiva 1, eliminaram-se algumas peças. Em seguida, restringiu-se em termos de dimensões (maior dimensão deve ter no mínimo 400 mm), obtendo assim uma lista final a qual chamamos família de peças B. Um exemplo dessa tipologia de peça está representado na Figura 20.

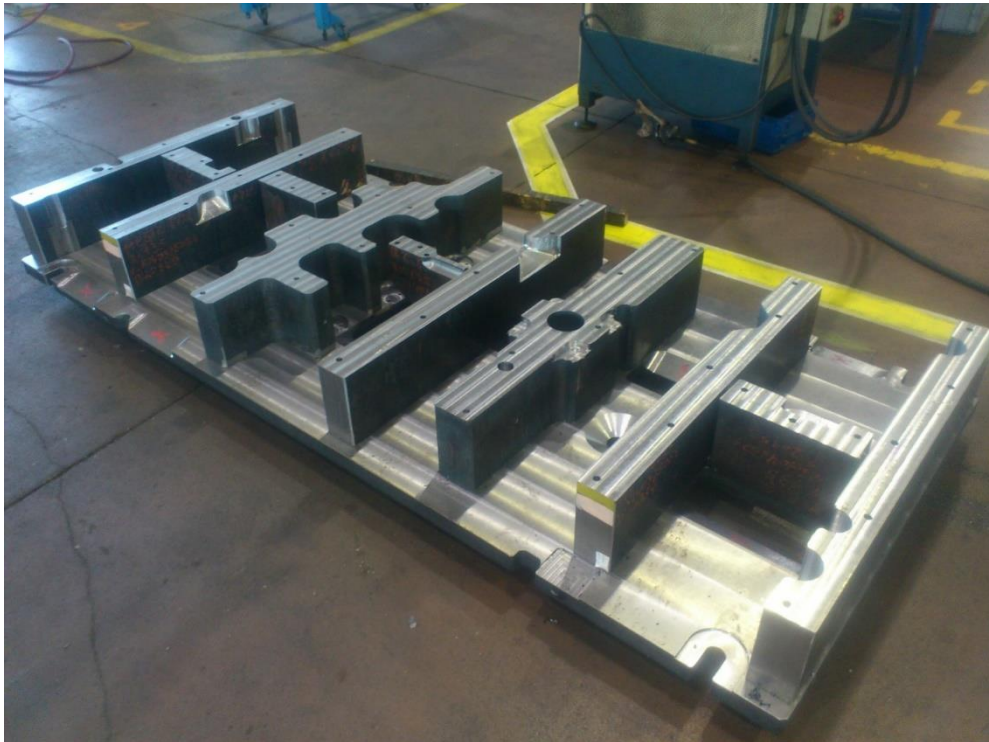


Figura 20 - Tipologia de peças de grandes dimensões (família de peças B)

3.5 Percurso de cada componente

Estando definida a família de peças, podemos assim partir para a determinação de todos os *setups* que a peça tem e respectivas durações. No entanto, temos que saber o percurso da peça e também determinar se esse percurso é ou não o percurso ótimo. Para esse estudo, recorre-se à construção de uma matriz de operações a fim de analisar o percurso da família de peças para os dois casos de estudo.

3.5.1 Percurso de peças da família A

Na matriz que se segue (Tabela 1) podemos observar o percurso atual das peças. De referir que cada operação pode ter mais do que um aperto pelo que optou-se por numerar as operações de aperto. Assim sendo, uma possível peça da família A numa primeira operação que seria a preparação do bloco inicial da peça onde são necessários dois apertos, conseqüentemente terá o mesmo número

de *setups*. De seguida temos dois apertos na CM6 que dá origem à preforma e furações na base (não passantes), e assim sucessivamente.

Tabela 1 - Matriz das operações das peças de pequena e media dimensão

Nº operação \ Tipo de Operação	Op1	Op2	Op3	Op4	Op5	Op6	Op7	Op9	Op10	OP11
Zayer	1,2									
Cm6/CM7		3,4					9			
Serralharia			5							
Medição qualidade				6						12
Têmpera					7					
Retificação						8				
Fio								10		
Revenidos									11	

Ao observar a matriz podemos concluir que já existe algum trabalho de otimização do percurso das peças, pois a grande maioria das operações encontram-se na diagonal, algo que só não acontece nos apertos 9, 10, 11 e 12. Destas operações, a operação 9 é a mais crítica pois é a que se encontra mais desviada da diagonal da matriz, o que significa que temos uma máquina a ser usada 2 vezes para a mesma peça. Se replicarmos esta situação na família de peças em estudo podemos concluir que a esta célula produtiva é o *bottleneck* da família de peças A.

3.5.2 Percurso de peças da família B

A Tabela 2 representa o percurso atual da família de peças B. Tal como no caso anterior a operação 1 contém 2 *setups*.

Tabela 2 - Matriz de operações de peças de grandes dimensões

Nº operação \ Tipo de Operação	Op1	Op2	Op3	Op4	Op5	OP6
FPF	1,2					
Serralharia		3				
Medição qualidade			4			9
Têmpera				6		
MAS					7,8	

Em termos de otimização de percurso já não é possível melhorar uma vez que a matriz já é diagonal, pelo que todo o trabalho a ser executado para diminuir o tempo de *setup* terá que ser em cada *setup* e não na redução do seu número.

3.6 Levantamento de dados na condição atual

Feita uma primeira análise ao percurso atual das peças, podemos a partir de agora analisar todos os *setups* de modo a obter uma visão mais particularizada de todo o processo, e detetar possíveis oportunidades de melhoria. Nesta fase, denominada etapa zero da metodologia SMED dá-se início à recolha de tempos de cada uma das etapas necessárias à realização de um *setup*, dando sempre o máximo de atenção aos movimentos e opiniões do operador de máquina, pois é a pessoa que melhor deteta perdas de tempo desnecessárias. Esses tempos deram origem aos tempos de *setup* de todas as máquinas, e é neste fator que temos que incidir com maior intensidade pois as atividades internas são atividades que não acrescentam valor à operação. O levantamento destes tempos pode ser visualizado com pormenor nas Tabelas 10, 11, 12 e 13, presentes em anexo (Anexo 3).

Ao analisar o *setup* das máquinas verifica-se que grande parte do tempo é perdida em 4 etapas:

- Limpeza da máquina;
- Fixação da peça;
- Comparação da peça;
- Marcação dos zeros da peça.

A título de exemplo, a preparação de trabalho de um fundido pode demorar cerca de 90 minutos. Como se pode observar pela análise da Tabela 10, a limpeza da mesa demora 27 minutos, e o conjunto das operações de fixação, alinhamento e definição dos zeros peça demora cerca de 40 minutos.

Feito o levantamento de todos os *setups* executados em cada uma das máquinas estudadas, procedeu-se à elaboração de uma tabela com todas as movimentações do operador e a um diagrama de movimentações do operador de modo a poder analisar quais as movimentações passíveis de reduzir ou, se possível, eliminar, de modo a manter o operador preferencialmente dentro da sua célula produtiva.

Na Tabela 14 (Anexo 4) podem observar-se todos os passos de um *setup* na célula produtiva 3, respetivos tempos e a prioridade para o *setup*, com base no processo e na frequência com que são feitos. Ao analisar as movimentações padrão, cuja lista também está disponível na Tabela 14, foi criado um diagrama de movimentações, que se pode ver na Figura 21. Verifica-se que, de todas as deslocamentos do operador durante um *setup*, facilmente conseguimos detetar muitas movimentações de grande importância para fora da célula produtiva, pelo que estas operações requerem especial

atenção. De modo análogo, realizaram-se os mesmos levantamentos para as outras células produtivas que devido à sua similaridade não serão apresentadas neste documento.

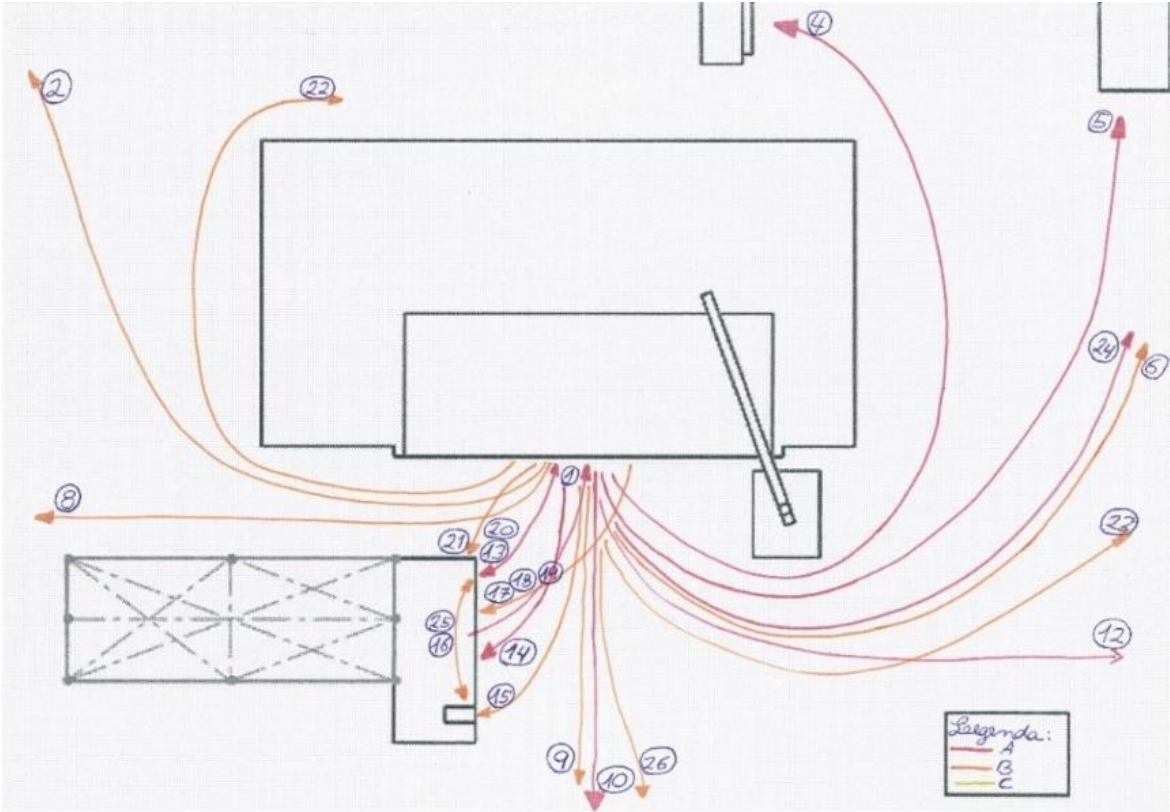


Figura 21 - Diagrama de movimentações com o *layout* inicial

3.7 Setup Atual

Concluída a análise dos tempos de preparação de todas as células produtivas, onde foram detetadas algumas movimentações que carecem de especial atenção, realizou-se a etapa 1 da metodologia SMED, onde são definidas as atividades externas (executadas com a máquina em funcionamento) e as atividades internas (executadas com a máquina parada). Para a execução desta etapa optou-se pela criação de um fluxograma padrão onde estão presentes todos os passos dos *setups* de cada uma das máquinas, mesmo que em alguns casos não sejam aplicáveis. Este diagrama, apresentado na Figura 22 apenas como uma visão geral, pode ser visto com maior detalhe no Anexo 8.

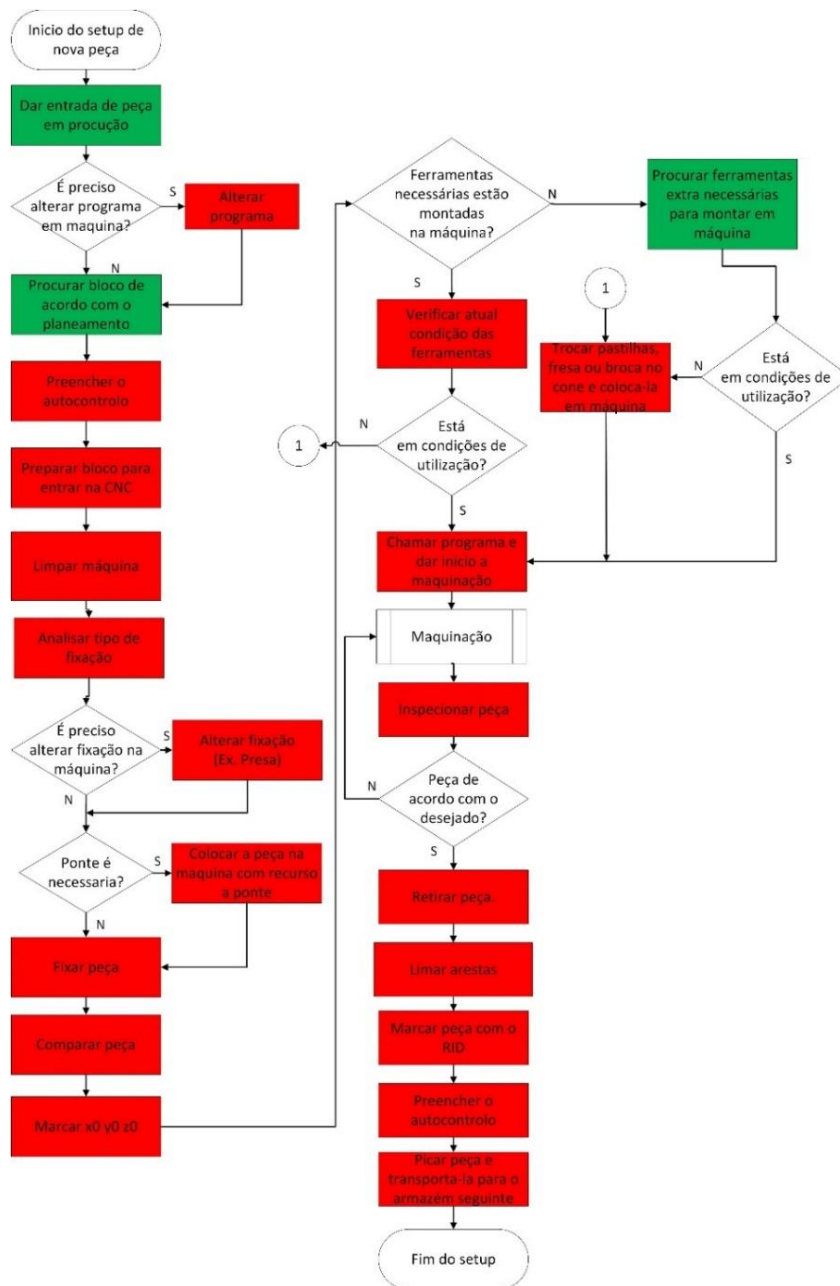


Figura 22 - Diagrama do *setup* geral

De referir que os processos marcados a vermelho são atividades internas, enquanto os processos a verde são atividades externas. A título de exemplo, para a família de peças A a utilização da ponte é raramente necessária, pelo que passaria diretamente para a etapa seguinte. No entanto, sentiu-se esta necessidade de estandardizar o processo, uma vez que os operadores não têm uma célula produtiva fixa, o que torna mais fácil a implementação de alterações pela aplicação de uma metodologia geral a todas as máquinas.

Ao analisar o diagrama apresentado na Figura 22, verifica-se que a preparação de trabalho é feita na sua maioria com a máquina parada pelo que um dos pontos de partida será a sensibilização dos operadores para a execução dos trabalhos de preparação da peça seguinte enquanto a máquina esteja em funcionamento. É importante saber que em algumas situações esta preparação com a máquina parada deve-se ao fato do operador estar responsável por mais do que uma máquina.

Se juntarmos a informação presente no diagrama anterior com a informação presente nas tabelas de *setup* de cada umas das máquinas, apresentadas no anexo 3 (Tabela 10, Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13), podemos concluir então que os pontos críticos são a limpeza da máquina, a fixação e o alinhamento da peça, a definição dos zeros-peça e também a execução de grande parte da preparação de trabalho com a máquina parada, pelo que serão esses os pontos a analisar em primeiro lugar.

4 Propostas de melhoria

Concluída toda a fase de análise do *setup*, ficam a faltar as últimas duas etapas da metodologia SMED, ou seja, a conversão de tarefas internas em externas e a melhoria contínua de todo o processo. Optou-se pela realização destas duas etapas em conjunto uma vez que estão necessariamente interligadas.

As soluções encontradas nasceram de 3 fontes de informação distintas:

- Diagrama de movimentações de cada célula produtiva;
- Tabelas dos tempos de *setup*;
- Diagrama de *setup* atual.

Ao analisarmos o diagrama de movimentações, conseguimos obter as movimentações mais importantes e essas têm necessariamente que estar dentro da célula produtiva. Dos tempos de *setup* conseguimos perceber quais as operações de preparação de trabalho que ocupam uma maior percentagem do tempo de *setup*. Por último, do diagrama do *setup* atual verificamos que quase todas as actividades são internas o que nos leva a ter que realizar algumas alterações de modo a que tais tarefas passem a ser realizadas com a máquina em funcionamento.

4.1 Soluções propostas para implementação na célula produtiva 3

Continuando com o exemplo da célula produtiva 3, partindo do diagrama apresentado na Figura 21, podemos observar que temos múltiplas movimentações para fora da célula. As soluções apresentadas em seguida, têm como principal objetivo reduzir e, se possível, eliminar estas mesmas movimentações.

Movimentação para abertura/fecho da válvula de ar

A introdução de uma válvula eletromecânica no sistema de refrigeração de ar da máquina tem como principal objetivo eliminar as deslocações do operador para o acionamento da mesma, uma vez que a válvula manual encontrava-se na parte de trás da máquina. Esta válvula é acionada por um botão introduzido no comando do equipamento (botão identificado como “ar refrigeração”), ilustrado na Figura 23. Em média, o operador desta célula perdia 16 minutos do seu dia em deslocações. Com a introdução deste dispositivo esse tempo ficou reduzido para cerca de 3 minutos, o que equivale a uma redução de aproximadamente 81%.

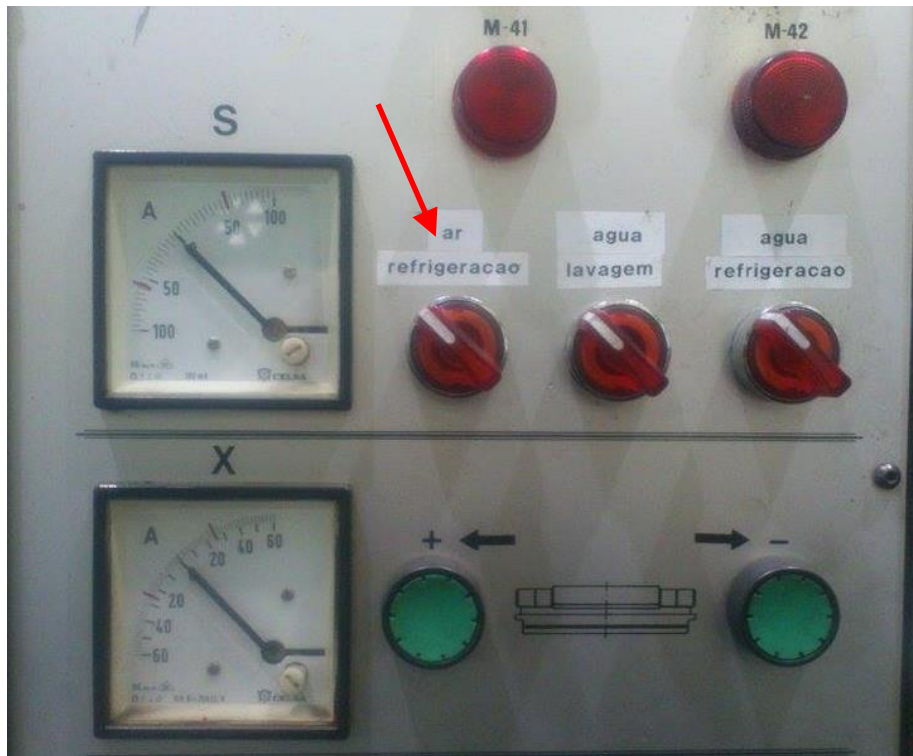


Figura 23 - Localização do botão de acionamento de válvula eletromecânica

Movimentação ao computador

Tal como no caso anterior, o computador encontrava-se nas traseiras da célula produtiva. Neste caso, o operador deslocava-se no mínimo 3 vezes ao computador, por cada peça produzida, para dar entrada da peça em produção, inserir os programas na máquina e dar saída da peça de produção. Propôs-se a criação de uma gaveta por baixo do comando da máquina e a colocação de um computador portátil para a execução destas tarefas, como a Figura 24 ilustra. Com este ajuste obtivemos uma redução de tempo na ordem dos 73%.



Figura 24 - Localização do computador na face lateral do comando da máquina CN

Conceção de um dispositivo porta cones

Os cones das ferramentas estavam, no início deste trabalho, guardados numa das gavetas da célula produtiva. Como o número de cones é considerável, tornava-se demorada a procura da ferramenta indicada. Foi então projetado um suporte para os cones da célula produtiva 3 com capacidade para 12 cones, ficando agora dispostos em cima da bancada do operador. Esta solução, para além de reduzir o tempo de procura, mantém o operador atento ao desgaste das ferramentas de corte, executando, quando necessário, a troca das mesmas com a máquina em funcionamento.



Figura 25 - Porta cones MCG

Estandarização de calços

Na fixação das peças, é normal a utilização de calços de modo a elevar o bloco de material o suficiente para que toda a superfície a maquinar fique ao alcance da ferramenta de corte e longe do dispositivo da fixação. Todas as máquinas tinham à sua disposição alguns calços. No entanto, em algumas situações a altura dos calços que os operadores tinham na bancada não era a indicada o que levava o operador a realizar uma deslocação ao posto de um colega de modo a obter os calços com a altura indicada. De modo a eliminar esta deslocação, foram criados calços iguais para todas as máquinas (Figura 26) com 8 alturas diferentes, de modo a abranger a maioria das gamas de alturas necessárias.



Figura 26 - Calços *Standard*

Organização das pinças

Na célula produtiva 3 existem três tipos de pinças para a fixação de ferramentas nos respectivos cones, todas elas com diferentes diâmetros. Estas pinças estavam espalhadas numa das gavetas desorganizadas. Foi concebido, modelado e produzido um organizador de pinças (Figura 27) com as medidas da gaveta e colocadas as pinças de acordo com o seu tamanho e tipo, tornando assim a sua seleção mais fácil e rápida.



Figura 27 - Organizador de pinças para a Zayer

Visualização da peça no *software* TEBIS

Por vezes o operador sente a necessidade de verificar alguma informação sobre as peças a produzir, nomeadamente dimensão ou tolerância. Para aceder a essa informação é necessário abrir o ficheiro da peça no *software* de programação *TEBIS*. Este *software* só estava disponível em 2 computadores do chão de fábrica e no gabinete de programação, todos eles longe da célula produtiva em questão. Para resolver esta questão foi instalado no computador da célula este mesmo *software* conseguindo assim eliminar esta movimentação do operador para fora da máquina.

Limpeza de limalhas da máquina

A fresadora *Zayer* não tem nenhum mecanismo de recolha de limalha. Sendo esta máquina de desbaste com uma taxa de remoção de material elevada, foi proposto a criação de um mecanismo de recolha de limalha diretamente para o tapete de recolha geral de limalha da fábrica. De entre os mecanismos estudados, e tendo em conta o material existente, ficou definido reutilizar um tapete mecânico que se encontrava inutilizado.

4.1.1 Diagrama dos deslocamentos do operador com propostas implementadas

As propostas apresentadas no capítulo 4.1 foram algumas das soluções implementadas com vista a redução do tempo de *setup*. Nas Tabelas 15 e 16, apresentadas em anexo (Anexo 5) podemos verificar a poupança de tempo conseguida com as propostas implementadas. Estima-se que, com as propostas apresentadas consigamos obter uma poupança de tempo na ordem dos 48%. Esta redução de tempo deve-se não só às soluções apresentadas como também à eliminação e redução de movimentações. Ao observar o diagrama apresentado na Figura 28, verifica-se que a grande maioria das movimentações estão concentradas no centro da célula produtiva e movimentações como procura de calços (6) foram agora eliminadas.

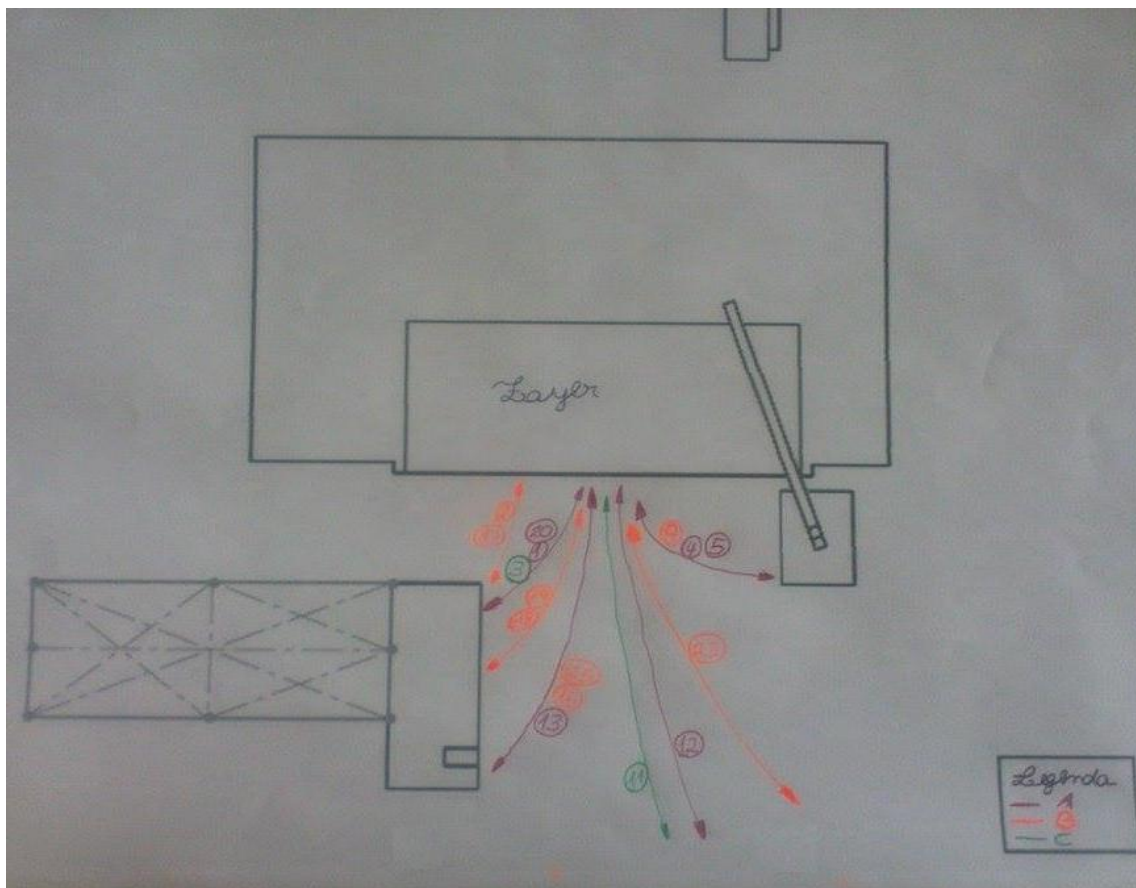


Figura 28 - Diagrama de movimentações com propostas implementadas

4.2 Soluções propostas para implementação nas restantes células produtivas

De forma análoga ao procedimento aplicado na célula produtiva 3, com base na análise inicial de movimentações do operador, foram propostas diversas alterações de modo a aumentar a produtividade das células. Algumas das propostas foram implementadas tendo em conta os bons resultados obtidos nesta célula produtiva.

Estandarização de calços

À semelhança do trabalho realizado na célula produtiva 3, foi entregue a cada uma das quatro células produtivas um conjunto de calços com as mesmas dimensões para todas as máquinas.

Aquisição de carrinho de ferramentas comum aos equipamentos CM6 e CM7

As ferramentas utilizadas com maior frequência nestes equipamentos encontravam-se guardadas numa bancada longe destas, o que levava o operador a movimentar-se para longe da máquina. Foram adquiridos 2 carros de ferramenta, um para cada célula produtiva (Figura 29). Com este investimento tornou-se possível o armazenamento de todas as ferramentas e dispositivos

necessários à realização da preparação de trabalho junto do equipamento e assim conseguiram-se eliminar estas deslocações.



Figura 29 - Carros de ferramenta colocados junto das respetivas máquinas

Reorganização do *layout* das máquinas da família de peças A

No início deste estudo a empresa não tinha ao seu dispor o equipamento *CMI*. Após a receção e instalação desta máquina-ferramenta foi elaborado o estudo para análise do melhor *layout* para a recente aquisição. Nesse estudo analisaram-se as movimentações dos operadores nas quatro máquinas e obteve-se um novo *layout*, adequado ao percurso produtivo da família de peças A.

Criação de estrutura em redor do equipamento FPF

Na célula produtiva 1, uma das etapas do *setup* onde era gasto mais tempo era na limpeza da mesa da máquina, uma vez que ela não tem ao dispor um dispositivo de recolha de avara, o operador sempre que tira uma peça maquinada da mesa tem que a limpar toda a mesa manualmente, antes de começar a trabalhar na peça seguinte. Este processo tinha que ser sempre feito com recurso a vassoura pois como a máquina não tinha estrutura de proteção, a utilização de pistola de ar comprimido para limpar a mesa não seria segura.

Foi então criada uma estrutura em redor da máquina (Figura 30) para a impedir a projeção de limalha para longe da máquina e permitindo assim a utilização de ar comprimido para limpeza, tornando assim o processo de limpeza mais eficiente. Está também projetado uma rampa para a saída da limalha da mesa diretamente para o tapete geral da fábrica.



Figura 30 - Estrutura para retenção de apara

Organização de todas as gavetas das ferramentas da MAS e FPF

Tanto a célula produtiva 1 como a célula produtiva 2 tinham as bancadas desorganizadas e as gavetas estavam arrumadas com disposição diferente das outras células. Para eliminar os constrangimentos passíveis desta diferente organização criou-se, com os operadores das células produtivas, uma disposição modelo das gavetas das máquinas e também toda a sua documentação.

Embora estas pequenas alterações não tenham diretamente um ganho visível em termos redução de tempo de preparação de trabalho, promovem a produtividade consequentemente aumento da competitividade da empresa.

4.3 Zero Point

Embora todas as propostas implementadas promovam um aumento de produtividade, as maiores perdas de tempo continuam a ser a fixação e alinhamento da peça e a definição do zero-peça. Como apresentado no capítulo 2.5, o sistema de fixação *zero point* é um dispositivo que executa estas três tarefas substancialmente mais rápido uma vez que o sistema garante o posicionamento da peça, em relação a um zero previamente definido através de posicionadores (pinos) como se pode observar na Figura 31.

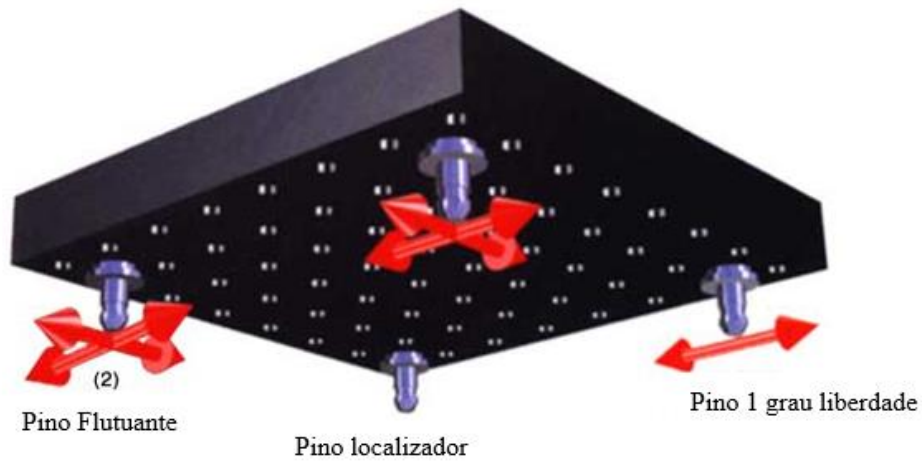


Figura 31 - Esquema de posicionamento utilizado nos *zero point* [14]

Devido à impossibilidade por parte da empresa em investir num equipamento disponível comercialmente com estas características, optou-se por projetar internamente um sistema similar com a vantagem de se adaptar às particularidades do tipo de produção da empresa. Este sistema, passível de ser usado na maioria dos equipamentos existentes, foi projectado como uma montagem de componentes a fabricar na própria empresa, mas garantindo a utilização de componentes existentes. Será importante referir que não são apresentados desenhos de projecções ortogonais dos componentes dado este tipo de representação ter sido abolido na empresa. Atualmente, e para visualização dos componentes fabricados, é utilizada a representação tridimensional dos modelos CAD cujas definições são definidas por cores a partir de uma tabela com codificação interna (Anexo 6). Na Figura 32 apresenta-se a montagem do sistema projectado, de acordo com o procedimento da empresa.

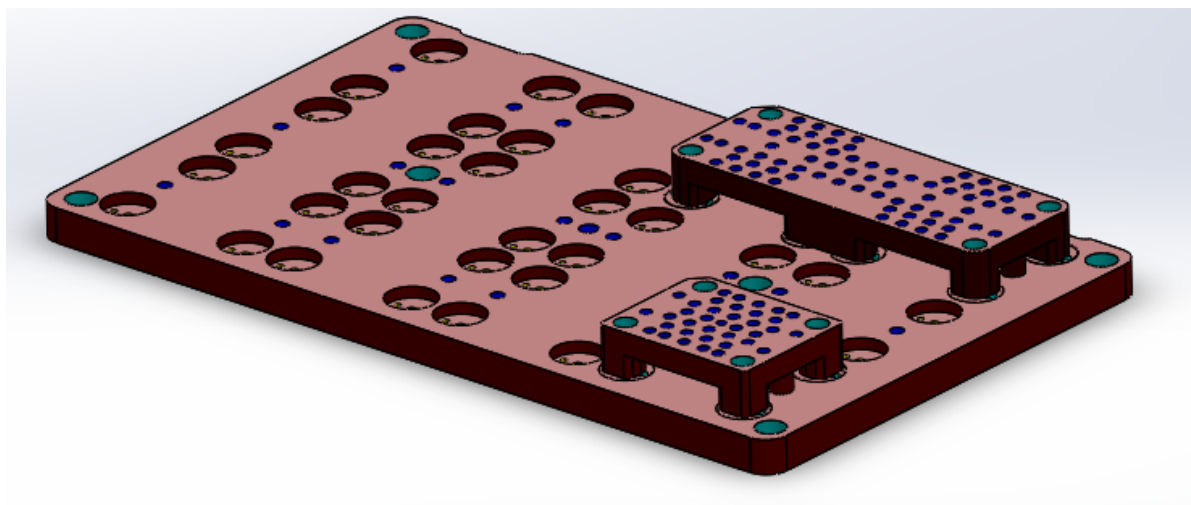


Figura 32 - *Zero point* MCG

Este dispositivo é composto por uma base com 750 x 450 mm, com capacidade para 12 mesas de receção de peça pequena ou 6 mesas de receção de peça grande. Para a receção destas mesas são necessários 48 batentes. Cada componente será descrito pormenorizadamente em seguida.

4.3.1 Descrição do equipamento

Base geral

A base geral do *zero point MCG* presente na Figura 33 é uma base de receção das mesas onde as peças serão montadas, foi dimensionada de acordo com as dimensões da mesa CM6/CM5. Optou-se por dimensionar a mesa de acordo com estas CNC's, uma vez que existem 2 máquinas iguais na empresa, e por estas deterem uma taxa de ocupação elevada.



Figura 33 - Base geral do *zero point MCG*

O material utilizado para a maquinagem desta peça, foi um aço de construção 1.1191. A escolha deste aço deve-se ao fato de este componente não sofrer grande desgaste, uma vez que estando o *zero point* operacional, a base ficará sempre assente na mesa da máquina. A única zona onde poderia ocorrer desgaste a de contacto entre a base e a mesa da montagem de peças. Para prevenção foram criadas caixas para a colocação de batentes nas zonas de aperto e nos locais de posicionamento foram colocados componentes posicionadores. Esta solução permite uma fácil manutenção do *zero point* e permite também que o desgaste seja praticamente nulo.

Optou-se ainda por não executar nenhum tratamento térmico nem de superfície por não ser necessário. Visto que a base geral se encontra em permanência montada em máquina, o próprio fluido de refrigeração manterá o componente livre de oxidação indesejada.

Batentes

Os batentes têm como principal função impedir o desgaste da base do *zero point*, e oferecer alguma resistência ao desgaste. Estes batentes não têm grandes requisitos em termos de tolerâncias e as caixas estão projetadas com uma folga de 2 mm. No entanto, a sua espessura é importante pois garantirá a planicidade entre a base do *zero point* e a mesa da peça uma vez que esta assenta e é apertada sobre 4 destes batentes. Consequentemente, o material deverá possuir elevada resistência à abrasão, pelo que o material utilizado foi *usidur*. Este aço tem na sua composição cromo que promove a formação de carbonetos quando combinado com o carbono. Estes carbonetos conferem-lhe uma elevada resistência ao desgaste, diminuem a velocidade crítica de têmpera e aumentam a penetração da têmpera. Este aço tem também na sua composição vanádio que permite a formação de carbonetos muito finos, aumentando também a resistência ao desgaste. Por fim temos o manganês e o silício que são agentes desoxidantes. Estes batentes foram sujeitos a têmpera de modo a obter a dureza desejada (58/60 HRC).

Mesas de fixação de peça

A mesa de receção é o componente mais importante do *zero point MCG*, uma vez que é o elemento que posicionará a peça no *zero point*. Esta peça é composta por duas caixas para os posicionadores que se encontram na parte de baixo do componente e é fixa por quatro parafusos M12. O zero mesa, ou origem do referencial encontrar-se-á no furo central da mesa de fixação e todos os restantes furos são furos de posicionamento de peça e estão dispostos em múltiplos de 5 mm do zero mesa para a periferia. Tal decisão foi tomada uma vez que existe no projeto uma diretiva que indica que todos os furos devem ser colocados em múltiplos de 5 mm desde a origem da peça. Assim, conseguimos economizar furos na peça sempre que possível. Foram projectadas, no âmbito desta dissertação, duas mesas com diferentes dimensões de modo a abranger uma maior variedade de dimensões de peças (Figura 34).



Figura 34 - Mesa de receção de peça

Este será o componente do *zero point MCG* que terá maior uso e conseqüentemente maior desgaste. Este desgaste surgirá principalmente nas zonas de posicionamento da mesa com a base, através dos cones posicionadores, e da mesa com a peça, através de dois parafusos de corpo calibrado que atravessam a base e apertam a peça, devido ao atrito provocado pelo deslizamento entre as partes envolvidas. De modo a combater este desgaste decidiu-se utilizar um aço de construção 1.2738 com nitruração. O aço escolhido tem na sua composição níquel, que aumenta a tenacidade do aço, cromo, que garante uma maior resistência ao desgaste e à corrosão, e manganês, que apresenta uma grande tendência ao encruamento por efeito de choque pelo que garante uma elevada dureza superficial, mantendo a tenacidade no seu núcleo. Com a combinação destes três elementos conseguimos obter condições para a realização do tratamento de superfície desejado, a nitruração. Com este tratamento conseguimos garantir uma dureza superficial elevada.

4.3.2 Montagem e funcionamento do *zero point MCG*

Estando todos os equipamentos maquinados, procedeu-se à montagem. Na base foram montados os cones posicionadores e os batentes retificados. Na mesa da máquina foram montados os recetores dos cones e por último foi afinada a altura entre os posicionadores e as faces de aperto da mesa de modo a garantir o encosto e o aperto. Na Figura 35 podemos ver uma vista explodida do modelo do *zero point* com todos os componentes.

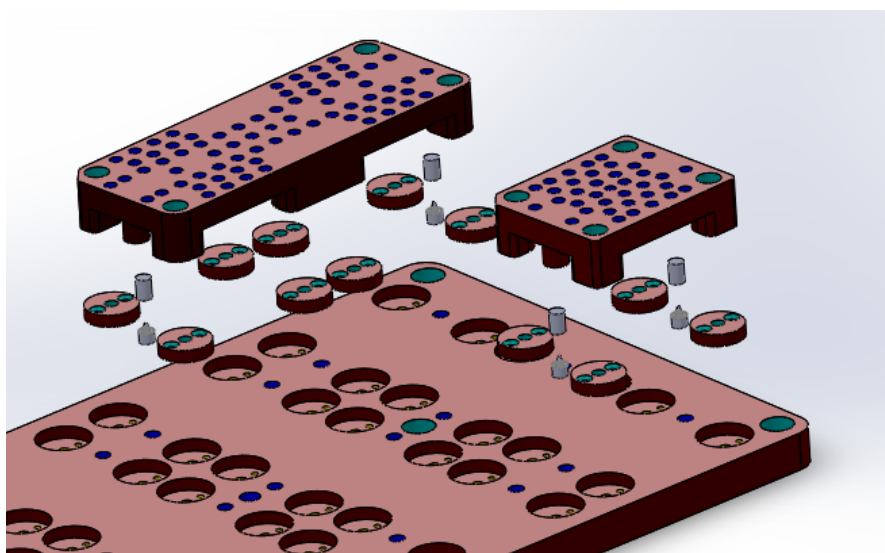


Figura 35 - Vista explodida do *zero point MCG*

A base geral é fixa na mesa da máquina recorrendo a seis parafusos M16 apertados recorrendo a dispositivos *T-slot*. A mesa do *zero point* é fixa à base geral recorrendo a quatro parafusos M10. Como referido, o posicionamento e aperto da peça é garantido com parafusos de corpo calibrado com uma ponta roscada. Na Figura 36 apresenta-se uma vista de corte onde podemos observar tal configuração.

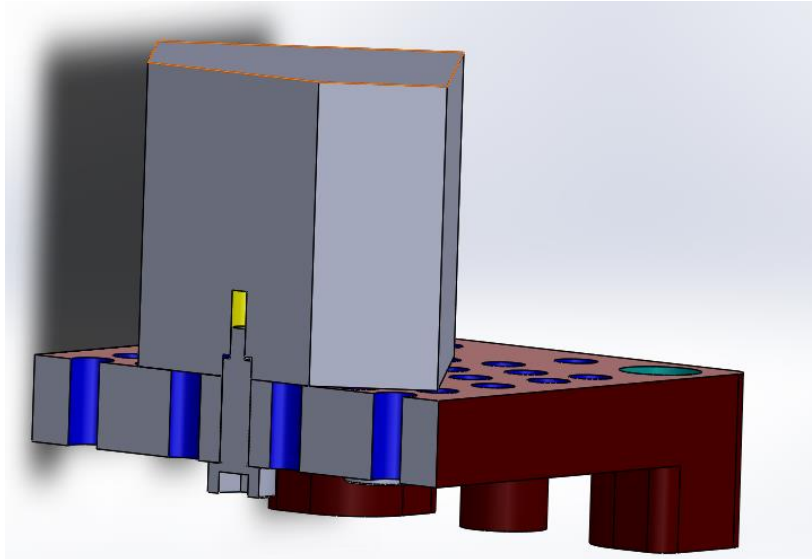


Figura 36 - Esquema de posicionamento de peça temperada na mesa da máquina

De referir que existem dois tipos de parafusos de corpo calibrado, um com dois diâmetros calibrados (9 e 10 mm) de modo a fixar a peça antes de têmpera. Posteriormente a peça é temperada e esse furo de diâmetro nominal 9 mm é alargado para 10 mm, e é utilizado um novo parafuso com o corpo calibrado com um único diâmetro de 10 mm.

Presets

Antes da existência do *zero point* após o aperto da peça e da comparação da mesma procedia-se a marcação dos zero-peça. Com a introdução do *zero point*, após o posicionamento da e aperto da mesa basta definir no equipamento qual o *preset* onde a mesma foi montada. Tomando como exemplo a mesa pequena conseguimos posicionar doze peças na mesma base. Na Figura 37 representam-se alguns dos *presets* possível para a mesa pequena.

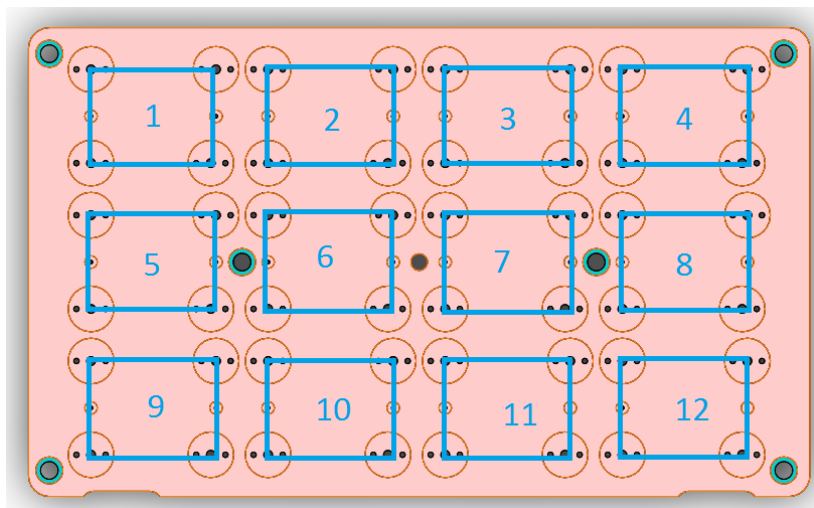


Figura 37 - *Presets* básicos para as mesas pequena do *zero point*

De referir que com esta tecnologia tem que haver da parte da programação da peça uma atenção extra de modo a evitar colisões entre ferramentas e peça e também na própria definição dos zeros passam a ser definidos no centro e topo de cada mesa. Desta forma é possível aumentar a produtividade das máquinas uma vez que podem ser montadas simultaneamente várias peças e produzir 24 horas por dia, libertando o operador da máquina.

4.4 Setup proposto

Com base nos *setups* observados, nos dados recolhidos e nas propostas implementadas, propôs-se um *setup* que é apresentado na Figura 38, onde se aumentou a quantidade de passos executados externamente (representados a verde). Como se pode observar a mancha vermelha foi reduzida em relação ao *setup* apresentado na Figura 22. De referir que caso seja possível a utilização do *zero point* o *setup* torna-se mais curto uma vez que deixa de ser necessário o alinhamento da peça e definição dos zeros. Este diagrama pode ser visto com maior detalhe no Anexo 9.

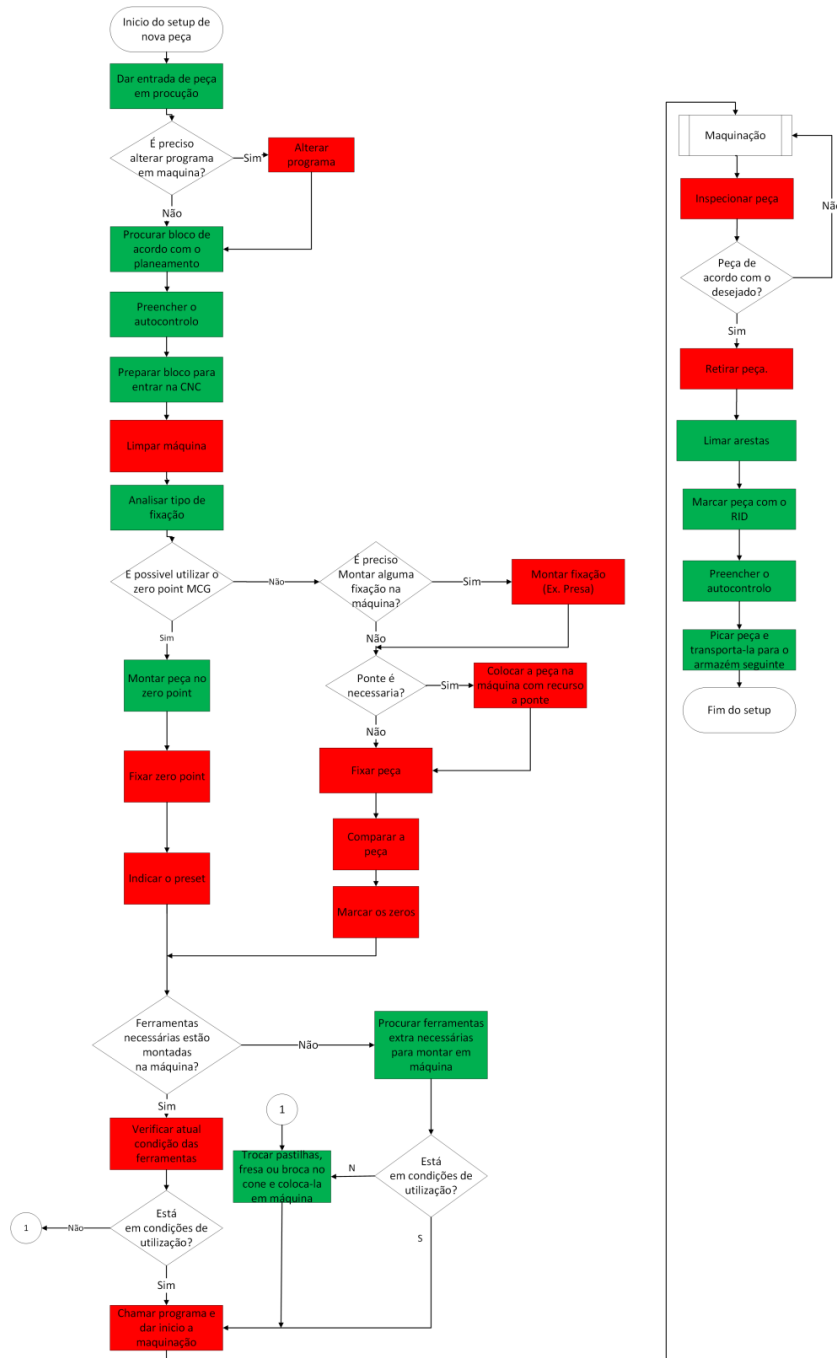


Figura 38 - Diagrama de *setup* proposto

5 Validação

5.1 Taxa de ocupação de máquina

Um dos índices utilizados pela empresa para analisar a produtividade de cada uma das células produtivas é a taxa de ocupação de máquina, ou seja, é o valor em horas semanais que a máquina está efetivamente a produzir. Neste momento a empresa está a funcionar a 3 turnos, 5 dias por semana o que se traduz num total de 120 horas semanais. Na Tabela 19 (Anexo 7) podemos observar os valores da taxa de ocupação da *CM4*, *CM5*, *CM6* e *CM7*. De referir que os valores apresentados nesta tabela são o rácio entre o número de horas que a máquina funcionou e o número de horas disponíveis para produção.

Com base nestes valores, são apresentados de seguida os gráficos da evolução da taxa de ocupação para cada uma das quatro máquinas disponíveis para análise.

Ao analisarmos o gráfico apresentado na Figura 40 podemos verificar um crescimento na taxa de ocupação de máquina ao longo das últimas 60 semanas, uma vez que temos um declive positivo na recta gerada peça regressão linear. A título de exemplo, na semana 28 podemos observar uma taxa de ocupação nula, tal fenómeno deve-se à existência de eventos especiais, nomeadamente avaria ou manutenção preventiva/corretiva. De notar também que esta evolução é marcada com elevadas variações na taxa de ocupação, tal efeito deve-se ao tipo de trabalho que é realizado nesta máquina.

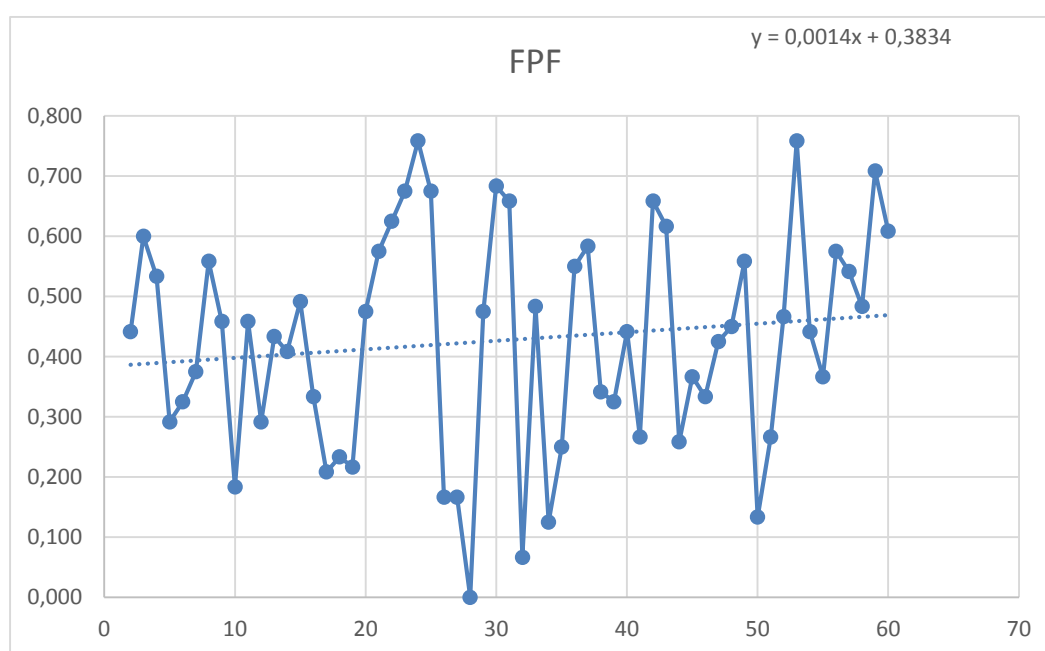


Figura 40 - Evolução da taxa de ocupação de máquina para a FPF

A *CM4* é a máquina que apresenta um melhor resultado no que toca à evolução da taxa de ocupação uma vez que o declive da equação da regressão linear é positivo e o mais acentuado face as restantes 3 máquinas, como podemos observar na Figura 41. No entanto temos 5 semanas onde a máquina esteve parada devido a eventos especiais. De referir também que temos uma semana onde a taxa de ocupação foi superior a 1, tal evento deve-se ao facto de em algumas situações as máquinas ficarem a funcionar durante o fim-de-semana a realizar acabamento em peças temperadas.

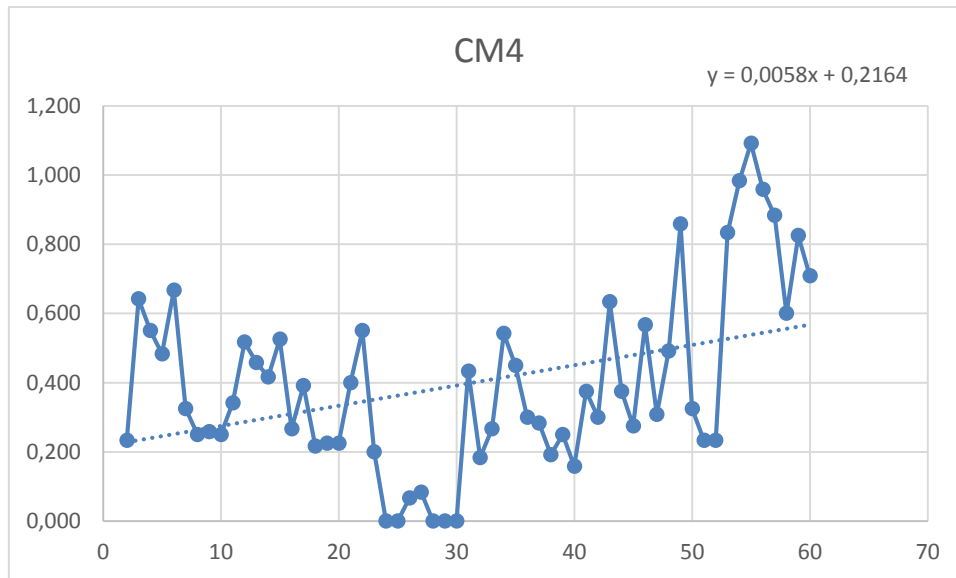


Figura 41 - Taxa de ocupação de máquina da *CM4*

O gráfico do equipamento *CM5* representado na Figura 42 expõe uma situação especial, uma vez que a máquina esteve parada durante as primeiras 25 semanas analisadas. Na semana 31 podemos observar que houve um evento especial uma vez que a taxa de ocupação de máquina foi muito baixa, o mesmo sucedendo nas semanas 50, 51 e 52 onde houve uma diminuição acentuada do rendimento devido ao período natalício. No entanto a taxa de ocupação ao longo do período de estudo tem vindo a aumentar consideravelmente.

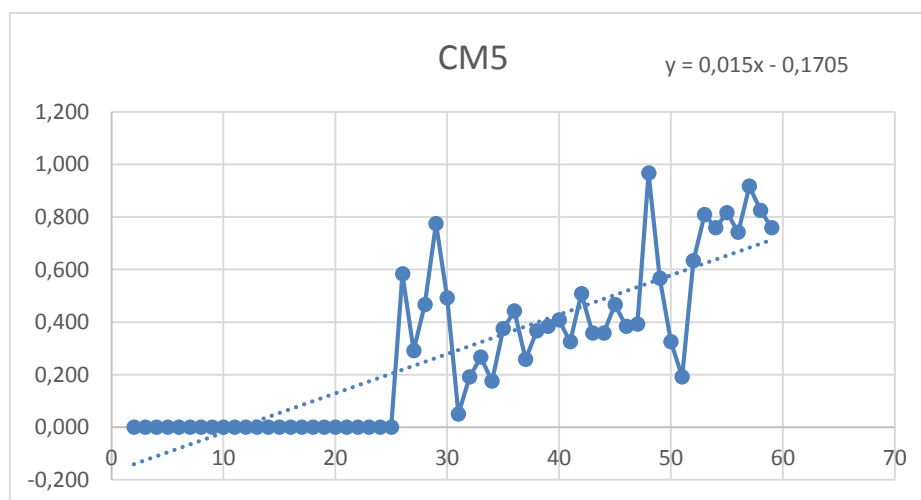


Figura 42 - Taxa de ocupação de máquina da *CM5*

No caso da *CM6*, apresentado na Figura 43 verifica-se uma taxa de ocupação durante as primeiras 50 semanas a rondar os 40%. No entanto, com a entrada do novo ano, esta taxa subiu consideravelmente mantendo-se sempre acima dos 50%. Tal evento deve-se à entrada de novos projetos e também ao facto de esta máquina ter estado neste período a realizar muitas operações de acabamento pós-têmpera.

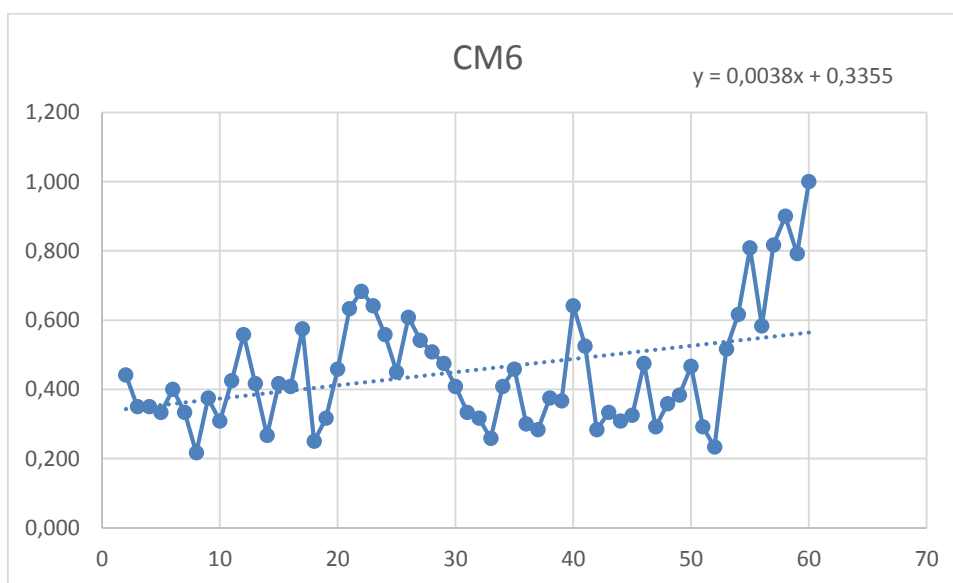


Figura 43 - Taxa de ocupação de máquina da *CM6*

Na Figura 44 podemos observar que a taxa de ocupação da *CM7* ao longo das últimas 60 semanas não apresentou nenhuma tendência de crescimento. Tal situação deve-se ao facto de esta máquina ter um grau de exigência muito superior a qualquer uma das outras uma vez que o rigor em todo o processo de *setup* tem que ser muito elevado.

Podemos observar uma quebra na produtividade da máquina da semana 30 a semana 44, este decréscimo pode ser justificado pelo período de férias dos operadores, e também da chegada da *CM1* como referido anteriormente.

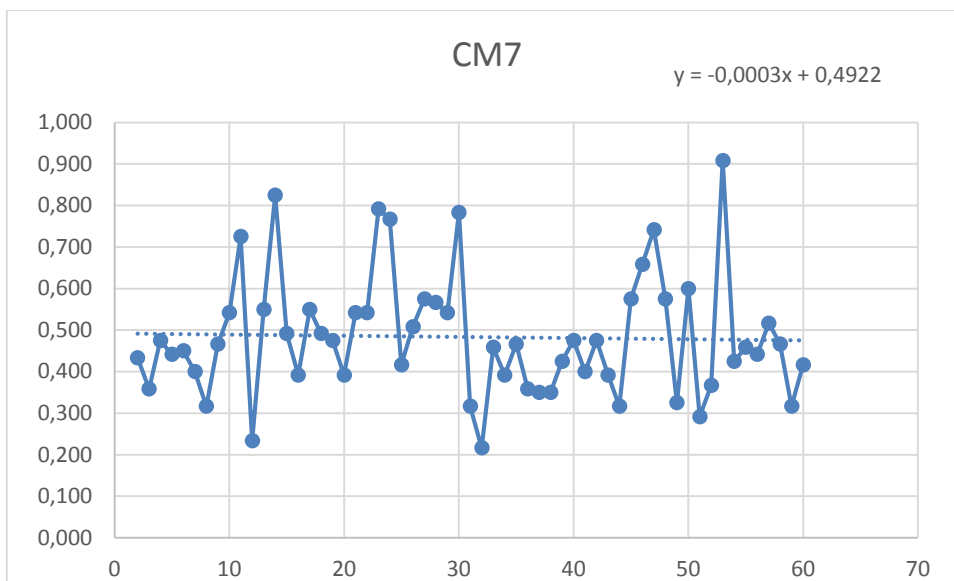


Figura 44 - Taxa de ocupação de máquina da CM7

De modo a analisar melhor a taxa de ocupação média, apresenta-se na Tabela 3 a taxa de ocupação média das primeiras 20 semanas de 2015, altura em que o presente estudo começou a ser preparado, e a taxa de ocupação média para as últimas 20 semanas deste mesmo estudo.

Tabela 3 - Média da taxa de ocupação de máquina

Média da taxa de ocupação	FPF	CM4	CM5	CM6	CM7
Primeiras 20 semanas	0,39	0,38	0,00	0,39	0,48
Últimas 20 semanas	0,49	0,60	0,59	0,52	0,51
Aumento (%)	9,17	21,88	59,46	12,42	2,96

Podemos verificar que todas as máquinas apresentam um crescimento considerável. De referir que nesta análise CM7 já apresenta algum crescimento, o que nos leva a concluir que começa a haver uma reação positiva às propostas implementadas embora que muito ténue.

5.2 Validação do sistema de fixação do zero point

Feita a montagem do sistema de fixação zero point, é necessário realizar ensaios de modo a comprovar ou não a funcionalidade do dispositivo. Numa primeira fase e tendo em conta a fase embrionária do dispositivo, realizaram-se ensaios de modo a verificar o posicionamento da peça na mesa de máquina, analisar a resistência do dispositivo relativamente as forças de corte, e ainda

realizar testes de repetibilidade. Para averiguar os tópicos anteriormente falados, realizamos a maquinação de uma peça modelo num bloco de aço 1.2379 com 63x73x100 mm.

Na realização deste ensaio foi necessário preparar o bloco para a montagem na mesa do *zero point*. Facejamos uma das faces e efetuou-se a furação necessária para realizar a montagem do bloco na mesa do *zero point*. De seguida fixamos essa mesma mesa na base do *zero point*, como podemos ver na Figura 45.



Figura 45 - Mesa fixa na base do *zero point*

Note-se que antes da realização do ensaio foi verificado o assentamento da mesa nos posicionadores e nos batentes como pode se pode verificar através da Figura 46.

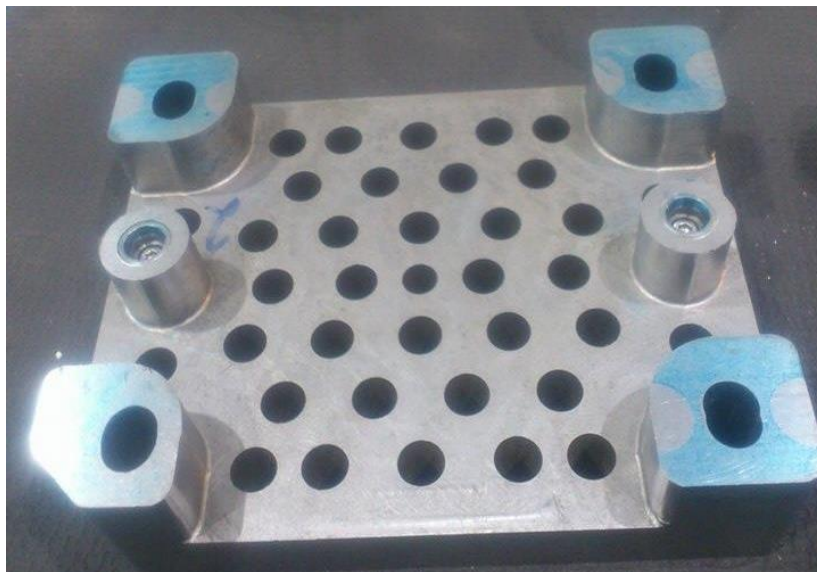


Figura 46 - Verificação do assentamento de toda a mesa na base do *zero point*

De referir que foi definido o *preset* no centro da base do *zero point*. Esta é uma das soluções que podemos utilizar de modo a num único programa maquinar múltiplas peças, no entanto exige um trabalho mais demorado na programação. Esta maquinagem consistiu num desbaste e acabamento das 5 faces da peça, e por último a realização de um furo de modo a verificar facilmente o posicionamento da peça. Com base no *preset* marcado realizou-se a furação com as seguintes coordenadas: $(x;y)=(250,000;140,000)$.

Feito o furo deu-se por concluída a maquinagem, e passamos a realização dos ensaios de repetibilidade, para isso recorremos à montagem da mesa *zero point* na máquina e recolhendo das coordenadas x e y do mesmo furo utilizando o *probe*, e efetuando 3 medições por aperto. Desse teste obtivemos os valores da coordenada x e da coordenada y presentes na Tabela 4.

Tabela 4 - Tabela dos dados recolhidos no ensaio de repetibilidade

	X1	X2	X3	Média	DP	Y1	Y2	Y3	Média	DP
Medição 1	249,96	250,0063	250,0447	250,0037	0,042411	139,93	139,9	139,9712	139,9337	0,035747
Medição 2	250,0334	250,0421	249,9925	250,0227	0,026485	139,8832	139,9708	139,9133	139,9224	0,044508
Medição 3	249,976	250,0435	250,0424	250,0206	0,038658	139,9236	139,8702	139,9528	139,9155	0,041887
Medição 4	249,9867	249,9306	249,9539	249,9571	0,028184	139,9786	139,9741	139,902	139,9516	0,042985
Medição 5	249,9997	249,96	250,0147	249,9915	0,028264	139,8852	139,9247	139,9663	139,9254	0,040555

Com base na Tabela 4, e de modo a analisar com maior facilidade os resultados provenientes do ensaio, apresenta-se na Figura 47 e 48 a variação das coordenadas x e y ao longo dos 5 *setups*.

Coordenada x

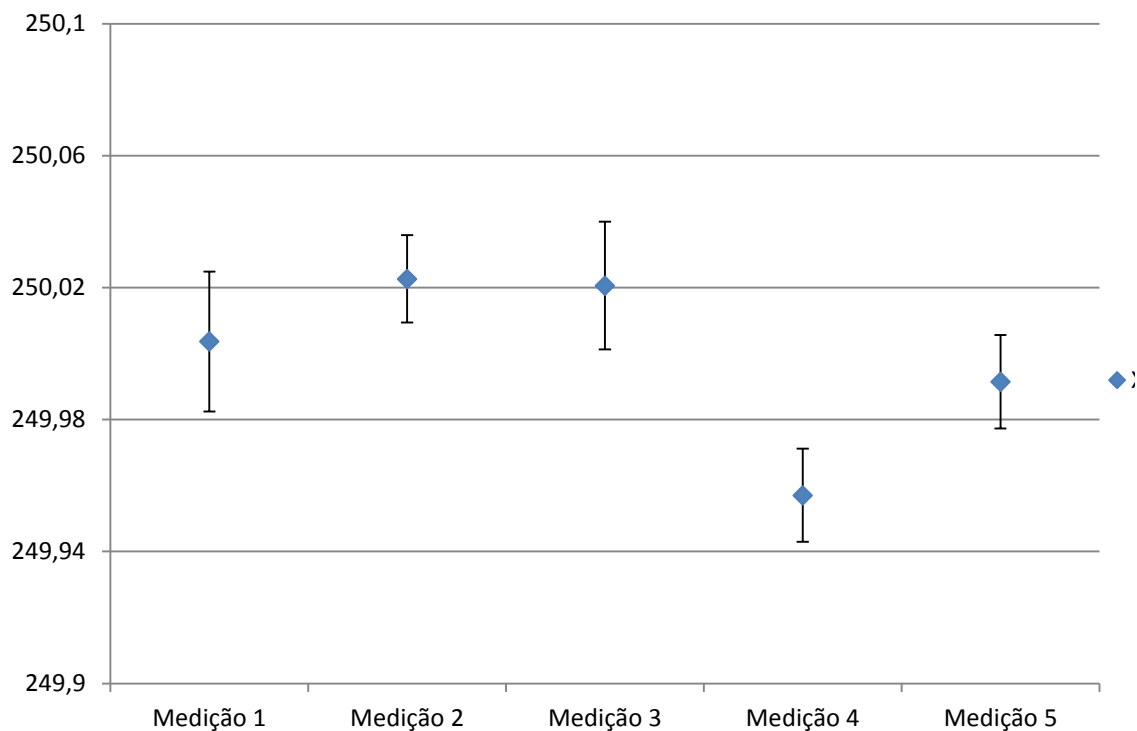


Figura 47 - Variação da coordenada X ao longo dos 5 ensaios

Coordenada Y

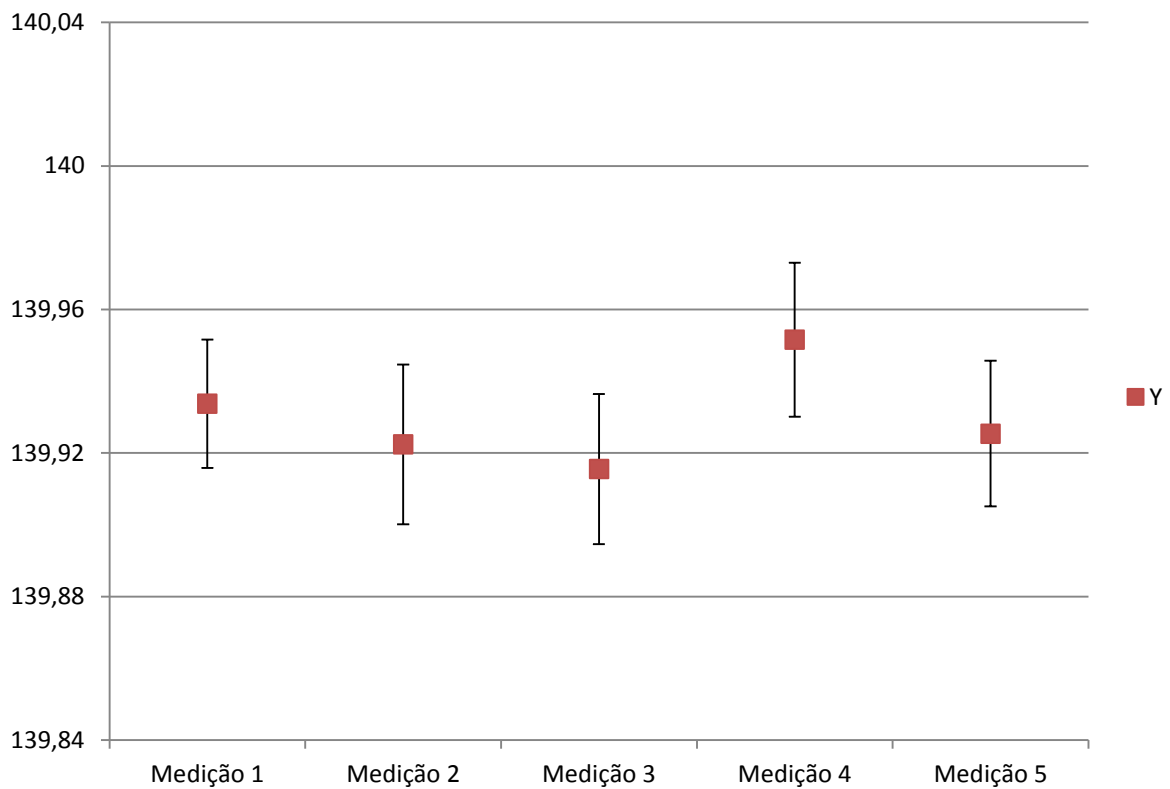


Figura 48 - Variação da coordenada y ao longo dos 5 ensaios

Ao analisarmos os gráficos apresentados nas Figura 47 e 48 podemos observar que temos um desvio máximo de 0,047 mm para a coordenada X que ocorre no 4º ensaio e um desvio máximo de 0,085 mm para a coordenada y que ocorre no 3º ensaio. Tais desvios podem-se ser justificados por 3 fatores:

- Condição de funcionamento do *probe* utilizado para o ensaio;
- Mesa da máquina onde foram realizados o ensaio começar a apresentar uma folga nos eixos do x e y ;
- Todos os componentes do *zero point* na altura do ensaio, não disporem dos tratamentos térmicos ou de superfície previstos.

O *probe* utilizado para a medição do ensaio dispunha de um desvio de concentricidade de 0,07 mm, tal desvio foi comprovado na altura do ensaio como representa a Figura 49, pelo que sentiu-se a necessidade de por cada medição recolher 3 conjuntos de coordenadas x e y de modo a calcular o valor médio o respetivo desvio padrão apresentado na Tabela 4.



Figura 49 - Verificação de desvio de concentricidade do *probe*

A mesa da máquina começa a apresentar alguma folga nos eixos do x e y. O valor da folga não foi possível quantificar em tempo útil no entanto é um dos possíveis focos de propagação do erro.

Por último, é de referir que a mesa do *zero point* a data do ensaio não tinha recebido o tratamento de superfície de nitruração nem os batentes tinham sido temperados pelo que todo o sistema estava macio. Do ensaio concluímos também que os parafusos de corpo calibrado utilizados para a fixação da peça à mesa do *zero point* são de um material muito macio. Conclui-se então ser necessário realizar também um tratamento de superfície aos parafusos de modo a obter uma rigidez superficial equivalente a mesa do *zero point*, que será a nitruração.

Com base nos pressupostos apresentados anteriormente, podemos concluir que o *zero point* garante a funcionalidade para que foi projetado, embora seja necessário realizar alguns ajustes ao sistema e também realizar mais alguns ensaios para comprovar a possibilidade de maquinar na mesma mesa *zero point* em diferentes *presets*. Este ensaio não foi possível realizar até à data da entrega da dissertação pois não foi possível obter os 48 batentes em tempo útil.

5.3 Tempo de *setup* atual

A principal vantagem do *zero point* como já foi dito anteriormente é a redução do tempo de *setup*. No ensaio realizado um dos fatores analisados foi o tempo de *setup*. Na Tabela 5 apresenta-se o tempo demorado para realizar um *setup* durante os ensaios.

Tabela 5 - Tempo de setup atual após implementação do zero point

Tipo:	Numero peça:	Nome peça:		Nome do operador:													
Nº	Sequência de operações	Tempo (seg):		Tempo de operação (minutos)													
		Parcial	Total	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20				
1	Dar entrada da peça em produção	60	60	■													
2	Inserir programas na máquina	105	165		■												
3	Limpeza da máquina	30	195		■												
4	Colocar <i>probe</i>	30	225		■												
5	Colocar <i>zero point</i> na máquina	120	345			■											
6	Marcar <i>preset</i>	120	465				■										
7	Chamar programa	30	495					■									
8	Verificar cotas da peça	90	585					■									
9	Retirar peça	45	630						■								
10	Picar para o armazém seguinte	150	780								■						
11	Levar peça para o armazém seguinte	180	960										■				

Analisando o tempo de *setup* inicialmente recolhido na mesma máquina (anexo 3, Tabela 12), e comparando o tempo total do *setup* inicial com o tempo total obtido neste ensaio, obtivemos o resultado apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Comparação dos tempos de *setup*

Tempo de <i>setup</i> inicial (seg)	2150
Tempo de <i>setup</i> do ensaio (seg)	960
Redução de tempo (%)	55,355

Como podemos verificar houve uma redução de tempo na ordem dos 55%. De referir que o tempo de *setup* pode alterar, com a dimensão da peça, verificação dos *preset*'s, limpeza de máquina, rigor da peça. No entanto estima-se que a redução do tempo de *setup* com a implementação do *zero point* em todas as máquinas possa chegar aos 50%.

6 Conclusões e trabalhos futuros

6.1 Conclusão

Neste estudo foram analisados um conjunto de fatores, com o objetivo de melhorar tanto quanto possível os níveis de produtividade da *MCG*. Detetou-se então que o tempo de *setup* era demasiado elevado, e criou-se uma metodologia de modo a reduzir esse tempo não produtivo. Com este estudo foi possível desenvolver uma metodologia que promove a redução do tempo de *setup* adequada a indústria da maquinaria de peças únicas. Este estudo é de grande interesse uma vez que na literatura não foram encontradas metodologias adequadas a esta indústria.

Realizou-se um estudo do tempo de *setup* para duas famílias de peças, uma de pequenas dimensões (família de peça A) e outra de grandes dimensões (família de peças B). Deste trabalho resultou um conjunto de implementações, sendo a mais relevante a conceção, produção e validação de um sistema de fixação que se denominou *zero point MCG*. Este sistema foi projetado devido ao facto de haver a necessidade de encontrar uma solução que aumentasse a produtividade da empresa sem necessidade de recorrer a um pedido de investimento.

Paralelamente, foi desenvolvida uma nova metodologia para redução do tempo de *setup* adaptada a este tipo de indústria, com base num conjunto de metodologias já existentes, nomeadamente, metodologia SMED, tecnologias de grupo, análise de tempos e métodos. Esta metodologia está representada sucintamente no capítulo 4 deste documento (Figura 39).

Com a implementação desta nova metodologia e das propostas de melhorias apresentadas foi possível obter aumentos da taxa de ocupação de máquina na ordem dos valores apresentados no capítulo 5 (Tabela 3). Verificou-se um aumento na taxa de ocupação em todas as máquinas, entre 3% e 23%. Será de realçar o facto de não ser ainda totalmente evidente o aumento de produtividade proveniente da implementação do *zero point MCG* por este ainda se encontrar em fase de testes. Tendo em conta os resultados obtidos nos primeiros ensaios do *zero point MCG* estima-se que seja possível obter uma redução do tempo de *setup* de acordo com a Tabela 7, que corresponde a uma redução do tempo de *setup* em pelo menos 40%

Tabela 7 - Tempos de *setup* estimados após implementação do *zero point MCG*

	CM7	CM5	CM6	CM4
Tempo de <i>setup</i> no início do estudo (seg.)	4110	2150	2500	2750
Tempo estimado com a implementação do <i>zero point</i> (seg.)	2055	1075	1250	1375

6.2 Trabalhos futuros

Uma vez que metodologia criada assenta nos princípios da melhoria contínua, o estudo realizado não se pode dar por concluído. Numa próxima fase seria necessário realizar mais ensaios utilizando o *Zero point MCG* a fim de verificar o desgaste do equipamento a longo prazo, estabelecer o tempo de vida útil de cada componente, e criar um plano de manutenção preventiva ao equipamento de modo a impedir o aparecimento de não conformidades nas peças maquinadas.

Com este procedimento dado como concluído, garantida a produção de peças de acordo com os requisitos e estando o plano de manutenção criado e validado, será então possível reproduzir o sistema de fixação adaptando-o aos outros equipamentos utilizados para a produção de cada família de peças. Esta implementação deverá ser gradual.

Ultrapassada a etapa de implementação dos *zero point* em todos os equipamentos, o *zero point MCG* poderá ser aperfeiçoado através da conceção e produção de equipamentos auxiliares, nomeadamente mesas a 90° para a realização de múltiplos apertos, mesas de diferentes dimensões, ou outros que se revelem necessários para a produção de componentes com características geométricas particulares, sempre com o intuito de otimizar a operação de *setup*.

Analisando os resultados obtidos com este equipamento produzido internamente, e caso se verifique necessidade de aumentar a produtividade das máquinas, avançar para a implementação de um sistema de *zero point* comercial, uma vez que uma das limitações do equipamento produzido internamente é a fixação do mesmo, realizada através do aperto de 4 parafusos.

Bibliografia

- [1] K. Venkataraman, B. V. Ramnath, V. M. Kumar, and C. Elanchezian, “Application of Value Stream Mapping for Reduction of Cycle Time in a Machining Process,” *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, no. Icmpe, pp. 1187–1196, 2014.
- [2] A. Leitão, P. Cunha, F. Valente, and P. Marques, “Roadmap for business models definition in manufacturing companies,” *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 383–388, 2013.
- [3] Y. Dave and N. Sohani, “Single Minute Exchange of Dies: Literature Review,” *Int. J. Lean Think.*, vol. 3, no. 2, 2012.
- [4] M. A. Almomani, M. Aladeemy, A. Abdelhadi, and A. Mumani, “A proposed approach for setup time reduction through integrating conventional SMED method with multiple criteria decision-making techniques,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 66, no. 2, pp. 461–469, 2013.
- [5] Revista Tecnometal, no. 207, Julho/Agosto 2013.
- [6] A. Allahverdi and H. M. Soroush, “The significance of reducing setup times/setup costs,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 187, no. 3, pp. 978–984, 2008.
- [7] The productivity press development team, *Quick changeover for operators: THE SMED SYSTEM*. 1996.
- [8] M. Sugai, R. I. McIntosh, and O. Novaski, “Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso,” *Gestão & Produção*, vol. 14, no. 2, pp. 323–335, 2007.
- [9] W. Apel, J. Yong Li, and V. Walton, “Value Stream Mapping for Lean Manufacturing Implementation,” pp. 1–56, 2007.
- [10] R. R. Clímaco, “Tecnologia de grupo e manufatura celular aplicadas ao projeto de leiaute industrial para pequenas e médias empresas : simplificação do fluxo de produção de uma empresa metal mecânica,” *Xxiii Enegep*, pp. 1–8, 2003.
- [11] C. Alberto and G. Marques, “‘ Tempos e Métodos – Optimização de Processos e Tempos de Produção ’ na Faurecia , Assentos para Automóvel , Lda .,” 2008.
- [12] Catálogo HALDER, “Zero-Point Clamping Systems.”
- [13] “ZK systems.” [Online]. Available: <http://www.zk-system.com/en> (Acedido em 10/03/2016).
- [14] Carr Lane Manufacturing. [Online]. Available: <https://www.carrlane.com/catalog/index.cfm> (Acedido em 18/02/2016).

Anexos

Anexo 1

Tabela 8 - Lista de peças da ferramenta em estudo

Designação	X	Y	Z
0220082-102_086-00	160	50	30
0220082-101_001-00	2400	1010	75
0220082-101_055-00	2400	1060	45
0220082-101_107-00	60	120	150
0220082-101_108-00	60	120	30
0220082-101_109-00	80	990	190
0220082-101_110-00	280	80	190
0220082-101_115-00	80	990	190
0220082-101_116-00	190	890	190
0220082-101_117-00	80	890	190
0220082-101_106-00	260	110	135
0220082-101_120-00	120	60	130
0220082-101_082-00	160	205	120
0220082-101_111-00	80	890	190
0220082-101_112-00	247,5	80	190
0220082-101_113-00	325	990	190
0220082-101_114-00	237,5	50	190
0220082-101_119-00	80	990	190
0220082-101_026-01	30	32	32
0220082-101_076-00	30	40	32
0220082-101_057-00	20	90	15
0220082-102_047-00	27	165	60
0220082-102_048-00	37	60	82
0220082-101_012-00	224,2	367,4	154
0220082-105_001-00	315	695	110
0220082-110_001-00	365	174,5	65
0220082-101_024-00	220	150,1	171,5
0220082-106_001-00	250	386,4	87
0220082-101_118-00	280	80	190
0220082-107_001-00	250	368,9	94
0220082-107_011-00	38,7	45,6	15
0220082-107_012-00	83	92,9	15
0220082-107_013-00	168,8	44,7	15
0220082-101_069-00	67	17	80
0220082-101_070-00	48,4	15	80
0220082-101_071-00	99,5	85,8	25
0220082-106_002-00	45	45	6
0220082-101_051-00	168	120	206

0220082-101_052-00	94	155	5
0220082-101_053-00	30	157	5
0220082-102_050-00	27	140	50
0220082-102_051-00	37	50	82
0220082-104_002-00	52	52	6
0220082-110_002-00	45	45	6
0220082-101_061-00	74	95	5
0220082-101_067-00	48,4	15	18,5
0220082-104_001-00	400	433,3	92
0220082-101_065-00	67	17	19
0220082-101_066-00	66	16	5
0220082-107_014-00	66,1	82,4	5
0220082-109_002-00	370	40	12,5
0220082-101_068-00	47,4	14	6
0220082-107_008-00	67,1	83,4	15
0220082-107_009-00	40,4	252,1	15
0220082-107_010-00	40,4	47,4	15
0220082-102_052-00	135	40	27
0220082-102_053-00	82	40	37
0220082-102_054-00	135	40	27
0220082-102_055-00	135	40	27
0220082-107_007-00	45	45	6
0220082-107_015-00	39,4	251,1	5
0220082-107_016-00	39,4	46,4	5
0220082-107_017-00	37,7	44,6	5
0220082-107_018-00	81,8	91,9	5
0220082-107_019-00	167,6	43,7	5
0220082-102_056-02	13	20	110
0220082-101_025-00	130	75	51
0220082-101_041-00	65	50	32
0220082-101_507-00	20	12	8
0220082-101_301-00	2100	2215	75
0220082-101_302-00	1100	1100	77
0220082-102_305-00	386	250	14
0220082-102_056-00	13	19	97
0220082-102_401-00	307,5	265	50
0220082-102_402-00	265	273	20
0220082-102_403-00	35	50	19
0220082-101_057-00	90	20	15
0220082-107_011-00	48	41	15
0220082-102_057-00	42	70	25
0220082-102_058-00	42	70	5
0220082-101_002-00	245	132	32
0220082-101_003-00	160	95	37
0220082-101_004-00	120	100	37

Anexo 2

Tabela 9 - Tabela de percurso de peças

Designação	op 1	op2	op3	op4	op5	op6	op7	op8	op9	op10	op11
0220082-101_113	Oxicorte	FPF	FPF	Serr							
0220082-101_111	FPF	FPF	Serr								
0220082-101_001	Oxicorte	FPF	FPF	FPF	FPF	Serr					
0220082-101_055	FPF	Serr									
0220082-101-117	FPF	FPF	Serr								
0220082-102_001	Oxicorte	FPF	FPF	FPF	FPF	Serr					
0220082-101_006	zayer	zayer	cm6	cm6	Serr	Med Qual	temp	ret	cm6	fio	reven. int
0220082-101_031	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	cm6	fio	reven. int	med. Qual	
0220082-101_034	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	cm6	fio	reven. int	med. Qual	
0220082-101_007	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	reven. int	med qual
0220082-101_003	zayer	zayer	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	reven. int	med qual	
0220082_101_011	Med. Qual	Tempera	ret	fio	med qual						
0220082-101_032	cm6	cm6	Serr	med qual	temp	ret	cm6	fio	reven. Int	med. Qual	
0220082-101_005	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	cm6	fio	reven. int
0220082-101_002	zayer	zayer	cm6	serr	cm6	med qual	temp	ret	cm6	fio	reven. int
0220082-101_004	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	reven. int	med qual
0220082-101_027	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	cm6	fio	reven. int
0220082-101_029	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	reven. int	med qual
0220082-101_028	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	reven. int	med qual
0220082-101_033	zayer	zayer	cm6	serr	med qual	temp	ret	cm6	fio	reven. int	med qual
0220082-101_019	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	reven. int	med qual
0220082-101_030	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	cm6	fio	reven. int
0220042-101_020	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	reven. int	med qual
0220082-101_045	zayer	zayer	zayer	ret	cm6	cm6	serr	med qual			
0220042-101_075	cm6	cm6	ret	serr	med qual						
0220082-101_042	zayer	zayer	ret	cm6	serr	med qual					

0220082-101_025	zayer	zayer	ret	cm7	cm7	serr	med qual				
0220082-101_010	cm6	cm6	ret	serr	med qual						
0220082-101_039	zayer	zayer	ret	MAS	MAS	serr	med qual				
0220082-101_023	zayer	zayer	cm7	cm7	serr	med qual	temp	ret	cm7	fio	reven. int
0220082-101_077	zayer	zayer	ret	cm7	cm7	med qual	temp	ret	cm7	fio	reven. int
0220082-104_001	MAS	MAS	serr	med qual	temp laser						
0220082-106_001	cm4	serr	med. Qual	temp laser							
0220082-112_001	zayer	zayer	ret	cm4	cm4	serr	med qual				
0220082-108_008	oxicorte	MAS	MAS	ret	cm6	cm6	cm6	serr	med qual		
0220082-102_036	zayer	zayer	ret	cm6	cm6	serr	med qual				
0220082-102_031	zayer	zayer	ret	cm6	cm6	serr	med qual				
0220082-103_002	cm6	cm7	serr	med. Qual	temp	ret	med qual				
0220082-102_010	cm6	cm6	serr	med. Qual	temp	ret	med qual				
0220082-103_006	cm6	cm6	ret	serr	med qual						
0220082-102_034	cm6	cm6	ret	serr	med qual						
0220082-102_037	cm6	cm6	ret	serr	med qual						
0220082-101_073	zayer	zayer	rect	cm7	serr	med qual	temp	ret	cm7	fio	reven. int
0220082-101_040	zayer	zayer	cm7	cm7	serr	med qual	temp	ret	cm6	fio	reven. int
0220082-112_004	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	med qual	
0220082-112_003	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	med qual	
0220082-112_002	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	med qual	
0220082-112_005	zayer	zayer	cm6	cm6	serr	med qual	temp	ret	fio	med qual	
0220082-103_001	FPF	FPF	FPF	med. qual	temp	FPF	FPF	ret	MAS	MAS	serr

Anexo 3

Tabela 10 - Lista de operações de *setup* para a FPF

Tipo:	Numero peça:	Nome peça:	Nome do operador:														
N°	Sequência de operações	Tempo (min):		Tempo de operação (minutos)													
		Par- cial	Total	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100				
1	Limpeza da limalha	15	15	■	■												
2	Soprar mesa	5	20		■												
3	Passar esponja/ pano húmido	3	23		■	■											
4	Passas pano seco	4	27			■											
5	Analisar tipo de fixação	1	28			■											
6	Utilizar ponte	2	30			■											
7	Procurar orelhas (4)	2	32				■										
8	Utilizar Empilhador	3	35				■										
9	Levantar bloco	2	37				■	■									
10	Colocar peça com a ponte na mesa da máquina	8	45					■									
11	Procurar fixações indicadas e coloca-las na mesa da fresadora	2	47					■									
12	Fixar peça de acordo com as especificações da OF	10:30	57:30					■	■								
13	Calibrar/ nivelar com o <i>probe</i>	9:30	67						■								
14	Marcar o X0 e Y0	17	84								■	■					
15	Inserir programa na máquina	2	86									■	■				
16	Chamar programa	2	88										■				

Tabela 11 - Lista de operações de *setup* da CM7

Tipo:	Numero peça:	Nome peça:		Nome do operador:										
Nº	Sequência de operações	Tempo (segundos):		Tempo de operação (minutos)										
		Parcial	Total	10	20	30	40	50	60	70	75	80	85	
1	Buscar peça e of ao armazém	40	40	■										
2	Preencher autocontrolo	40	80	■										
3	Analisar fixação	120	200	■										
4	Limpar a máquina	45	245	■										
5	Buscar a chaves sextavada	10	255	■										
6	Trocar fixação	435	690		■									
7	Buscar lima	10	700		■									
8	Limar arestas do bloco	80	780		■									
9	Fixar peça	215	995		■									
10	Buscar martelo	5	1000		■									
11	Nivelar com o martelo a peça	20	1020		■									
12	Procurar comparador	120	1140		■									
13	Comparar peça	360	1500			■								
14	Calibrar <i>probe</i>	300	1800			■								
15	Marcar x_0, y_0, z_0	270	2070				■							
16	Dar entrada da peça	90	2160				■							
17	Inserir programas na máquina	45	2205				■							
18	Alterar programa	300	2505					■						
19	Apertar broca necessária no cone	85	2590					■						
20	Colocar cone no carrossel da máquina	30	2620					■						
21	Calibrar ferramenta	600	3220						■					
22	Preparar programa	240	3660							■				
23	Inspecionar restantes ferramentas	30	3690							■				
24	Trocar modo de furação	180	3870							■				
25	Chamar programa	20	3890							■				

26	Retirar peça	30	3920										
27	Tirar rebarba	20	3940										
28	Limpar peça	20	3960										
29	Verificar medidas	60	4020										
30	Picar para armazém de destino	30	4050										
31	Colocar peça no armazém de destino	60	4110										

Tabela 12 – Lista de operações de *setup* da CM6 - Micron

Tipo:	Numero peça:	Nome peça:		Nome do operador:										
Nº	Sequência de operações	Tempo (seg):		Tempo de operação (minutos)										
		Parcial	Total	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	
1	Dar entrada da peça em produção	60	60	■										
2	Inserir programas na máquina	105	165	■										
3	Limpeza da máquina	15	180	■										
4	Procurar lima	30	210	■										
5	Limar peça	90	300	■	■									
6	Analisar tipo de fixação da peça	10	310		■									
7	Procurar calços	20	320		■									
8	Fixar peça na máquina	285	605			■								
9	Martelar peça	130	735			■	■							
10	Procurar comparador	120	855				■							
11	Comparar peça	180	1035					■						
12	Guardar comparador	60	1095					■						
13	Colocar <i>probe</i>	30	1125					■						
14	Marcar X0 Y0 Z0	240	1365						■					
15	Chamar programa	100	1465							■				
16	Buscar cone com ferramenta correta	30	1495							■				
17	Retirar peça	45	1540							■				
18	Limpar e limar peça	180	1720								■			
19	Verificar cotas da peça	100	1820								■			
19	Picar para o armazém seguinte	150	1970								■			
20	Levar peça para o armazém seguinte	180	2150									■	■	

Anexo 4

Tabela 14 - Tabelas de movimentações

Movimentação	Descrição	Tempo Total [seg/ <i>setup</i>]	Prioridade
1	Colocação da peça na máquina	120	1
2	Procurar calços (armazém)	120	2
3	Verificar a informação da ordem de fabrico	60	3
4	Abertura/fecho da válvula de ar	30	1
5	Entrada/saída da ordem de fabrico	30	1
6	Procurar calços (FPF)	60	2
7	Obter cone com pinça diferente (FPF)	90	3
8	Recolha da calculadora (Dpto CAM)	120	2
9	Utilização do computador da CM6 para <i>software</i> TEBIS	180	2
10	Recolha de paquímetro digital (CM6)	90	1
11	Utilização da ponte	60	3
12	Entrega da peça acabada (armazém da célula seguinte)	120	1
13	Trocar cone	45	1
14	Alteração da roca no cone	240	1
15	Troca de pastilhas da roca	300	2
16	Retirar cone da gaveta e trocar fresa	240	2
17	Passar lima bastarda na peça acabada (Retirar rebarba)	60	2
18	Marcar peça (Referência)	30	2
19	Inspeção da peça	60	2
20	Recolha de ferramentas gerais das gavetas	20	1
21	Procurar broca/fresa	120	2
22	Procurar utensílios de limpeza/limpeza	300	2
23	Recolha de material do armazém F	180	2
24	Recolha do cone com alongador (FPF)	120	1
25	Montar fresa no cone	180	2
26	Recolha de ferramentas gerais da CM6	120	2

Anexo 6

Tabela 18 - Tabela de tolerâncias MCG

COR	INFORMAÇÃO NOTA: Tolerâncias +/- --> Macho para (-) // Fêmea para (+)	TEBIS	ID	R	G	B	
Verde Azeitona	Zona de Estampagem -- (Tol. +/- 0.02)	11	8	175	255	175	
	Guiamento Porta-Punções						Guiamento Punção / Porta - Punções -- (H6 / g5)
							Perfil de Corte Pisas -- (Tol. +/- 0.1)
	Guiamento Pisa						Guiamento Punção / Pisa -- (H7 / g6)
							Perfil de Corte Porta-Punções -- (Tol. +/- 0.1)
	Perfil de Corte Matrizes -- (Tol. +/- 20% x Folga de Corte)						
Rosa Velho	Maquinagem Fina -- Superfícies para Equipamento -- (Tol. -0.05 a -0.02)	12	20	223	175	255	
Vermelho Escuro	Maquinagem de Desbaste -- (RZDIN = 100 µm @ Tol. Geral DIN ISO 2768-1 - Grosseira)	13	10	95	0	0	
Amarelo Mel	Face de controlo para Maquinagem	14	11	255	190	70	
Roxo	("Caixas e Veios ") Machos e Fêmeas - Maquinagem Especial -- H11 / h10	15	12	95	95	175	
Púrpura	("Caixas e Veios ") Machos e Fêmeas - Maquinagem Especial -- H8 / h7	16	13	95	0	95	
Azul	("Caixas e Veios ") Machos e Fêmeas - Maquinagem Especial -- H7 / h6	17	211	0	0	255	
Azul Escuro	("Caixas e Veios ") Machos e Fêmeas - Maquinagem Especial -- H6 / h5	18	14	0	0	95	
Amarelo	Rosca Métrica Direita DIN / ISO	19	6	255	255	0	
Laranja Claro	Rosca Fina Métrica Direita DIN / ISO	20	15	255	175	0	
Laranja	Roscas Especiais -- (Spiralock)	21	16	255	95	0	
Magenta	Furação do Material	22	181	255	0	255	
Cyan	Furação Livre -- (Tol. Geral DIN ISO 2768-1 - Média)	23	17	0	175	175	
Azul Claro	Zonas sujeitas a Modificações nos Sólidos ou inclinações com Transparência	24	18	0	127	255	
Branco	Zonas a Maquinar após decisão -- (Assembly/Features, Posicionadores, Cavilhas)	25	1	255	255	255	
Caqui	Superfícies de Guiamento -- (Tol. + 0.1)	26	19	175	175	95	
Rosa	Patamares e Fundos de Caixas -- (Tol. +/- 0.05)	27	9	255	175	175	
	Dimensão de Placas < 1150x650 -- +/- 0.02						
	Dimensão de Placas > 1150x650 -- +/- 0.1						

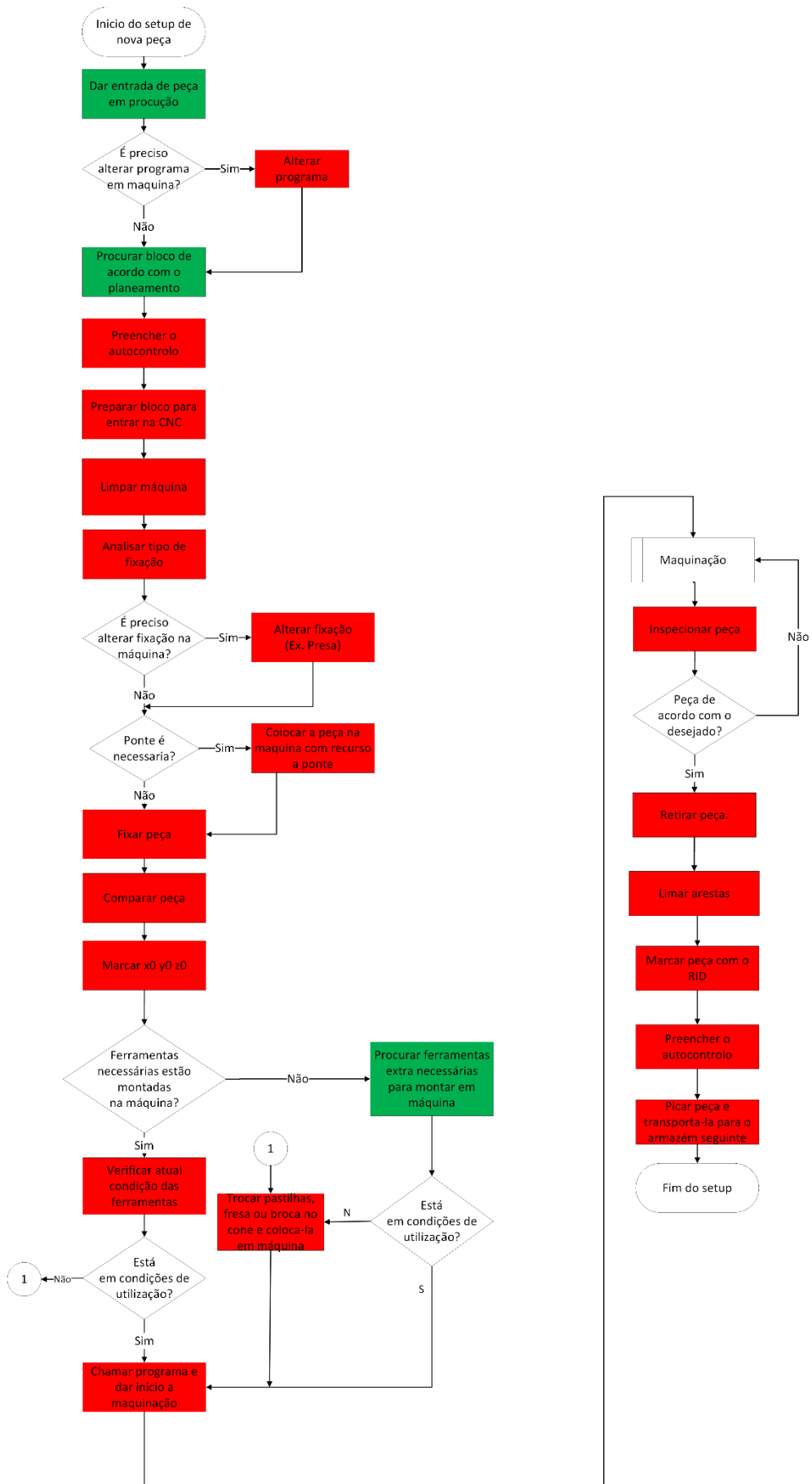
Anexo 7

Tabela 19 - Tabela da taxa de ocupação de máquina

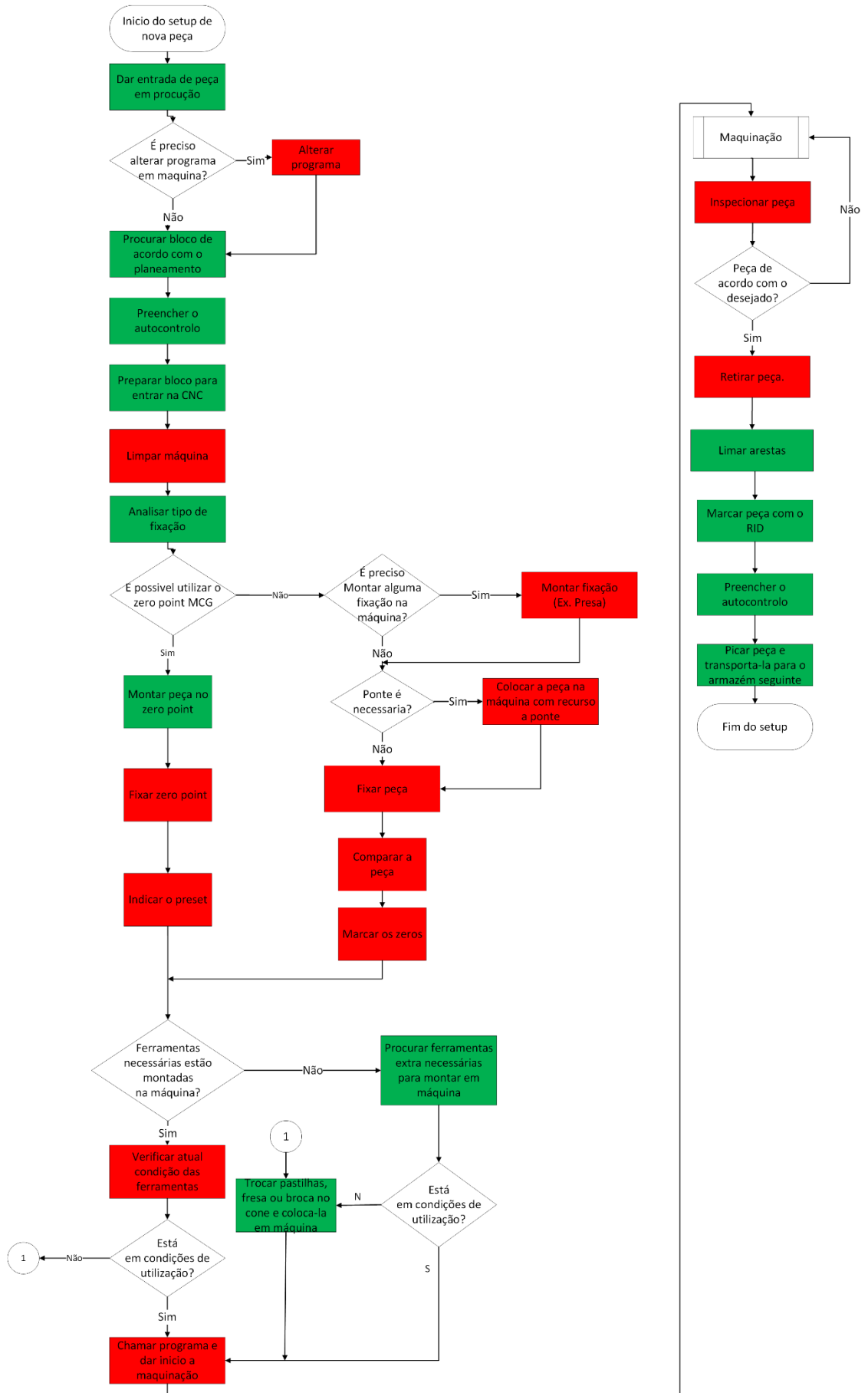
	Semana	FPF	CM4	CM5	CM6	CM7
2015	2,000	0,442	0,233	0,000	0,442	0,433
	3,000	0,600	0,642	0,000	0,350	0,358
	4,000	0,533	0,550	0,000	0,350	0,475
	5,000	0,292	0,483	0,000	0,333	0,442
	6,000	0,325	0,667	0,000	0,400	0,450
	7,000	0,375	0,325	0,000	0,333	0,400
	8,000	0,558	0,250	0,000	0,217	0,317
	9,000	0,458	0,258	0,000	0,375	0,467
	10,000	0,183	0,250	0,000	0,308	0,542
	11,000	0,458	0,342	0,000	0,425	0,725
	12,000	0,292	0,517	0,000	0,558	0,233
	13,000	0,433	0,458	0,000	0,417	0,550
	14,000	0,408	0,417	0,000	0,267	0,825
	15,000	0,492	0,525	0,000	0,417	0,492
	16,000	0,333	0,267	0,000	0,408	0,392
	17,000	0,208	0,392	0,000	0,575	0,550
	18,000	0,233	0,217	0,000	0,250	0,492
	19,000	0,217	0,225	0,000	0,317	0,475
	20,000	0,475	0,225	0,000	0,458	0,392
	21,000	0,575	0,400	0,000	0,633	0,542
	22,000	0,625	0,550	0,000	0,683	0,542
	23,000	0,675	0,200	0,000	0,642	0,792
	24,000	0,758	0,000	0,000	0,558	0,767
	25,000	0,675	0,000	0,000	0,450	0,417
	26,000	0,167	0,067	0,500	0,608	0,508
	27,000	0,167	0,083	0,583	0,542	0,575
	28,000	0,000	0,000	0,292	0,508	0,567
	29,000	0,475	0,000	0,467	0,475	0,542
	30,000	0,683	0,000	0,775	0,408	0,783
	31,000	0,658	0,433	0,492	0,333	0,317
	32,000	0,067	0,183	0,050	0,317	0,217
	33,000	0,483	0,267	0,192	0,258	0,458
	34,000	0,125	0,542	0,267	0,408	0,392
	35,000	0,250	0,450	0,175	0,458	0,467
	36,000	0,550	0,300	0,375	0,300	0,358
	37,000	0,583	0,283	0,442	0,283	0,350
	38,000	0,342	0,192	0,258	0,375	0,350
	39,000	0,325	0,250	0,367	0,367	0,425
	40,000	0,442	0,158	0,383	0,642	0,475
	41,000	0,267	0,375	0,408	0,525	0,400
	42,000	0,658	0,300	0,325	0,283	0,475

	43,000	0,617	0,633	0,508	0,333	0,392
	44,000	0,258	0,375	0,358	0,308	0,317
	45,000	0,367	0,275	0,358	0,325	0,575
	46,000	0,333	0,567	0,467	0,475	0,658
	47,000	0,425	0,308	0,383	0,292	0,742
	48,000	0,450	0,492	0,392	0,358	0,575
	49,000	0,558	0,858	0,967	0,383	0,325
	50,000	0,133	0,325	0,567	0,467	0,600
	51,000	0,267	0,233	0,325	0,292	0,292
	52,000	0,467	0,233	0,192	0,233	0,367
2016	53,000	0,758	0,833	0,633	0,517	0,908
	54,000	0,442	0,983	0,808	0,617	0,425
	55,000	0,367	1,092	0,758	0,808	0,458
	56,000	0,575	0,958	0,817	0,583	0,442
	57,000	0,542	0,883	0,742	0,817	0,517
	58,000	0,483	0,600	0,917	0,900	0,467
	59,000	0,708	0,825	0,825	0,792	0,317
	60,000	0,608	0,708	0,758	1,000	0,417

Anexo 8



Anexo 9



Anexo 10

