



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

António Benjamim da Silva Ferreira

**GESTÃO DE FERRAMENTAS DE CORTE EM
PROCESSOS PRODUTIVOS:
SELEÇÃO E DEFINIÇÃO DO CICLO DE VIDA**

VOLUME 1

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial
orientada pelo Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz e apresentada ao
Departamento de Engenharia Mecânica**

julho de 2019

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Gestão de ferramentas de corte em processos produtivos: seleção e definição do ciclo de vida

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Management of cutting tools in productive processes: selection and definition of the life cycle

Autor

António Benjamim da Silva Ferreira

Orientadores

Professor Samuel Moniz

Professor Cristóvão Silva

Júri

Presidente Professor Doutor Pedro Mariano Simões Neto
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Professora Catarina Moreira Marques
Investigadora do INESC TEC, Porto

Orientador Professor Doutor Samuel, de Oliveira Moniz
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



GROHE Portugal, Componentes Sanitários, Lda.

Coimbra, julho, 2019

“There is nothing I believe more strongly than getting young people interested in science and engineering, for a better tomorrow, for all humankind.”

Bill Nye, 2013

À minha família, namorada e amigos

Agradecimentos

Este trabalho é o culminar de 5 anos de aprendizagem. Muito do esforço utilizado partiu de mim próprio, no entanto, existiram algumas pessoas que foram fulcrais no processo e às quais não poderia deixar de agradecer.

Por parte da empresa GROHE, gostaria de agradecer ao Sr. Ricardo Almeida, recursos humanos, e à oportunidade dada pelo departamento de maquinaria. Neste departamento tive a oportunidade de ser orientado pelo Engenheiro João Fonte que colocou todos os recursos da empresa à minha disposição. Ainda no mesmo departamento, gostaria de agradecer ao Senhor Adelino Tavares que me transmitiu toda a parte técnica das ferramentas de corte e sempre me deu sábios conselhos, sem ele nada disto seria possível. Outras pessoas que eu sinto que não podem ser esquecidas pela ajuda prestada ao meu projeto foram o Sr. Sérgio Amador e Sr. Maurício Nereu, bem como todos os restantes colaboradores do departamento de maquinaria e fundição.

Ao meu orientador Professor Samuel Moniz, por todos os conselhos dados, ajudando-me a perceber aquilo em que me deveria realmente focar e a gerir melhor o tempo da minha tese.

À minha família que sempre esteve ao meu lado, me incentivou e deu tudo o que podia, não só neste trabalho em específico, mas também ao longo da minha vida. Não posso deixar ainda de agradecer individualmente ao meu pai que sempre me tentou levar para o mundo das ferramentas de corte e conseguiu. A este Senhor, devo muitos ensinamentos sobre a parte técnica das ferramentas de corte e certamente que sem os mesmos não teria sido possível o estágio na GROHE.

Um especial agradecimento à pessoa que sempre me apoiou, motivou e ajudou em tudo o que podia ao longo do projeto, a ti Alexandra Rodrigues.

Aos meus amigos, pelo companheirismo e presença assídua na minha vida. As histórias e experiências partilhadas durante a vida académica, ajudaram-me a crescer como homem.

A todos os que de uma maneira ou de outra estiveram presentes na minha vida e sem os quais nada disto seria possível.

Obrigado,
Benjamim Ferreira.

Resumo

A eficiência dos processos produtivos depende de uma gestão otimizada dos seus recursos. Em particular, a gestão das ferramentas de corte permite aumentar a produtividade e reduzir os custos operacionais.

Neste trabalho, realizado no departamento de maquinagem da GROHE, foi desenvolvida e aplicada uma metodologia baseada no ciclo PDCA, que visa encontrar melhorias para os problemas identificados nas ferramentas de corte, através de ensaios e testes de validação numa pequena amostra, para depois se normalizar e padronizar as melhorias na linha de produção.

Os problemas identificados residem no facto de não existir qualquer controlo do tempo de ciclo das ferramentas de corte. Esta falta de controlo, não permite uma gestão adequada das ferramentas, o que leva a fraturas e, por conseguinte, maiores custos e falta de qualidade nas peças produzidas.

Assim sendo, as melhorias propostas, neste trabalho, focam-se, em primeiro lugar, na alteração da geometria e material das ferramentas de corte com vista à otimização, para, em segundo lugar, se efetuar a definição do ciclo de vida.

Estas melhorias resultaram em ganhos muito significativos, no entanto, para a empresa as poder implementar em todas as ferramentas de corte existentes, nos seus processos, surge um problema de gestão de dados. Como tal, na parte final do trabalho, sugere-se um novo sistema para a gestão das ferramentas de corte. Este sistema permite resolver e gerir o problema relacionado com os dados, quer sejam eles para posterior análise ou dados em tempo real.

Palavras-chave: Ciclo PDCA, Ferramentas de corte, Tempos de ciclo, Gestão da manutenção, Análise de processos.

Abstract

The efficiency of productive processes depends on an optimized management of their resources. Particularly, cutting tools management can highly increase productivity and a decrease of operational costs.

In this specific work, accomplished in the GROHE machining department, a methodology was developed and applied based on the PDCA cycle. This methodology aims to find improvements for the problems identified in the cutting tools, through analysis and validation tests in a small sample. After this, the improvements should be normalized and standardized in all the production line.

The identified problems lie in the fact that there is no control of cutting tools life cycle. This lack of control does not allow proper management of the tools, which leads to fractures, higher costs and lack of quality in the pieces produced.

Therefore, the improvements proposed in this work are focused, firstly, on the alteration of the geometry and material of the cutting tools with a view to their optimization and, secondly, on the definition of the tool's life cycle.

These improvements have resulted in significant gains and advantages for the company. However, for the implementation in all the existent cutting tools in the shop-floor, a data management problem arises. As such, in the final part of the work, a new system for the management of cutting tools is planned and suggested. This new system allows the company to solve the problem related to the data, whether for later analysis or real-time data.

Keywords PDCA cycle, Cutting tools, Life cycle, maintenance management, process analysis.

Índice

| | |
|--|------|
| Índice de Figuras..... | xi |
| Índice de Tabelas | xv |
| Simbologia e Siglas..... | xvii |
| Simbologia..... | xvii |
| Siglas | xvii |
| 1. Introdução..... | 19 |
| 1.1. Objetivos | 19 |
| 1.2. Estrutura..... | 20 |
| 2. Enquadramento teórico..... | 21 |
| 2.1. Processos de Maquinagem | 21 |
| 2.2. Ferramentas de corte..... | 22 |
| 2.2.1. Material | 22 |
| 2.2.2. Geometria..... | 23 |
| 2.2.3. Vida das ferramentas de corte | 26 |
| 2.3. Kaizen – melhoria contínua..... | 33 |
| 2.3.1. Ciclo PDCA..... | 34 |
| 2.4. IoT – Internet of things | 35 |
| 3. Descrição do caso de estudo | 37 |
| 3.1. Apresentação da empresa..... | 37 |
| 3.2. <i>Layout</i> industrial | 38 |
| 3.2.1. Departamento de maquinaria..... | 39 |
| 3.3. Análise da situação atual..... | 41 |
| 3.4. Descrição do problema..... | 43 |
| 4. Abordagem metodológica..... | 45 |
| 4.1. Passo 1 – <i>Plan</i> : escolha das ferramentas a analisar | 45 |
| 4.2. Passo 3 e 4 – <i>Do and Check</i> : análise da amostra..... | 46 |
| 4.2.1. Otimizações das ferramentas..... | 46 |
| 4.2.2. Tempo de vida | 46 |
| 4.3. Passo 4 – <i>Act</i> : proposta para um novo sistema de gestão das ferramentas de corte 48 | |
| 5. Implementação da metodologia | 51 |
| 5.1. Análise de Pareto: escolha do produto para testes..... | 51 |
| 5.1.1. Produto RainShower | 52 |
| 5.2. Otimização do material e geometria (1ª fase) | 53 |
| 5.2.1. Análise custo por furo | 53 |
| 5.2.2. Análise de resultados | 57 |
| 5.3. Tempo de vida útil das ferramentas de corte (2ª fase) | 59 |
| 5.3.1. Tempos de vida total na situação anterior..... | 59 |
| 5.3.2. Problema do desgaste de flanco (V_b) | 61 |
| 5.3.3. Análise de resultados | 72 |
| 5.3.4. Algoritmo | 75 |

| | |
|--|-----|
| 5.4. Normalizar e padronizar | 79 |
| 5.4.1. Novo processo para as ferramentas de corte..... | 79 |
| 6. Conclusões e trabalhos futuros..... | 89 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 91 |
| ANEXO A – Algoritmo <i>Rapid</i> - Robô | 94 |
| ANEXO B – Valores do desgaste de flanco | 100 |
| ANEXO C – Ciclo de vida da ferramenta de acabamento – Exemplo para a Broca 2 | 104 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Tipos de maquinagem (Sandvick Coromant, 2019)..... | 21 |
| Figura 2 – Tipos de material da ferramenta de corte em função de parâmetros..... | 23 |
| Figura 3 – Terminologia para a geometria das ferramentas de corte (Stemmer 2005)..... | 24 |
| Figura 4 – Ângulos de corte: (A) Ferramentas no geral; (B) Ângulo de ponta nas brocas. . | 26 |
| Figura 5 – Geometria dos raios de canto nas arestas de corte (ISO, 2019)..... | 26 |
| Figura 6 – Tipos de avarias: (a) lascamento, (b) Quebra, (c) fissuras, (d) deformação plástica e (e) apara aderente. (Souza, 2016). | 27 |
| Figura 7 – Efeito da velocidade de corte no desgaste. Adaptado de (Groover, 2007)..... | 28 |
| Figura 8 – Tipos de desgaste: (a) desgaste de cratera, (b) desgaste de flanco e (c) entalhe (Souza, 2016). | 28 |
| Figura 9 – Comportamento do desgaste de uma ferramenta com o tempo de corte (Souza, 2016)..... | 31 |
| Figura 10 – Desgaste de flanco médio e máximo (ISO 3865, 1993)..... | 32 |
| Figura 11 – Desgaste de cratera (ISO 3865, 1993)..... | 32 |
| Figura 12 – Ciclo do PDCA, adaptado de (Imai, 2012)..... | 34 |
| Figura 13 – Exemplo de identificação em tempo real dos problemas ou futuros problemas. (ScienceSoft, 2019). | 36 |
| Figura 14 – Informação transmitida em tempo real para um gestor, através de um software. (ScienceSoft, 2019). | 36 |
| Figura 16 – Chuveiro GROHE (GROHE, 2019)..... | 37 |
| Figura 15 – Torneira GROHE (GROHE, 2019)..... | 37 |
| Figura 17 – Caso 1 (Corpo em HSS / Pastilha HM)..... | 38 |
| Figura 18 – Caso 2 (HM integral)..... | 38 |
| Figura 19 – Layout da empresa. | 38 |
| Figura 20 – Planta do departamento de Maquinagem..... | 39 |
| Figura 21 – Fluxograma detalhado do departamento de maquinagem. | 40 |
| Figura 22 – Fluxograma das ferramentas de corte na GROHE..... | 41 |
| Figura 23 – Fluxograma das ferramentas no fornecedor. | 42 |
| Figura 24 – Diferentes situações para a retirada da ferramenta da máquina. | 44 |
| Figura 25 – Situação em que a ferramenta é afiada (exemplo). | 47 |
| Figura 26 – Situação em que a ferramenta é levada ao limite (exemplo). | 47 |
| Figura 27 – Máquina de medição Zoller. | 48 |

| | |
|---|----|
| Figura 28 – Análise de Pareto ao consumo de ferramentas por produto..... | 51 |
| Figura 29 – Produto RainShower..... | 53 |
| Figura 30 – Custo por furo..... | 54 |
| Figura 31 – Conjunto de ferramentas dos manípulos..... | 54 |
| Figura 32 – Ferramenta de desbaste com ângulo positivo..... | 55 |
| Figura 33 – Desbaste com ângulo negativo..... | 56 |
| Figura 34 – Desbaste com ângulo raso..... | 56 |
| Figura 35 – Raio de canto..... | 56 |
| Figura 36 – Custo de ferramentas por manípulo: antes e depois..... | 57 |
| Figura 37 – Implementação da ferramenta de desbaste: antes e depois..... | 57 |
| Figura 38 – Rotura imprevisível durante o estágio 3..... | 59 |
| Figura 39 – Tempos de vida total obtidos..... | 60 |
| Figura 40 – Os dois conjuntos utilizados no teste..... | 62 |
| Figura 41 – Caneta de gravar no metal (à esquerda); Ferramentas já gravadas (à direita).. | 62 |
| Figura 42 – Arestas de corte da broca de acabamento 1..... | 64 |
| Figura 43 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de acabamento 5..... | 64 |
| Figura 44 – Arestas de corte da broca de acabamento 2..... | 65 |
| Figura 45 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de acabamento 5..... | 65 |
| Figura 46 – Arestas de corte da broca de acabamento 3..... | 66 |
| Figura 47 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de acabamento 5..... | 66 |
| Figura 48 – Arestas de corte da broca de acabamento 4..... | 67 |
| Figura 49 – Aresta de corte da broca de acabamento 5..... | 67 |
| Figura 50 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de acabamento 4..... | 68 |
| Figura 51 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de acabamento 5..... | 68 |
| Figura 52 – Cratera excessiva (aresta 5 – broca de acabamento 5)..... | 69 |
| Figura 53 – Deformação plástica..... | 69 |
| Figura 54 – Rebarba nos furos provenientes da fundição..... | 70 |
| Figura 56 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de desbaste Ø24..... | 71 |
| Figura 55 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de desbaste Ø24..... | 71 |
| Figura 57 – Zona de afiação principal – Acabamento..... | 72 |
| Figura 58 – Zona de afiação principal – Desbaste..... | 73 |
| Figura 59 – Consumo específico e anual das ferramentas de desbaste..... | 74 |
| Figura 60 – Consumo específico e anual das ferramentas de acabamento..... | 74 |
| Figura 61 – <i>Flexpendant</i> , interface Homem-Máquina..... | 76 |

| | |
|--|-----|
| Figura 62 – Interface Homem-Máquina para a primeira situação. | 77 |
| Figura 63 – Interface Homem-Máquina para a segunda situação. | 78 |
| Figura 64 – Registo de atividades (trocas de ferramentas). | 78 |
| Figura 65 – Novo caso para a saída das ferramentas nas máquinas. | 79 |
| Figura 66 – Novo Fluxograma - Adição do fluxo 3 (seta a negrito). | 80 |
| Figura 67 – Sugestão para identificação individual das ferramentas..... | 81 |
| Figura 68 – Exemplo do aumento de dados para gerir. | 82 |
| Figura 69 – Terminal PDA Portátil - Leitor de códigos de barras (Atonportugal, 2019). ... | 85 |
| Figura 70 – Exemplo da interface pretendida (máquina e produto, depois de preencher uma vez, é igual para todos). | 85 |
| Figura 71 – Mesas de abastecimento às máquinas. | 86 |
| Figura 72 – Planta do departamento de maquinaria com a introdução dos objetos de suporte. | 87 |
| Figura 73 – Fluxo do ciclo de vida total da ferramenta de acabamento 2. | 104 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 – Principais métodos de medição do desgaste. Adaptado de (Dan, L., Mathew, J., 1990)..... | 30 |
| Tabela 2 – Valores limites de desgaste recomendáveis na prática para acabamento e desgaste..... | 33 |
| Tabela 3 – Tabela de preços. Obtido em orçamentos de fornecedores..... | 43 |
| Tabela 4 – Poupanças no custo das ferramentas..... | 58 |
| Tabela 5 – Tempo de vida total médio..... | 61 |
| Tabela 6 – Tempo de vida total vs tempo de vida útil (unidade de medida: peças)..... | 73 |
| Tabela 7 – <i>Savings</i> anuais. | 75 |
| Tabela 8 – Resultados finais - 1ª fase. | 89 |
| Tabela 9 – Resultados finais - 2ª fase. | 90 |
| Tabela 10 – Valores do desgaste de flanco da broca de acabamento 1. | 100 |
| Tabela 11 – Valores do desgaste de flanco da broca de acabamento 2. | 100 |
| Tabela 12 – Valores do desgaste de flanco da broca de acabamento 3. | 101 |
| Tabela 13 – Valores do desgaste de flanco da broca de acabamento 4. | 101 |
| Tabela 14 – Valores do desgaste de flanco da broca de acabamento 5. | 102 |
| Tabela 15 – Valores do desgaste de flanco da broca de desbaste Ø24..... | 102 |
| Tabela 16 – Valores do desgaste de flanco da broca de desbaste Ø24..... | 103 |

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

Vb – Desgaste de flanco

Kt – Desgaste de cratera

Siglas

HM – Hard Metal (Metal duro)

HSS – High Speed Steel (Aço rápido)

IoT – Internet of Things

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho insere-se no âmbito da unidade curricular estágio/dissertação, do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Coimbra. A dissertação foca-se nas ferramentas de corte e foi desenvolvida em ambiente empresarial, na empresa GROHE – Portugal.

As ferramentas de corte têm sido, desde os tempos antigos, utilizadas para remover o excesso de material em peças fundidas. Atualmente, a maquinagem de metais é um dos principais processos de fabricação para operações de acabamento.

O custo associado às operações maquinagem de metais depende de vários fatores. O fator mais crítico é o tempo de vida da ferramenta de corte, seguido pelo tempo de inatividade das máquinas (Whitney, 1994).

O tempo de inatividade está associado a trocas de setup e ferramentas sendo que, estas trocas, podem acontecer de forma planeada ou de forma inesperada. As trocas inesperadas, normalmente causadas por falhas catastróficas, nas ferramentas, e tempos de vida da ferramenta aleatórios, são uma das maiores causas de perdas na produtividade (Whitney, 1994). Como tal, a eficiência de um centro de maquinagem está diretamente relacionada com uma escolha e gestão adequada das ferramentas de corte.

1.1. Objetivos

Este projeto, realizado no departamento de maquinagem da GROHE, procura encontrar as melhores soluções destes cortantes para, por um lado, obter o maior rendimento e qualidade possíveis e, por outro, reduzir os custos ao máximo. As soluções e estratégias adotadas procuram responder a 3 problemas:

1. reduzir o consumo de ferramentas sem baixar os níveis de produção;
2. medir o desgaste para poderem ser criados tempos de ciclo standard;
3. conceber um novo sistema de gestão das ferramentas de corte que permita o controlo das mesmas.

Os 3 problemas estão interligados, no entanto, para o primeiro problema, foi identificado que, a escolha da ferramenta adequada é fulcral, pelo que, o material e geometria da mesma são muito importantes e vão ser analisados.

Já no segundo problema, depois de escolhidas as melhores ferramentas para operar, saber quando é que a ferramenta chegou ao fim do seu ciclo, é fundamental, como tal, vão ser utilizadas técnicas de medição do desgaste de flanco na ferramenta para encontrar este tempo.

Por fim, no terceiro e último problema, ter um sistema de gestão de ferramentas inteligente que, depois de ter os tempos de ciclo definidos, nos permita controlar em tempo real o número de peças produzidas e que pode produzir para, desta forma, trocar as ferramentas de forma preditiva, é o ponto chave para o sucesso do departamento de maquinaria da GROHE.

1.2. Estrutura

A presente dissertação está dividida em diversas etapas essenciais, distribuídas pela seguinte ordem:

1. introdução, onde é apresentado um enquadramento do projeto através dos problemas, objetivos e a estrutura adotada;
2. enquadramento teórico, onde está uma pesquisa bibliográfica que incide sobre os processos de maquinaria; ferramentas de corte e o seu tempo de vida; Kaizen e por fim Internet of Things;
3. descrição do caso de estudo, onde é apresentada a empresa e feito um enquadramento detalhado do processo produtivo;
4. abordagem metodológica, onde é descrita a abordagem, através do ciclo PDCA, para o desenvolvimento dos 4 passos do projeto;
5. implementação metodológica, onde são desenvolvidos os 4 passos do projeto que procuram responder aos objetivos inicialmente propostos;
6. conclusão, onde são apresentados os resultados de todas as alterações e é feita uma proposta para trabalhos futuros.

Nos anexos, encontram-se dados relativos à implementação metodológica, com destaque para o anexo A que alberga um algoritmo/código de suporte ao estudo.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo, encontra-se a pesquisa bibliográfica que servirá de suporte e fundamento para o trabalho realizado. Os capítulos aqui abordados incidem sobre uma parte técnica e uma parte de gestão.

Por um lado, a parte técnica, está representada nos subcapítulos: 2.1 – Processos de maquinagem e 2.2 – Ferramentas de corte. Por outro lado, a parte de gestão, está representada pelos subcapítulos 2.3 – Kaizen - Melhoria contínua e 2.4 – IoT - Internet of Things.

2.1. Processos de Maquinagem

Os processos de maquinagem consistem na alteração da geometria de um objeto, removendo algum do seu material, cavaco, através do uso de ferramentas de corte. Existem diversas operações de maquinagem como, por exemplo: torneamento, furação, fresagem e retificação. Nestas operações existem três tipos de movimentos: movimento de corte, movimento de avanço e movimento efetivo de corte, resultante da composição dos dois movimentos anteriores (Davim, 2008). Na figura 1, estão representados os 3 tipos de maquinagem mais comuns.

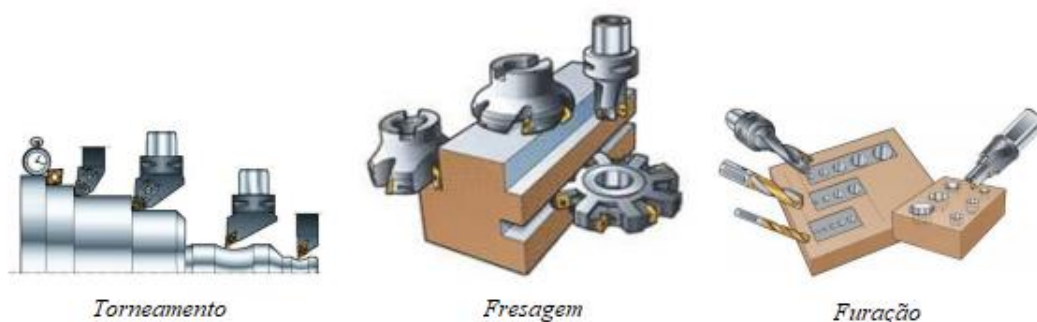


Figura 1 – Tipos de maquinagem (Sandvick Coromant, 2019).

Nas máquinas, os parâmetros de corte, tais como, a velocidade de avanço, velocidade de corte, profundidade de corte, entre outros, são normalmente fornecidos pelos fabricantes das ferramentas, sendo, posteriormente, feitos alguns ajustes pelos operadores com a experiência adquirida. A escolha destes parâmetros pode significar um aumento ou diminuição do tempo de maquinagem, bem como, antecipar o fim de vida da ferramenta e influenciar a qualidade de acabamento do produto. Assim sendo, os parâmetros de corte

devem ser otimizados tendo em conta o processo a ser realizado, de modo a dar resposta às necessidades, garantindo a qualidade da peça a ser fabricada e assegurando a durabilidade da ferramenta (Morais, 2018).

2.2. Ferramentas de corte

As ferramentas de corte são elementos responsáveis pela retirada de cavaco no material durante um processo de maquinagem, através do contacto máquina-ferramenta de forma planeada e controlada. As ferramentas de corte podem ser de diferentes materiais e formas. O material e a geometria da ferramenta são determinantes para o sucesso da maquinagem (Stemmer, 1995).

Cavaco é o termo técnico dado ao material removido da peça durante o processo de maquinagem.

2.2.1. Material

A seleção do material mais adequado à execução da ferramenta de corte é muito importante na realização de uma operação de maquinagem eficiente, não só em termos tecnológicos, mas também em termos económicos. No caso de existir uma má seleção do material, pode acontecer a danificação da ferramenta em si e da peça a fabricar, originando custos de produção desnecessários (Davim, 2008).

Posto isto, os materiais selecionados para a ferramenta devem, em geral, ser mais resistentes que o da peça em bruto, para permitir a remoção de material e, devem ainda apresentar um conjunto de propriedades físicas e químicas que conjugadas permitam obter uma ferramenta que apresente, em maior ou menor grau, as seguintes características (Davim, 2008; Oduola, et al., 2016):

- elevada resistência ao desgaste;
- elevada dureza a frio e a quente;
- elevada tenacidade;
- baixo coeficiente de atrito;
- elevada condutibilidade térmica;
- baixo coeficiente de dilatação.

Destas características, as mais importantes são a dureza, para resistir ao desgaste de flanco e à deformação, e a tenacidade para resistir à flexão e evitar quebras (Souza, 2016).

A figura 2 mostra os diferentes materiais utilizados nas ferramentas de corte e as suas propriedades.

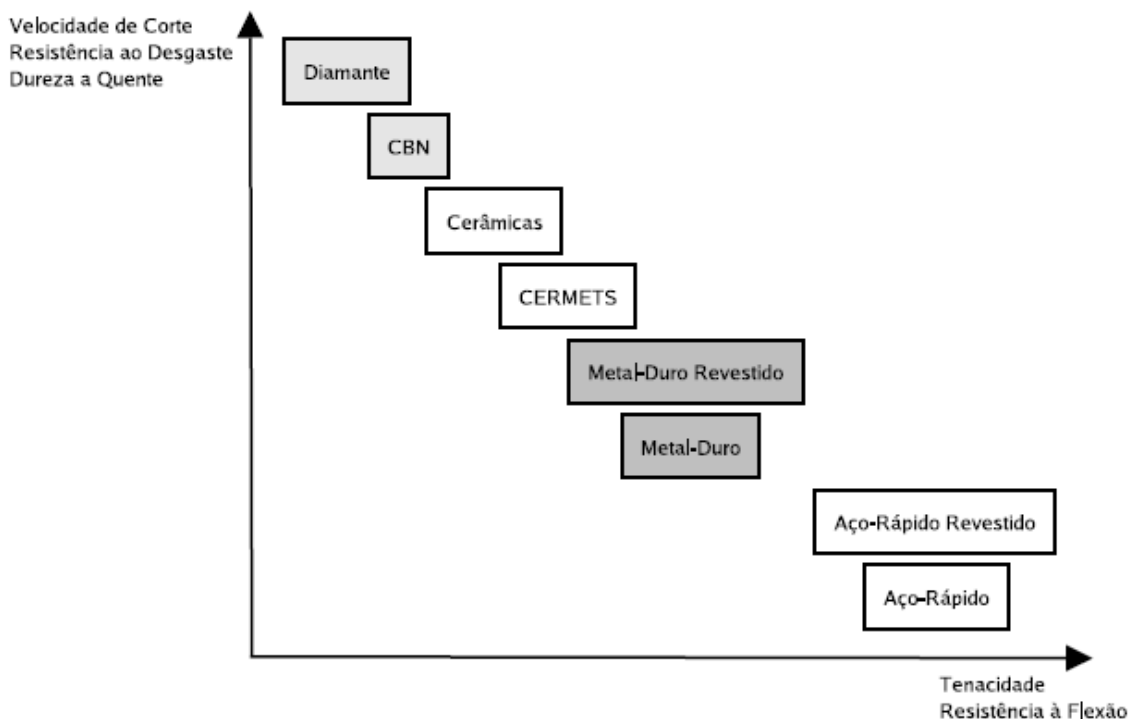


Figura 2 – Tipos de material da ferramenta de corte em função de parâmetros. Adaptado de Klocke e Koenig (2002).

A classe mais utilizada nas empresas, em contexto de produção, é a dos metais-duros (HM), ultrapassando os aços-rápidos (HSS) que perderam a sua predominância, sobretudo nos últimos anos. Os restantes, são utilizados numa quantidade menos expressiva, sendo aplicados, normalmente, em situações especiais de maquinagem (Davim, 2008).

2.2.2. Geometria

Quanto à seleção da geometria da ferramenta, pode optar-se por diferentes tipos, dependendo do objetivo. Stemmer (1995), propõe uma terminologia geral para caracterizar as ferramentas geometricamente (figura 3):

- corpo: parte da ferramenta que segura as lâminas ou pastilhas de corte ou na qual são produzidos os gumes (arestas cortantes).
- haste: parte pela qual a ferramenta é fixada no processo de maquinagem.
- base: superfície plana na haste da ferramenta que nos diz a sua fabricação, afiação e medição. Nem todas as ferramentas têm uma base definida.

- parte ativa: parte que compreende os elementos cortantes da ferramenta: gumes, face e flanco.
 - i. face de saída: superfície sobre a qual o cavaco retirado da peça escoa.
 - ii. flanco: superfície da cunha voltada à correspondente superfície maquinada da peça.
 - iii. gume ou aresta de corte: aresta formada pela face e flanco, destinada a efetuar o corte.
 - iv. quina ou canto: parte pequena na qual se encontram os gumes principal e secundário, normalmente curva.
- quebra-cavaco: ranhura integral na face destinada a controlar ou quebrar o cavaco.

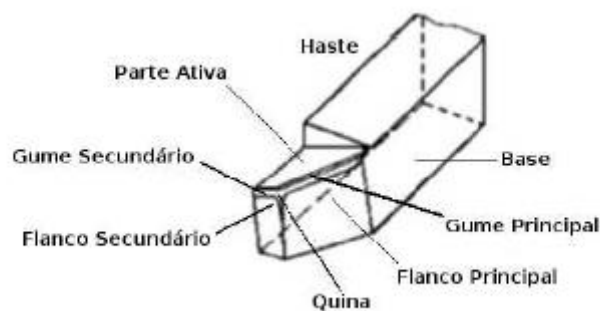


Figura 3 – Terminologia para a geometria das ferramentas de corte (Stemmer 2005).

O que importa reter quanto à geometria das ferramentas é que esta desempenha, como já foi dito, um papel de extrema importância no processo de maquinagem. Depois de apresentadas as terminologias, convém também caracterizar as ferramentas quanto à construção das suas arestas de corte (parte ativa da ferramenta). Estas podem aparecer sob a forma de (Amaral, 2017):

- Pastilhas ou insertos amovíveis: componente prático e simples de manusear sendo facilmente adaptável a vários tipos de material. A sua desvantagem está na necessidade de substituir o corpo da ferramenta, caso o perfil a maquinar seja diferente.
- Pastilhas soldadas: têm grande durabilidade, garantem mais estabilidade (menos vibrações) que as anteriores e permitem a exequibilidade de

geometrias bastante complexas. Os insertos são normalmente em HM e o corpo em HSS, como é o caso da GROHE.

- Integrais: as ferramentas são feitas a partir de um varão no material pretendido (PCD, HSS, HM, etc). Normalmente são de construção simples para não acarretarem grandes custos na sua exequibilidade. São ferramentas mais robustas e adaptam-se melhor do que as anteriores em operações de desbaste.

Outro ponto que importa reter, são os ângulos da ferramenta e os raios de canto, sendo que existem 6 parâmetros diferentes, representados pelas figuras 4 e 5, que ajudam a ferramenta a aumentar a sua durabilidade:

- ângulo de saída γ ;
- ângulo de folga α ;
- ângulo de inclinação λ ;
- ângulo de posição X ;
- raio de canto r (figura 5)
- ângulo de ponta (normalmente para brocas, figura 4, imagem da direita).

Estes parâmetros alteram-se consoante o material da peça a ser maquinada. No entanto, o raio de canto, que existe nas quinas da ferramenta, atua de igual forma em todas, sendo que, segundo Rodrigues (2005), os raios de canto reforçam a ferramenta, prolongam a sua vida e melhoram o acabamento superficial da peça. Rodrigues (2005) diz ainda que, para operações de desbaste, empregam-se raios de canto maiores, pois vão ajudar estas ferramentas a suportar melhor os esforços associados à maquinagem.

Quanto aos ângulos de ponta, no caso de serem positivos, são indicados para furos em que não exista furo pré-feito. A principal função do ângulo é ajudar a ferramenta a manter-se centrada ao longo da sua furação. Esta informação foi obtida junto dos fornecedores.

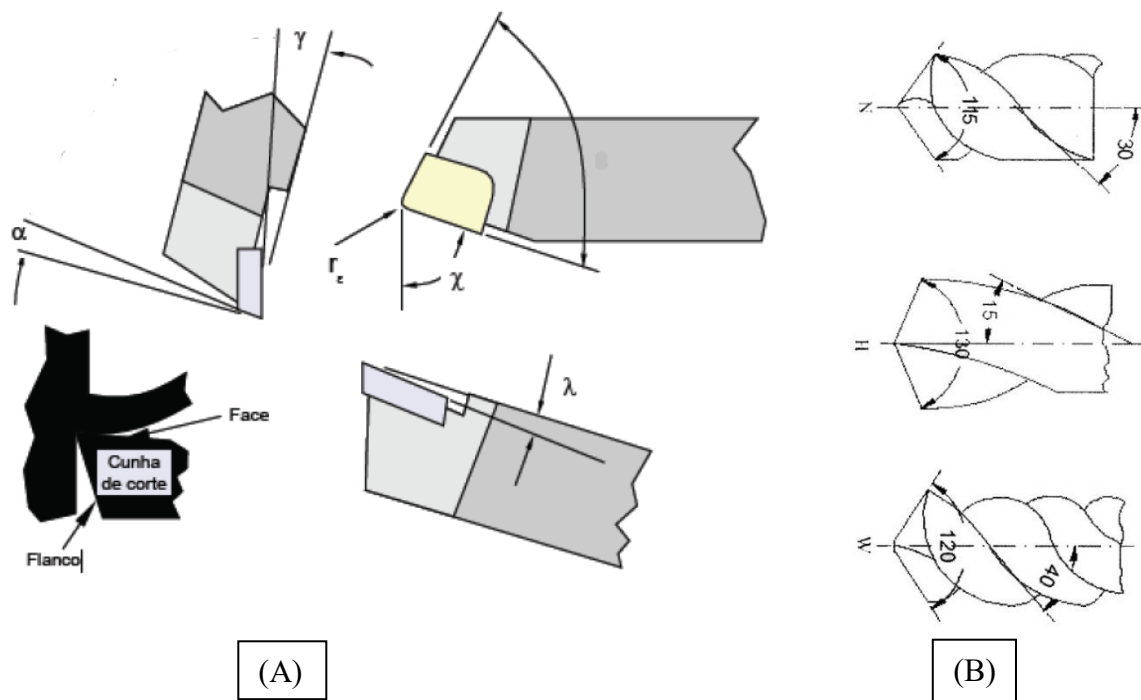


Figura 4 – Ângulos de corte: (A) Ferramentas no geral; (B) Ângulo de ponta nas brocas.

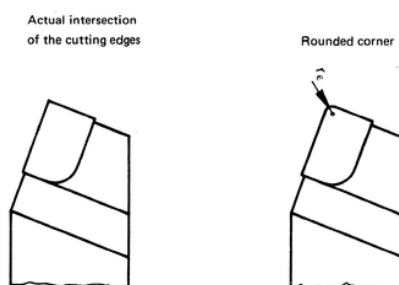


Figura 5 – Geometria dos raios de canto nas arestas de corte (ISO, 2019).

2.2.3. Vida das ferramentas de corte

A vida da ferramenta de corte é definida como o tempo de corte efetivo das suas arestas em trabalho, antes que seja necessário afiá-la ou substituí-la (Davim, 2008) e está diretamente relacionada com a degradação da ferramenta. Ou seja, durante o processo de maquinagem, em função das condições de corte, as ferramentas ficam sujeitas a uma combinação de fatores de natureza térmica, mecânica, química e abrasiva originando a sua degradação/desgaste o que, mais tarde ou mais cedo, obriga à sua substituição ou afiamento (Souza, 2016).

Os tipos de degradação das ferramentas são diversos, no entanto, podemos considerar dois grandes grupos (Davim, 2008):

- avarias, que são aquelas que originam o colapso da ferramenta de uma forma mais ou menos abrupta, ou seja, não possuem tenacidade suficiente;
- desgastes, que são aqueles que conduzem à remoção gradual e progressiva de material de zonas localizadas na face de saída e no flanco da ferramenta.

2.2.3.1. Avarias

As avarias (figura 6), podem ser subdivididas em: deformações plásticas, fissuras, fraturas, lascamentos e quebra. (Souza, 2016)

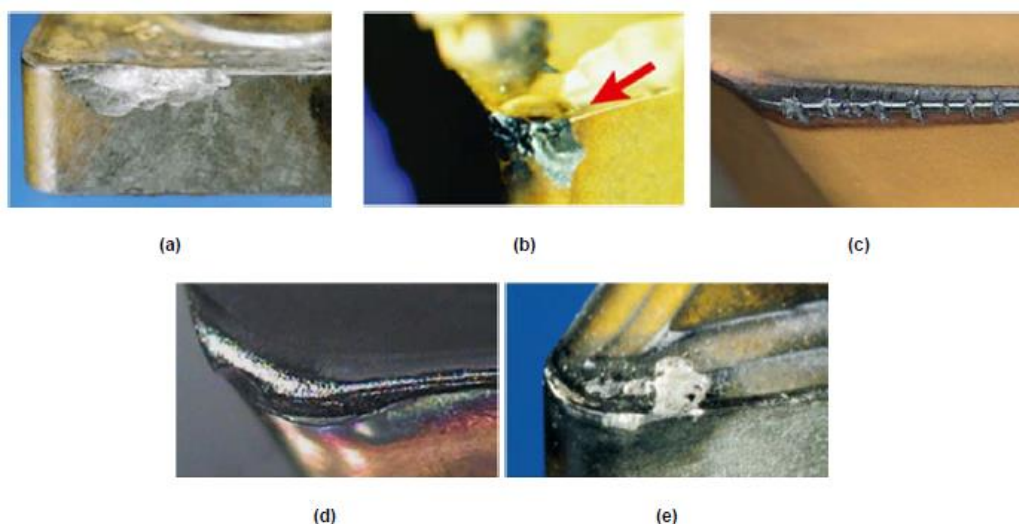


Figura 6 – Tipos de avarias: (a) lascamento, (b) Quebra, (c) fissuras, (d) deformação plástica e (e) apara aderente. (Souza, 2016).

Caso exista uma avaria na ferramenta, esta deixa, normalmente, de ter uso e é enviada para a sucata. Deve, por isso, ser evitado, pois, para além de se danificar a ferramenta, também pode danificar a peça a ser maquinada e a máquina (Davim, 2008).

2.2.3.2. Desgastes

Os desgastes podem ser subdivididos em: desgaste de cratera, desgaste de flanco e entalhe (figura 8).

Mesmo que a ferramenta possua tenacidade suficiente para resistir a uma avaria estará sempre sujeita ao desgaste. Ou seja, o desgaste das ferramentas de corte é inevitável,

existindo apenas algumas formas de o tentar minimizar (Souza, 2016). Essas formas passam pela escolha adequada do seu material e geometria, tal como mencionado anteriormente, e da utilização de parâmetros de corte adequados ao processo. A figura 7, mostra o desgaste de 3 ferramentas iguais sujeitas a diferentes parâmetros de corte. Através da análise da mesma é possível observar que, para parâmetros de corte maiores, obtém-se níveis de desgaste também eles mais elevados (Groover, 2007).

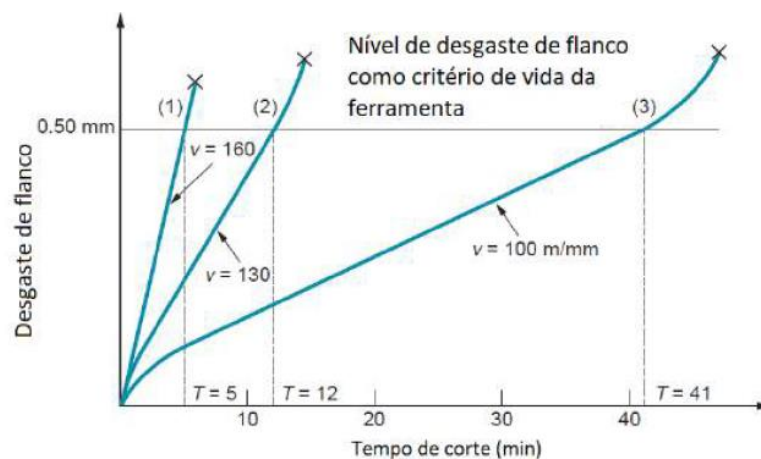


Figura 7 – Efeito da velocidade de corte no desgaste. Adaptado de (Groover, 2007).

Este desgaste dá-se normalmente em duas regiões adjacentes à aresta de corte: o flanco e a face de saída. O desgaste de cratera na face de saída, o desgaste frontal no flanco e o desgaste de entalhe, são os desgastes típicos (Davim, 2008).

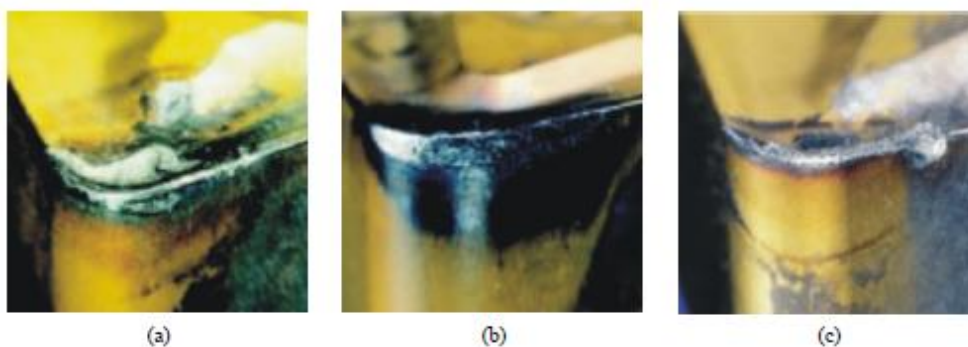


Figura 8 – Tipos de desgaste: (a) desgaste de cratera, (b) desgaste de flanco e (c) entalhe (Souza, 2016).

O desgaste de cratera é causado pelo atrito entre a ferramenta e o cavaco, já o desgaste frontal (ou de flanco) é causado pelo contacto ferramenta-peça e, por fim, o desgaste de entalhe é aquele que aparece sempre nas regiões coincidentes com as laterais do cavaco. Este pode desenvolver-se na superfície de saída ou apenas no flanco da ferramenta (Souza, 2016).

2.2.3.3. Métodos de medição do desgaste

Os métodos de medição de desgaste existentes podem ser agrupados em diretos e indiretos (Davim, 2008; Dan, L., Mathew, J., 1990).

Por um lado, os métodos diretos baseiam-se na medida da perda de material por parte da ferramenta, quando esta já não se encontra a cortar. Citam-se as técnicas óticas, as resistências elétricas e os apalpadores mecânicos de contacto e/ou proximidade.

Por outro lado, os métodos indiretos utilizam a medida de parâmetros de controle relacionados com os desgastes ou avarias das ferramentas. Estes métodos têm a vantagem de poder ser realizado o seu controlo durante a maquinação, não existindo a necessidade de parar a máquina. Citam-se as variações dimensionais da peça, o deslocamento relativo peça/ferramenta, a variação da potência de maquinação, a variação das componentes da força de maquinação, a temperatura na zona de corte e a emissão acústica ou vibrações induzidas pelo sistema. (Davim, 2008; Dan, L., Mathew, J., 1990).

A tabela 1 classifica e caracteriza alguns dos principais métodos de medição de desgaste.

Tabela 1 – Principais métodos de medição do desgaste. Adaptado de (Dan, L., Mathew, J., 1990).

| MÉTODOS | PROCESSO | MEDIDA | SENSOR |
|------------------|--|---|---|
| DIRETOS | Ótico | Forma ou posição da ponta da ferramenta | Câmera |
| | Desgaste de partículas e radioatividade | Tamanho de partículas e radioatividade | Espectrofotômetro, medidores de radioatividade |
| | Resistência da junção peça/ferramenta | Variação da resistência da junção | Voltímetro |
| | Dimensão da peça | Dimensão da peça | Micrómetros e transdutores eletromagnéticos |
| INDIRETOS | Força de maquinagem | Variação da força de maquinagem | Dinamômetros |
| | Emissão acústica | Pressão da onda de energia | Transdutores piezoelétricos de emissão acústica |
| | Som | Ondas acústicas | Microfone |
| | Vibração | Vibração na interface peça-ferramenta | Acelerômetro |
| | Temperatura | Variação de temperatura da ferramenta | Termopares e pirômetros |
| | Potência do motor principal ou do avanço | Potência ou corrente | Amperímetros e voltímetros |
| | Rugosidade | Variação da rugosidade da superfície | Transdutor ótico e rugosímetro |

2.2.3.4. Curva-padrão da vida da ferramenta

Tal como foi dito em cima, a vida da ferramenta é o tempo que uma aresta de corte trabalha efetivamente antes de ser afiada ou substituída. Normalmente as arestas de corte desgastam-se seguindo uma curva-padrão (Souza, 2016), representada pela figura 9.

No primeiro estágio, quando a ferramenta inicia o corte, o desgaste da ferramenta aumenta rapidamente. No segundo estágio, o desgaste estabiliza e mantém-se linear até perto do seu fim de vida, aqui a ferramenta encontra-se completamente adequada ao processo e os

mecanismos de desgaste operam constantemente. Já no terceiro estágio, o desgaste aumenta de forma acelerada e promove a quebra da ferramenta num curto espaço de tempo, tal fica a dever-se ao facto de a ferramenta estar de tal forma desgastada que as temperaturas e tensões envolvidas são fatais.

Isto leva-nos a concluir que a definição do tempo imediatamente antes da entrada no estágio III é de elevada importância para, por um lado obter o máximo rendimento e, por outro, evitar que a ferramenta se danifique (avaria) ao material que está a ser maquinado.

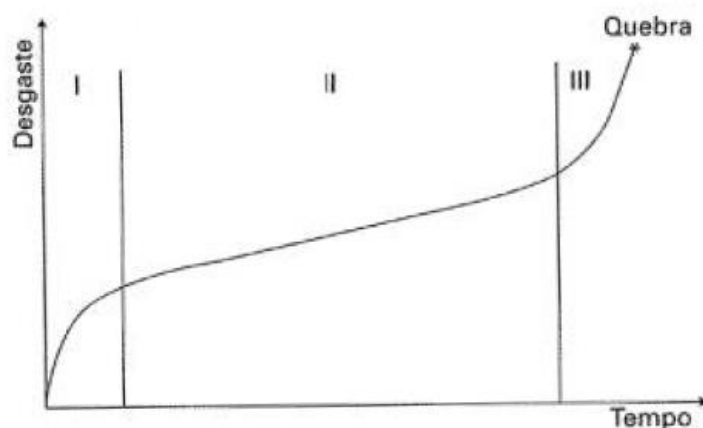


Figura 9 – Comportamento do desgaste de uma ferramenta com o tempo de corte (Souza, 2016).

2.2.3.5. Relação entre a medição do desgaste e a vida útil

A ISO (International Organization for Standardization) é uma entidade de padronização e normalização que foi criada em Genebra, 1947. A ISO tem como objetivo principal aprovar normas internacionais em todos os campos, como normas técnicas, classificações de países e normas de procedimentos e processos.

A norma ISO 3685:1993, revista e confirmada em 2017 pela organização, especifica os procedimentos recomendados, para que a vida útil seja maximizada nas ferramentas de corte em HSS, HM e cerâmica. As especificações estabelecidas são para os seguintes fatores das ferramentas de corte: peça, ferramentas, fluido de corte, condições de corte, equipamentos e avaliação do desgaste da ferramenta. (ISO 3685, 1993)

Em situações práticas de *shop-floor*, o momento em que a ferramenta para de produzir peças com os tamanhos/diâmetros desejados e a qualidade do acabamento deixa de ser a desejável, determina o fim do tempo de vida útil (ISO 3685, 1993). A norma dá valores médios para os diferentes materiais das ferramentas de corte, que ajudam a definir o ponto

de passagem do estágio II para o estágio III apresentado no gráfico da figura 9. Estes valores médios incidem sobre o desgaste de flanco (V_b , figura 10) e o desgaste de cratera (K_t , figura 11).

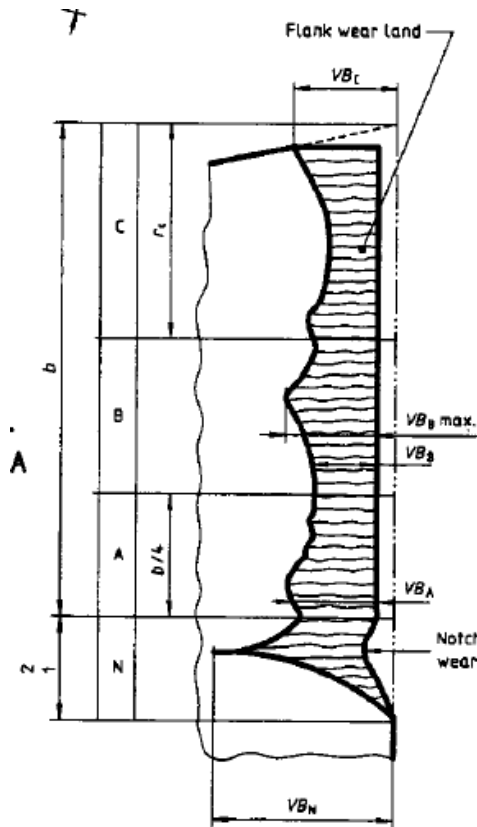


Figura 10 – Desgaste de flanco médio e máximo (ISO 3865, 1993).

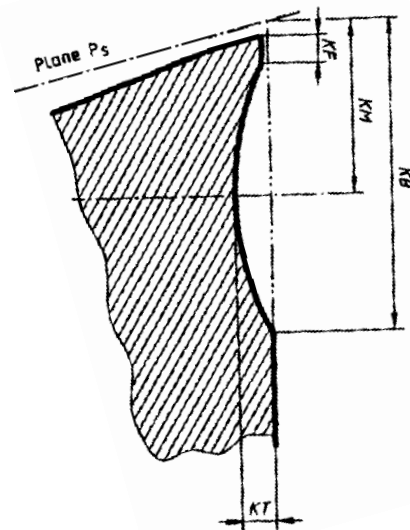


Figura 11 – Desgaste de cratera (ISO 3865, 1993).

As recomendações desta norma para ferramentas no geral (sem distinção desbaste/acabamento), são as seguintes (ISO 3685, 1993; Davim, 2008):

- ferramentas de aço rápido (HSS) e cerâmicas:
 1. $VB = 0,3$ mm se o flanco apresentar uma certa regularidade;
 2. $VB_{máx} = 0,6$ mm se o flanco apresentar irregularidades no desgaste.
- ferramentas de carbonetos sintetizados (HM):
 1. $VB = 0,3$ mm, se o flanco apresentar uma certa regularidade;
 2. $VB_{máx} = 0,6$ mm, se o flanco apresentar irregularidades no desgaste;
 3. $KT = 0,06 + 0,3 \cdot a$ mm, onde “a” é o avanço.

Neste projeto, uma vez que na maquinagem se utiliza a combinação desbaste-acabamento, os valores utilizados serão os que estão na tabela 2. Nesta tabela, em vez de termos os valores para as ferramentas no geral, temos a distinção entre ferramentas de acabamento e de desbaste.

Tabela 2 – Valores limites de desgaste recomendáveis na prática para acabamento e desgaste (Davim, 2008).

| MATERIAL DA FERRAMENTA | | Aço rápido | Carbonetos | Carbonetos revestidos | Cerâmicos | |
|------------------------|---------------|------------|------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Operação | Desgaste (mm) | | | | Al ₂ O ₃ | Si ₃ N ₄ |
| Desbaste | VB | 0,35-1,0 | 0,3-0,5* | 0,3-0,5 | 0,25-0,3 | 0,25-0,5 |
| | VBmáx | 0,4-1,4 | 0,5-0,8* | 0,4-0,7 | -- | -- |
| | KT | 0,1-0,3 | 0,1-0,2 | 0,1-0,15 | 0,1 | 0,1-0,15 |
| Acabamento | VB | 0,2-0,3 | 0,1-0,25 | 0,1-0,25 | 0,1-0,2 | 0,1-0,2 |
| | VBmáx | -- | -- | -- | -- | -- |
| | KT | -- | -- | -- | -- | -- |

* Em pastilhas soldadas, deve aumentar-se $\approx 30\%$.

2.3. Kaizen – melhoria contínua

O *Kaizen* e o ciclo PDCA são aqui apresentados, pois servirão de base para toda a metodologia do trabalho.

Em japonês, *Kaizen* significa “melhoria contínua”. Esta melhoria contínua envolve todas as pessoas, quer sejam gestores ou trabalhadores. A filosofia *Kaizen* assume que a nossa forma de viver deve focar-se em esforços constantes por melhoria (Imai, 2012).

O Kaizen Institute (2019) diz mesmo que uma das características do kaizen é que os grandes resultados vêm de inúmeras pequenas mudanças acumuladas ao longo do tempo. Contudo, isto pode ser mal interpretado, como se o *Kaizen* fosse equivalente apenas a pequenas mudanças. A verdade é que, o *Kaizen* significa que todos estão envolvidos na melhoria. A maioria das mudanças até podem ser pequenas, mas os maiores impactos do Kaizen são liderados pela administração em projetos transformacionais.

Os conceitos principais do kaizen são: (Imai, 2012)

- processo versus resultado, onde processos consistentes conduzem aos resultados desejados;
- seguir o ciclo plan-do-check-act (PDCA) para efetuar melhorias;
- colocar a qualidade sempre em primeiro lugar;
- falar com dados e gerir com base em factos;
- o próximo processo é o cliente, ou seja, na produção de um produto, numa empresa, existem vários processos até ao produto final que devem ser tratados como se de um cliente se tratasse.

Todos estes conceitos são tidos em conta ao longo do trabalho, no entanto, a estrutura do mesmo, seguirá o ciclo PDCA, apresentado mais pormenorizadamente no próximo ponto.

2.3.1. Ciclo PDCA

No processo de implementação do *Kaizen*, o ciclo PDCA (figura 12) é estabelecido como um veículo que assegura a continuidade da empresa na busca por uma política de melhoria dos standards. É um dos mais importantes conceitos do *Kaizen* (Imai, 2012).

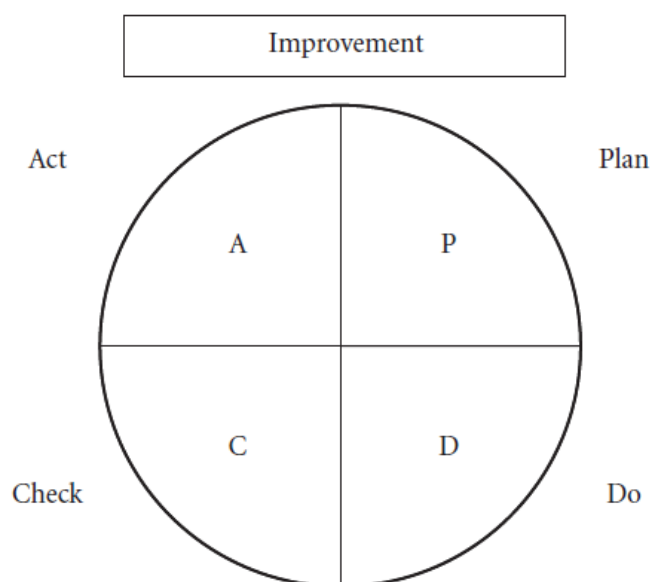


Figura 12 – Ciclo do PDCA, adaptado de (Imai, 2012).

O ciclo PDCA, também conhecido como o ciclo de Deming, que nos anos 50 desenvolveu esta metodologia, começou por ser utilizado como uma ferramenta para o controlo de qualidade nos produtos. No entanto, rapidamente, passou a ser um método que permitia o desenvolvimento de melhorias a nível organizacional (Silva et al., 2017; Sangpikul, 2017).

Atualmente, o ciclo PDCA, tal como Imai disse anteriormente, caracteriza-se pela sua abordagem de melhoria contínua e é reconhecido como um programa lógico que permite melhorar atividades e processos (Zhang, 2013).

Planear (*Plan*) refere-se a estabelecer um objetivo/alvo normalmente pequeno (amostra), para efetuar a melhoria e conceber planos de ação para alcançar o objetivo. Fazer (*Do*) refere-se a implementar e executar o plano. Analisar (*check*) refere-se a determinar se a melhoria se mantém no caminho delineado e se trouxe melhorias, tal como era o objetivo. Por fim, atuar (*Act*) refere-se a normalizar e padronizar os novos procedimentos feitos para obter as melhorias, aplicando-os na população toda. O ciclo PDCA gira continuamente, após ser efetuada uma melhoria, devemos estar logo a pensar nas próximas (Imai, 2012).

2.4. IoT – Internet of things

Neste ponto, pretende-se que seja conferido ao leitor uma ótica daquilo que é o mundo das novas tecnologias e a forma como elas podem ser aplicadas para gerar lucro nas empresas do setor industrial. A IoT, *Internet of Things*, é utilizada neste trabalho como resposta ao terceiro objetivo proposto na introdução.

O The Washington Post (Ravindranath, 2014) diz que a *Cisco System*, através do seu CEO, prevê que o IoT seja um mercado de 19\$ trilhões de dólares durante os próximos anos. Diz ainda que o IoT – um termo para designar conexões entre sensores, aparelhos, objetos e softwares – pode criar oportunidades para *savings*, no setor público (a nível global), de \$4.6 trilhões de dólares.

Uma das principais vantagens do IoT é que permite que as produções transmitam dados em tempo real, originando assim, uma transmissão de informação rápida e ágil para que os gestores possam tomar decisões rápidas (figura 13), implicando menores custos, uma vez que, previnem erros ou corrigem-nos rapidamente (Wang et al., 2012).

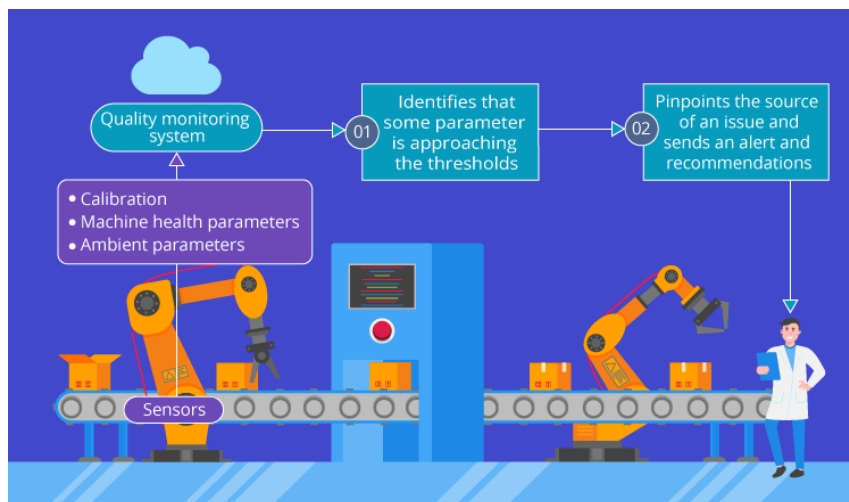


Figura 13 – Exemplo de identificação em tempo real dos problemas ou futuros problemas. (ScienceSoft, 2019).

A tecnologia, IoT, tem sido amplamente utilizada para permitir uma produção inteligente no *shop-floor*. O que acontece é que o estado de objetos físicos pode ser acompanhado e seguido virtualmente (Zhong et al., 2017). Qiu e os seus colaboradores, (2015), dizem mesmo que o IoT é um ecossistema tecnológico que monitoriza o estado dos objetos físicos, obtendo dados necessários e transferindo essa informação através de redes para aplicações de software (figura 14).

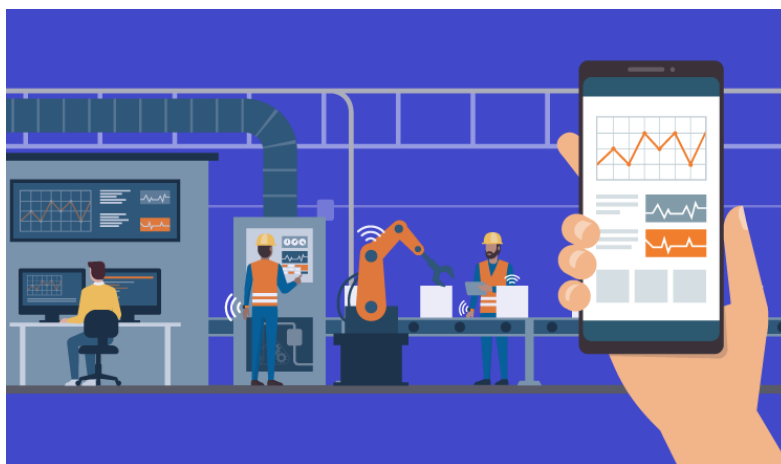


Figura 14 – Informação transmitida em tempo real para um gestor, através de um software. (ScienceSoft, 2019).

3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Neste capítulo, será apresentada a empresa e procurar-se-á fazer o enquadramento detalhado do processo produtivo e do problema abordado.

3.1. Apresentação da empresa

A GROHE é uma multinacional de origem alemã que se dedica à produção de componentes sanitários, nomeadamente torneiras e chuveiros (figura 15 e 16). Em 2014, a GROHE tornou-se parte de outro grupo *LIXIL Group Corporation* que é nipônica, aliando a qualidade alemã à eficiência japonesa. A GROHE tem 5 fábricas espalhadas no mundo, no entanto, o estágio foi realizado em Portugal. Nesta fábrica, apenas são fabricados algum dos produtos da família GROHE.



Figura 15 – Torneira GROHE (GROHE, 2019).



Figura 16 – Chuveiro GROHE (GROHE, 2019).

O material utilizado para a conceção do corpo da torneira é latão, sendo que, existem três ligas distintas para responder às diferentes necessidades dos clientes e legislações dos mercados. A diferença nas ligas está no teor de chumbo que cada uma contém (umas com mais e outras com menos). O teor de chumbo presente na liga torna-se importante neste trabalho, uma vez que a maquinagem de ligas metálicas com menos chumbo causa esforços de corte maiores o que está diretamente relacionado com o desgaste das ferramentas.

A GROHE gasta anualmente cerca de 450 000€ em ferramentas de corte, sendo que, este gasto ocorre quando existe a aquisição de ferramentas novas e em reparações ou afiações de usadas. Estas ferramentas, utilizadas na maquinagem, têm diferentes

composições e geometrias consoante a operação que irão realizar. Na maior parte das situações, as ferramentas têm o corpo em aço com pastilha de HM soldada (figura 17), existindo também, alguns casos em que a ferramenta é de HM integral (figura 18).



Figura 17 – Caso 1 (Corpo em HSS / Pastilha HM).



Figura 18 – Caso 2 (HM integral).

3.2. Layout industrial

O layout da empresa GROHE é o representado na figura 19.

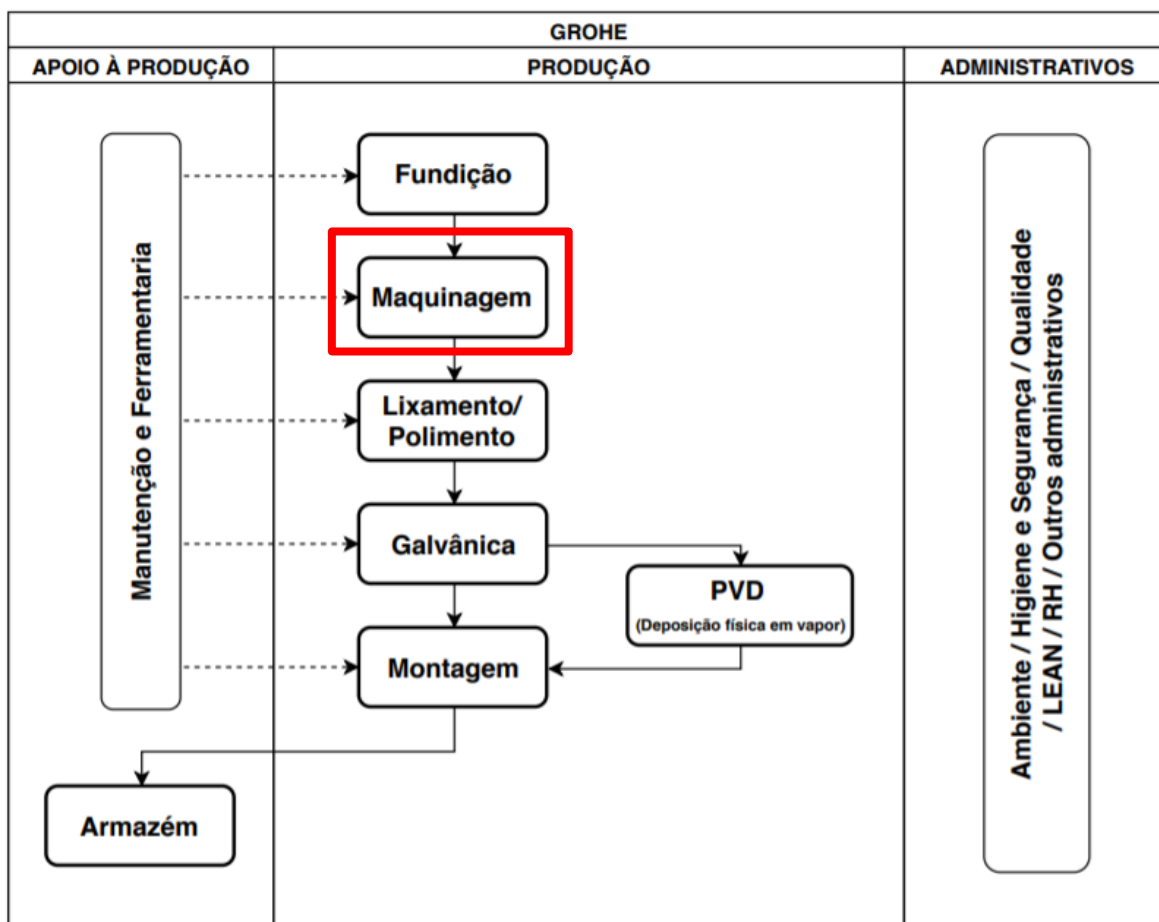


Figura 19 – Layout da empresa.

Como é possível observar, as peças percorrem 5 departamentos, de produção, diferentes até que exista um output final (fundição, maquinagem, lixamento/polimento, galvanica e montagem). No caso específico de alguns produtos, que necessitam de outro tipo de revestimento com um acabamento de alta qualidade, ao sair da galvanica, passam ainda por outro departamento, o PVD.

Após o processo produtivo, são enviadas para o armazém interno da fábrica para depois serem expedidas para um armazém central na Alemanha. Quando chegam a este país, são vendidas e distribuídas pelos clientes presentes em vários pontos do mundo.

3.2.1. Departamento de maquinagem

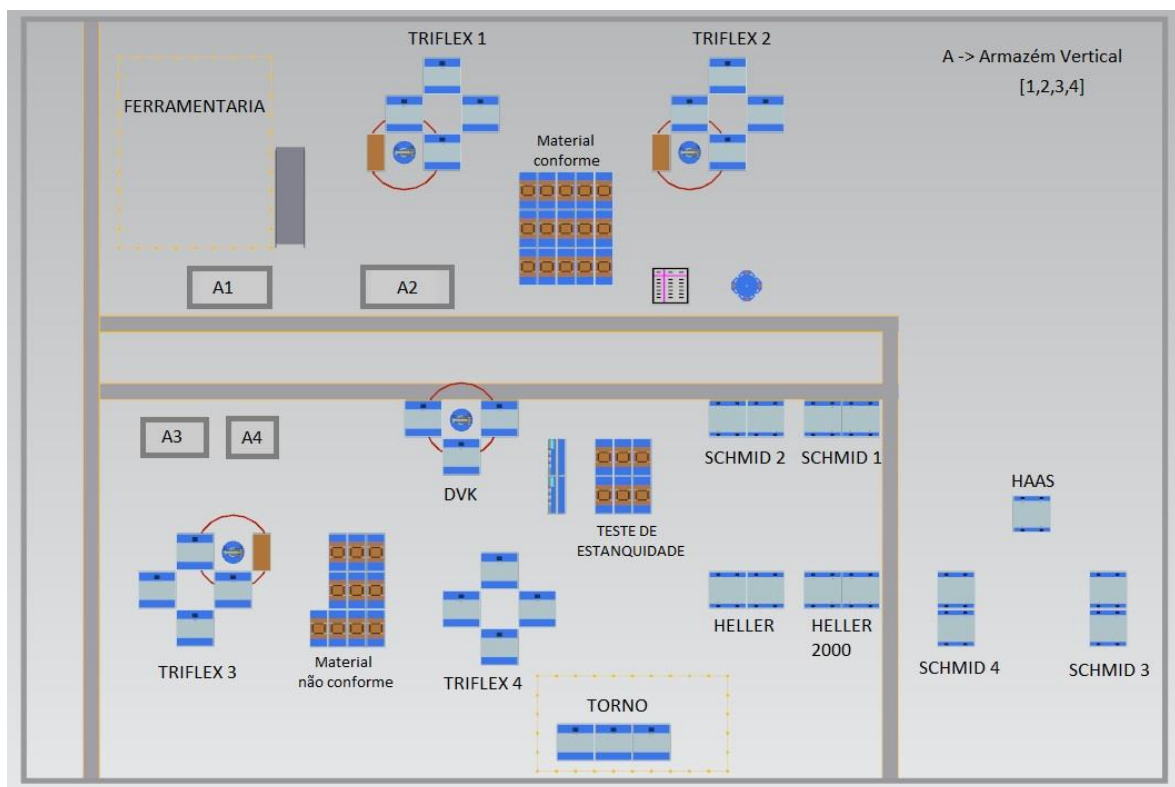


Figura 20 – Planta do departamento de Maquinagem.

Na maquinagem (figura 20), que foi o foco do trabalho, o produto, proveniente da fundição, pode ser maquinado em 1 de 13 máquinas de comando numérico diferentes (4 TRIFLEX, 4 SCHMID, 2 HELLER, 1 HAAS, 1 DVK e 1 TORNO). Existem máquinas que trabalham em contínuo, porque estão alocadas a um só produto e, como tal, não necessitam de troca de *setups*, precisam sim de trocar ferramentas pontualmente, quando estas se degradam.

Depois da maquinagem, se os diâmetros forem os corretos, passa para o teste de estanquidade, onde é controlado se a peça tem fugas ou não. Estando a peça conforme, segue para o lixamento, senão, vai para a impregnação (tratamento que elimina as fugas) ou regressa à fundição onde o material volta para o forno e é novamente fundido. O fluxograma esquematizado é o apresentado na figura 21.

No suporte à maquinagem, existe a ferramentaria que providencia, através do stock existente nos 4 armazéns, ferramentas de corte para o processo produtivo.

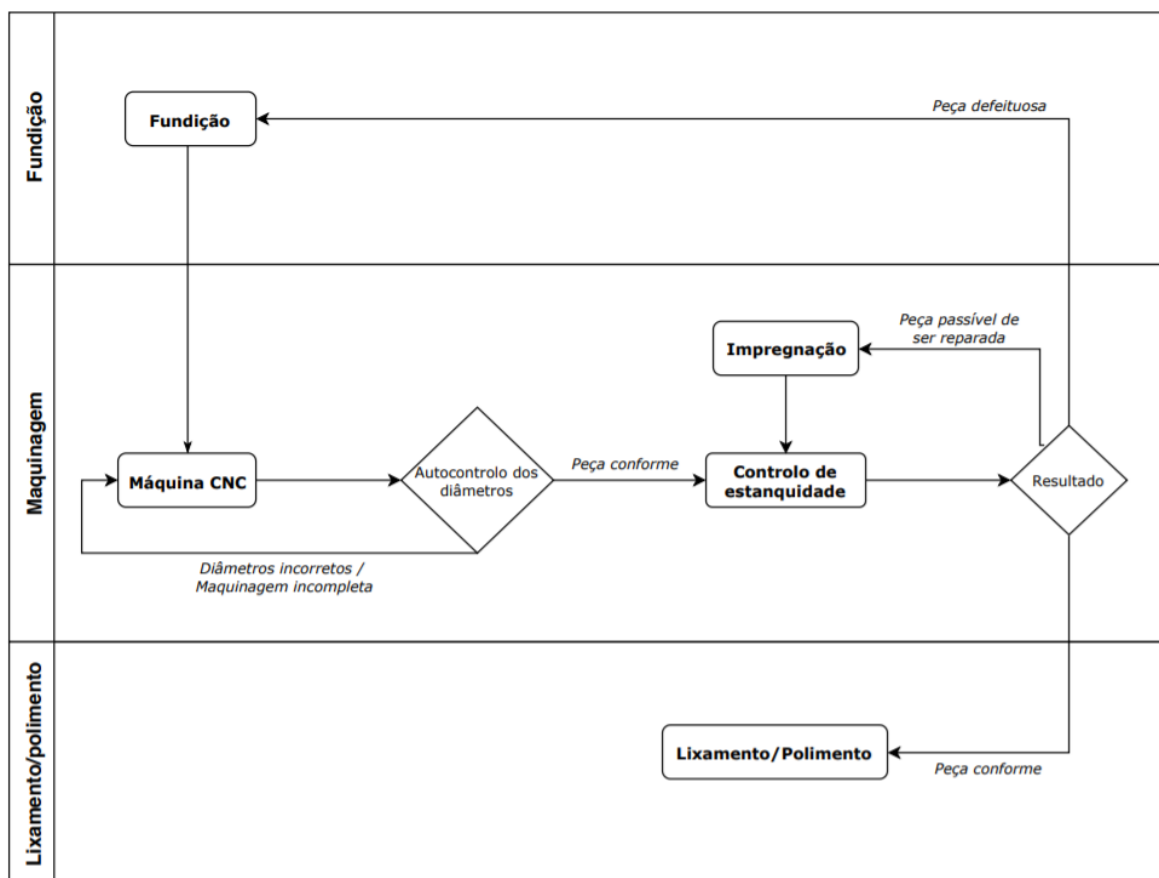


Figura 21 – Fluxograma detalhado do departamento de maquinagem.

3.3. Análise da situação atual

Na situação atual (figura 22), as ferramentas são preparadas pelo ferramenteiro e alocadas num “carrinho” para posterior colocação na máquina por um afinador. Depois de colocada na máquina, a ferramenta só é trocada perante 2 cenários:

1. a produção do produto X termina e o *setup* é alterado para o produto Y, existindo a troca das ferramentas;
2. durante a produção do produto X, é detetado através do autocontrolo, pelo operador, que os diâmetros/cotas não estão a sair conforme as tolerâncias impostas (ferramenta com muito desgaste ou que sofreu rotura).

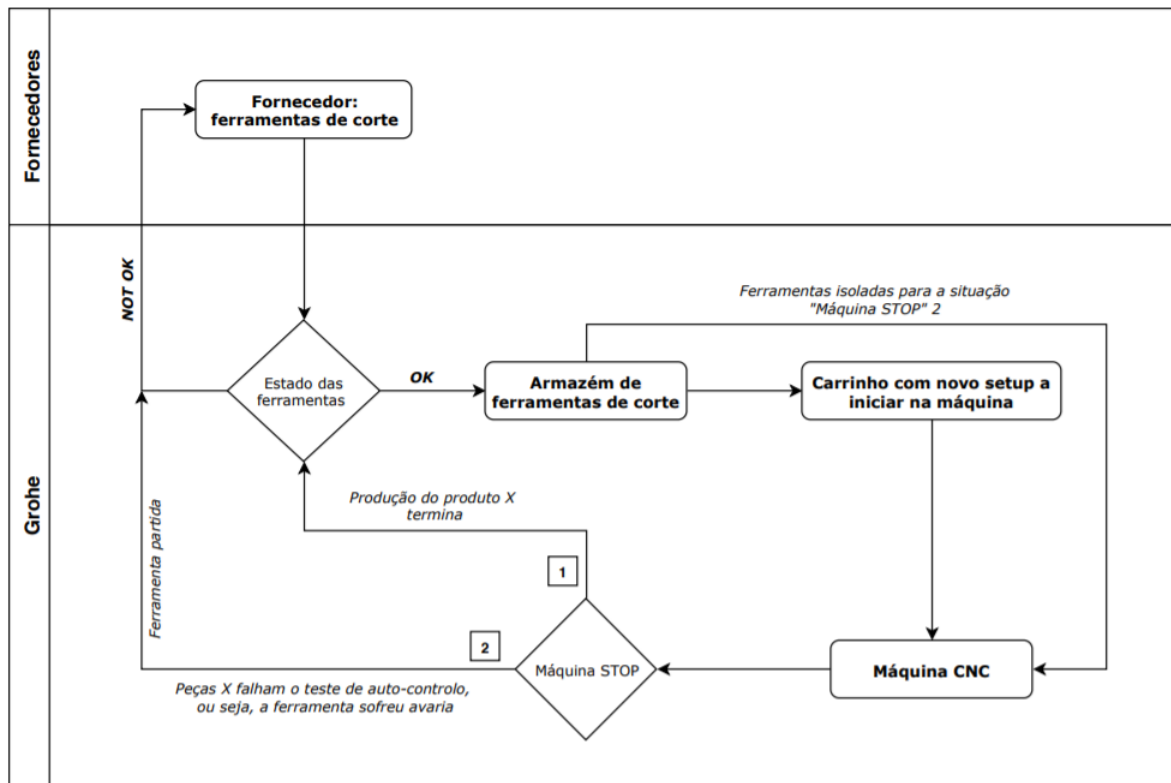


Figura 22 – Fluxograma das ferramentas de corte na GROHE.

Depois da ferramenta sair da máquina, na situação 1, volta ao armazém para ser posteriormente utilizada num novo *setup*, ou caso já esteja muito danificada, vai diretamente para o fornecedor.

Na situação 2, a ferramenta sai da máquina e, como está muito degradada, vai para o fornecedor onde é feita a sua recuperação (figura 23). Neste caso, a ferramenta que é retirada da máquina pode sair:

- totalmente danificada, o que leva à substituição por uma nova (*custo: €€€*);
- com a pastilha partida, mas passível de ser reparada (*custo: €€*);
- com desgaste, mas passível de ser afiada (*custo: €*).

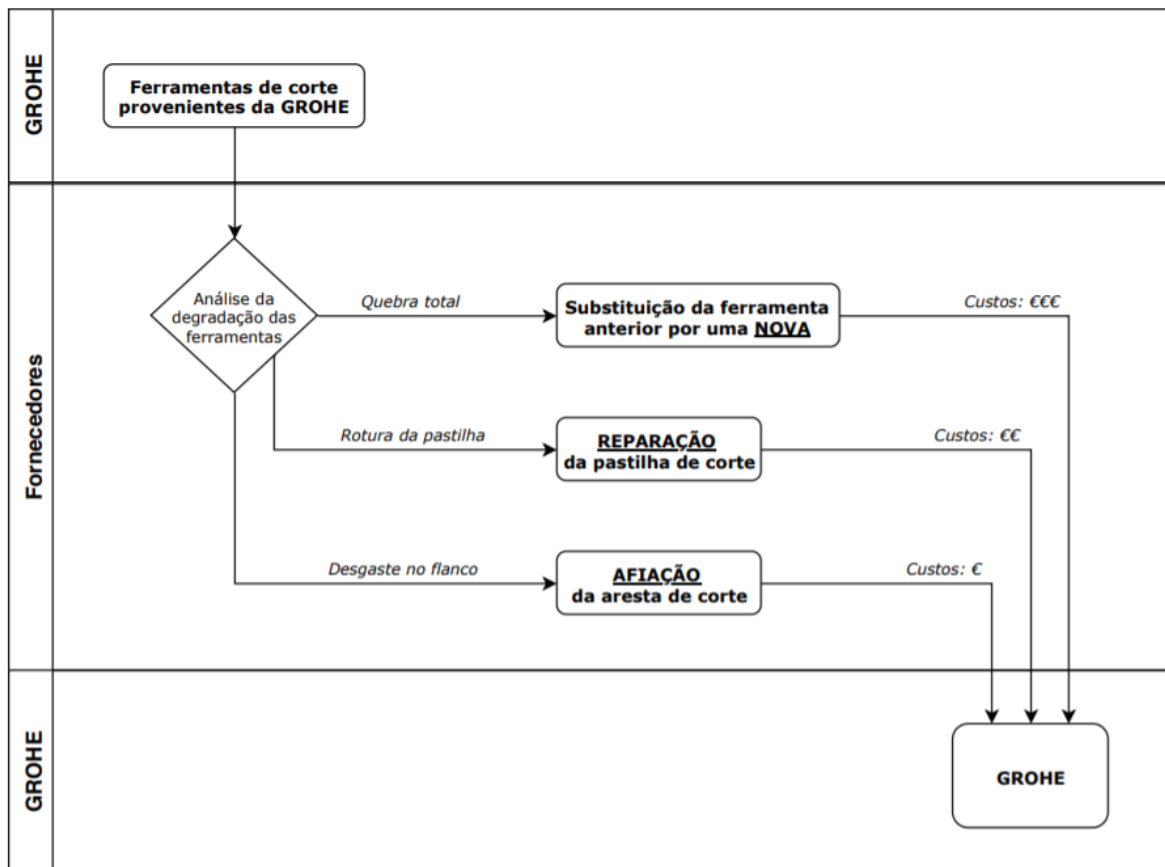


Figura 23 – Fluxograma das ferramentas no fornecedor.

Na tabela 3 é apresentada uma tabela com os valores comparativos entre afiamentos, reparações e troca por novas:

- afiamentos: a ferramenta é afiada na navalha ou na pastilha. Aplicável a:
 - ferramentas com insertos em HM (figura 17)
 - ferramentas de HM integral (figura 18)
- reparações: é a troca da pastilha de metal duro por uma nova, mantendo o corpo de aço anterior. Aplicável a:
 - ferramentas com insertos em HM (figura 17)
- novas: é a compra de uma ferramenta completamente nova, ou seja, nada é aproveitado da ferramenta anterior. Aplicável a:
 - ferramentas com insertos em HM (figura 17)

- ferramentas de HM integral (figura 18)

Tabela 3 – Tabela de preços. Obtido em orçamentos de fornecedores.

| Ferramenta | Afiar | Reparar | | Nova | |
|--------------------|--------|---------|--------------------------|---------|--------------------------|
| | Preço | Preço | Comparação com a afiação | Preço | Comparação com a afiação |
| Broca escalonada 1 | 64,00€ | 132,00€ | + 106 % | 246,00€ | + 284 % |
| Broca escalonada 2 | 50,00€ | 115,00€ | + 130 % | 192,00€ | + 284 % |
| Broca escalonada 3 | 42,00€ | 90,00€ | + 114 % | 184,00€ | + 338 % |
| Broca escalonada 4 | 25,00€ | 86,00€ | + 244 % | 162,00€ | + 548 % |
| Broca escalonada 5 | 25,00€ | 84,00€ | + 236 % | 152,00€ | + 508 % |
| Broca desbaste Ø18 | 10,00€ | ----- | ----- | 118,00€ | + 1 080 % |
| Broca desbaste Ø24 | 12,00€ | ----- | ----- | 160,00€ | + 1 233 % |

3.4. Descrição do problema

O maior desafio que a GROHE enfrenta é que, como não existe um controlo do tempo de vida, existem ferramentas de corte nas quais ocorre rotura e/ou deformação plástica (Figura 24, situação 1), o que leva a ter que comprar uma nova ou a reparar a pastilha, ao invés do seu afiamento (Figura 24, situação 2). Isto, como é passível de identificar na tabela de preços (tabela 3), tem custos associados mais elevados e torna as ferramentas menos rentáveis, aumentando assim, o custo das ferramentas por peça [€tools/peça].

Existe ainda outro problema que é, o facto de, quando existe a rotura, os operadores apenas se aperceberem que tal acontece durante o autocontrolo à peça, realizado a cada 120 minutos, originando assim, a produção de peças maquinadas defeituosas, levando a problemas de qualidade.

As ações possíveis passam por definir os tempos de vida útil da ferramenta, o que permite uma substituição preditiva da mesma, evitando a fratura e garantindo que quando a ferramenta vai ao fornecedor, é afiada o máximo de vezes possíveis. A afiação garante, normalmente, a produção do mesmo número de peças que uma nova ou reparada.

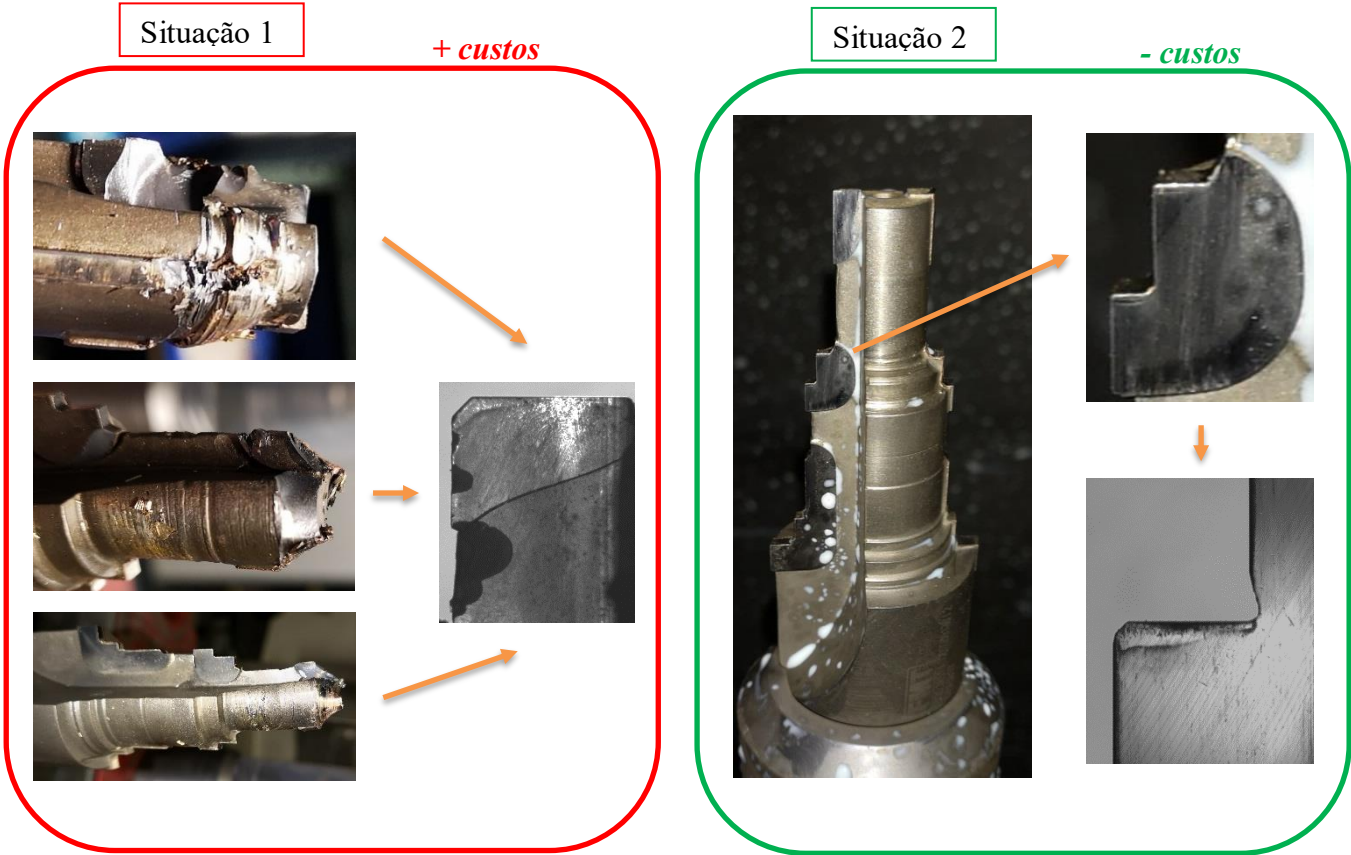


Figura 24 – Diferentes situações para a retirada da ferramenta da máquina.

4. ABORDAGEM METODOLÓGICA

A eficiência de um centro de maquinagem está diretamente relacionada com uma adequada escolha e gestão das ferramentas de corte. As ferramentas de corte representam 3-5% dos custos de produção, no entanto, se os recursos utilizados na produção, por exemplo, as ferramentas de corte, não forem bem geridos, estes custos podem aumentar até 30% do custo total de produção (Marczinski, 2002). Neste contexto, assegurar a viabilidade e a correta utilização das ferramentas de corte, assim como a gestão das mesmas, influencia a performance significativamente (Denkena, Krüger, and Schmidt, 2014). Compreendido nos objetivos da gestão das ferramentas está a exploração da performance das ferramentas, a redução dos tempos de *idle* causados pelas mesmas e a gestão logística de inventários (Eversheim et al., 1991). Meseguer and Gonzalez (2002) dizem mesmo que, a gestão das ferramentas permite e assegura que as ferramentas corretas estão nas máquinas corretas, no tempo requerido, evitando assim *delays* e paragens desnecessárias.

Como é possível verificar nos autores citados anteriormente, as ferramentas são uma peça fundamental na “engrenagem”. Depois de feito o enquadramento teórico geral e, uma vez que, este problema tem um cariz diferente de todos os existentes, na medida em que se pretende analisar um conjunto de ferramentas que atuam em conjunto (setup), é necessário conferir ao leitor um enquadramento na metodologia que será utilizada.

A abordagem metodológica é baseada no ciclo PDCA. Como se pretende uma mudança significativa na gestão das ferramentas de corte, começa-se por planear o que pode ser feito para melhorar os problemas existentes (P), de seguida vão-se testar soluções numa pequena amostra da população (D), depois analisam-se os resultados na amostra (C), para, por fim, atuar, normalizar e padronizar as melhorias para toda a população (A).

4.1. Passo 1 – *Plan*: escolha das ferramentas a analisar

A análise utilizada na escolha das ferramentas vai ser a de Pareto. Esta análise foi criada por Vilfredo Pareto em 1887 e é utilizada hoje em dia em muitas áreas da vida e aplicações técnicas. Algumas das suas utilizações práticas são (Tykocki e Jordan, 2014):

- 80% das vendas de uma empresa vêm de 20% dos produtos;
- 80% das decisões são tomadas com base em 20% da informação disponível;

- 80% das reclamações num supermercado vêm de 20% dos seus clientes;

Em suma, pode ser dito que 20% das causas são responsáveis por 80% dos problemas.

Na GROHE, existem centenas de ferramentas diferentes para os diferentes produtos, no entanto, neste projeto vai fazer-se a análise de Pareto aos produtos que mais ferramentas consomem, para atuar sobre um deles e provar, no curto período de tempo do estágio, que existem melhorias passíveis de serem realizadas nas ferramentas que lá atuam.

4.2. Passo 3 e 4 – *Do and Check*: análise da amostra

4.2.1. Otimizações das ferramentas

Depois de escolhido o produto alvo de testes, vai proceder-se à identificação das melhores ferramentas para o operar. Como as ferramentas a vigorar no processo já estão escolhidas e otimizadas, a margem de manobra para alterações é pequena. No entanto, vai-se atuar de forma ambiciosa, para identificar se existe alguma oportunidade de melhoria.

Para encontrar esta oportunidade de melhoria, o plano é efetuar uma análise do custo por furo para com isto, tentar encontrar algum furo que esteja a consumir mais do que seria expectável. Aqui, existirá uma análise ao custo por furo e não custo por ferramenta, pois, no mesmo furo, atuam normalmente uma ferramenta de desbaste seguida de uma ferramenta de acabamento, ou seja, atuam aos pares, pelo que o desgaste será em função uma da outra, sendo obrigatório avaliar o conjunto todo.

Caso exista realmente um furo que esteja a consumir mais do que todos os outros, vai proceder-se à pesquisa e implementação de novas soluções que otimizem o processo, garantindo maior ou igual qualidade e menores custos.

4.2.2. Tempo de vida

Os tempos de vida nas ferramentas vão ser divididos neste projeto em:

- vida útil;
- vida total.

Por um lado, existe o tempo de vida útil que é o número de peças que a ferramenta faz até ir para afiar (figura 25). Por outro lado, existe o tempo de vida total que é igual ao somatório dos tempos de vida útil da ferramenta. O tempo de vida útil, será igual ao

tempo de vida total, caso a ferramenta seja levada até ao seu limite e ocorra uma avaria, ou seja, não existe afiamento (figura 26).

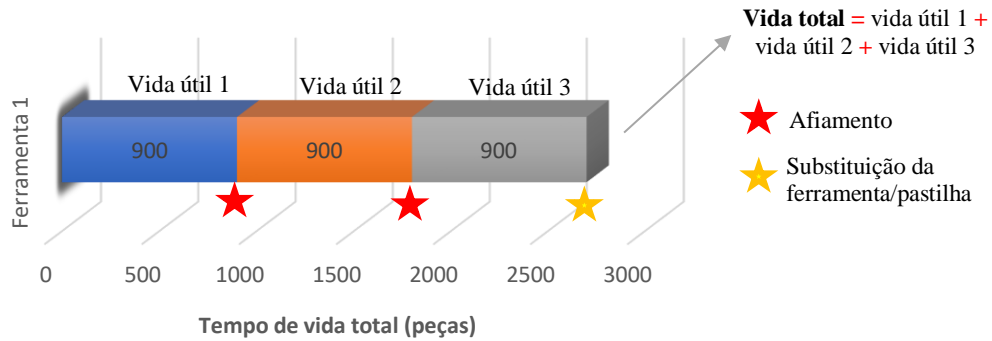


Figura 25 – Situação em que a ferramenta é afiada (exemplo).

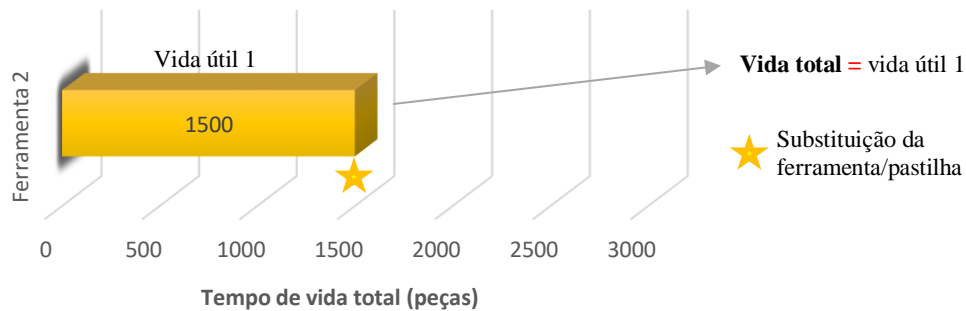


Figura 26 – Situação em que a ferramenta é levada ao limite (exemplo).

4.2.2.1. Definição do tempo de vida útil

Depois de escolhidas as ferramentas de corte ideais para o processo produtivo, o alvo passa por definir o tempo de vida útil nas mesmas, para desta forma garantir um dos objetivos do trabalho que é, retirar a ferramenta quando esta ainda está em condições de ser afiada, aumentando, assim, o seu tempo de vida total e evitando falta de qualidade nas peças maquinadas.

Esta definição vai ser suportada com a norma ISO 3685, através da medição de desgaste e da verificação ótica da existência das condições ótimas para afiamento.

A medição será feita com recurso a uma máquina muito precisa disponível nas instalações da GROHE (figura 27), que nos permite obter os valores do desgaste.



Figura 27 – Máquina de medição Zoller.

4.2.2.2. Algoritmo de suporte ao estudo

Na empresa existem robôs de abastecimento às máquinas que operam seguindo um código na linguagem “*rapid*” da ABB. Esse código está dividido em rotinas, que constituem os passos que o robô tem de fazer fisicamente. É possível introduzir uma nova rotina que não tem impacto direto nos movimentos do robô e pode operar em segundo plano, fazendo a contagem do número de peças movimentadas e, por conseguinte, produzidas.

Para o estudo realizado, vai ser proposto um algoritmo de suporte aos ensaios do estudo. O mesmo faz a contagem do número de peças em tempo real e vai ser implementado no código do robô, aproveitando, assim, os recursos já existentes na empresa. Este algoritmo, pode depois ser aproveitado pela empresa para aplicar em máquinas com produtos de produção contínua.

4.3. Passo 4 – Act: proposta para um novo sistema de gestão das ferramentas de corte

Por fim, depois de analisados os resultados do estudo do tempo de vida útil, será proposto um novo sistema de gestão das ferramentas de corte e respetivo fluxograma. Este

sistema, no caso de o estudo do tempo de vida útil das ferramentas se revelar frutífero, procurará responder aos novos desafios inerentes ao controlo que terá de ser efetuado.

Para a conceção deste novo sistema de gestão foram utilizadas ferramentas de planeamento e controlo da produção em conjunto com alguns conceitos da IoT – Internet of Things.

5. IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

Neste capítulo, vai ser aplicada a metodologia descrita no capítulo anterior. O ponto 5.1, será relativo ao planeamento e descoberta da amostra em que nos vamos focar. Os pontos 5.2 e 5.3 serão relativos à implementação das melhorias planeadas e à análise dos seus resultados. Por fim, o ponto 5.4, será relativo a uma proposta para a normalização e padronização das melhorias sugeridas.

5.1. Análise de Pareto: escolha do produto para testes

Na GROHE, são produzidos mais de 50 produtos, no entanto, como é possível verificar através da análise de Pareto, existem produtos que são responsáveis pela maioria dos gastos em ferramentas (figura 28).

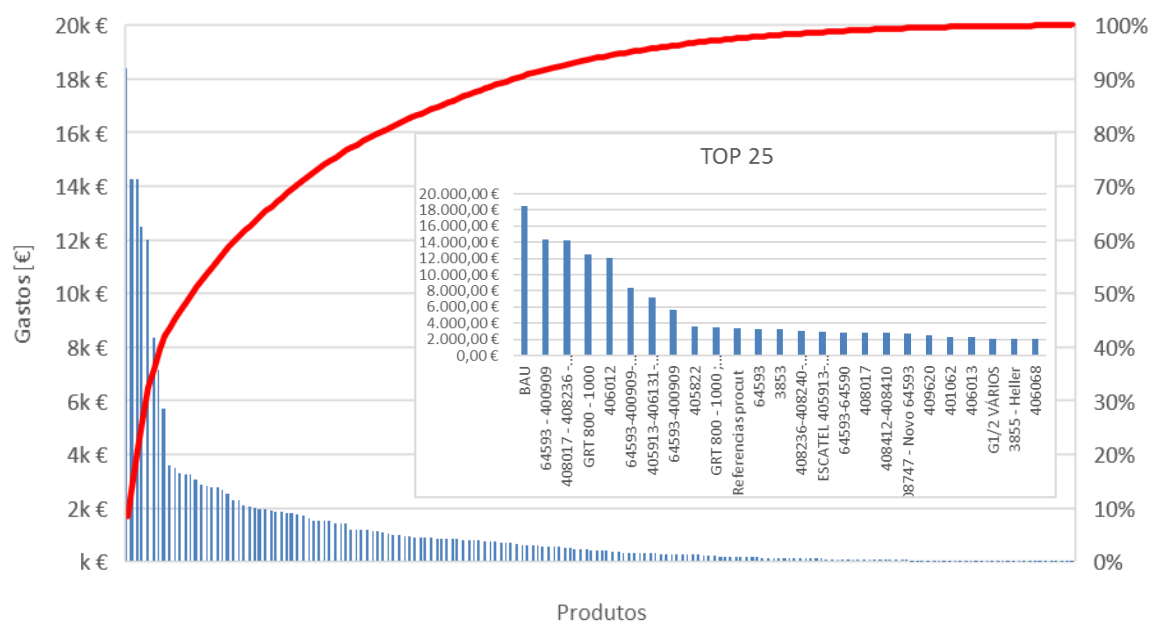


Figura 28 – Análise de Pareto ao consumo de ferramentas por produto.

Verifica-se também, que o BAU é aquele que mais gasta em termos de ferramentas, no entanto, o produto escolhido para uma análise mais aprofundada foi o 64593 (*RainShower*).

Esta escolha ocorreu devido a dois fatores:

- o BAU vai começar a ser produzido noutra fábrica do grupo e, por conseguinte, descontinuado na GROHE-Portugal, não fazendo assim sentido estar a analisar o mesmo.
- o *RainShower* está a ser produzido 24h por dia numa máquina específica, facilitando assim a recolha de dados, uma vez que, as ferramentas estão sempre alocadas à mesma máquina.

5.1.1. Produto RainShower

A maquinagem do produto *RainShower* (figura 29) engloba 6 furos, sendo que dois deles são iguais. O nome desses mesmo furos e a respetiva ordem das ferramentas por operação, é:

1. Manípulo;

- i. Broca de desbaste Ø24
- ii. Broca escalonada de acabamento 1
- iii. Fresa para abrir rosca

2. Regulação da temperatura;

- i. Broca de desbaste Ø18
- ii. Broca escalonada de acabamento 2
- iii. Fresa “T” dupla
- iv. Fresa de encravamento Ø5
- v. Fresa para abrir rosca

3. Entrada de água; (x2)

- i. Broca escalonada de acabamento 3
- ii. Fresa para abrir rosca Ø16

4. Saída da bica;

- i. Broca escalonada de acabamento 4
- ii. Macho M15

5. Saída do chuveiro;

- i. Broca escalonada de acabamento 5
- ii. Macho M15

iii. Broca craniana

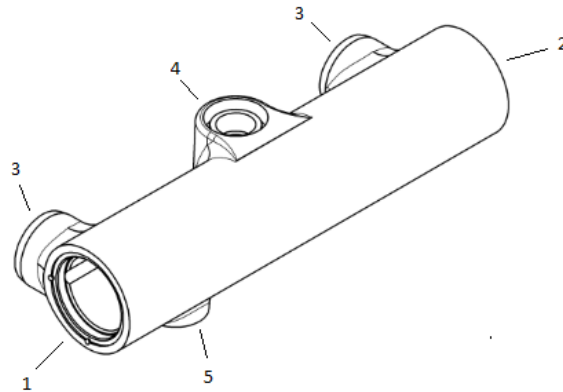


Figura 29 – Produto RainShower.

5.2. Otimização do material e geometria (1ª fase)

O material e geometria da ferramenta como já foi referenciado na revisão de literatura, são de extrema importância e constituem, sem dúvida, o ponto chave para obter o menor custo possível para o output. Como tal, nesta secção e antes de ser analisado o tempo de vida das ferramentas, começou por verificar-se até que ponto as ferramentas que estavam a ser utilizadas, eram as melhores para a maquinagem do *RainShower*.

5.2.1. Análise custo por furo

Iniciou-se uma análise do custo de ferramentas por furo para uma amostra de 23k peças. O que se pretendia com esta análise era tentar descobrir se existia algum(s) furo(s) que representava um grande custo quando comparado com os restantes.

Os resultados obtidos (figura 30) mostraram que realmente um deles, o manípulo, representava 69,23% do custo final de ferramentas por peça.

Nestes resultados não foi possível obter dados para o furo “saída da bica”, pois os custos inerentes a este furo eram muito reduzidos, não existindo assim dados fiáveis para o tamanho da amostra.

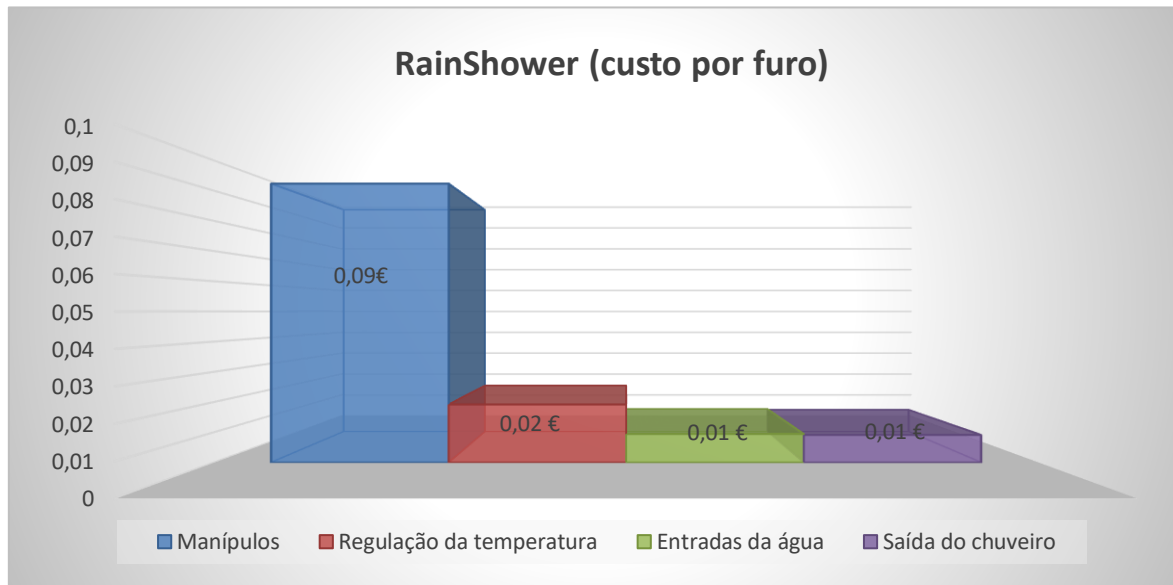


Figura 30 – Custo por furo.

5.2.1.1. Ferramentas de corte no manípulo

Depois de descoberto que o furo do manípulo representava custos significativos, resolveu atuar-se sobre ele.

Na geometria da peça RainShower, no manípulo, existe bastante material num dos lados do furo pré-feito, proveniente da fundição, o que origina maiores forças a atuar sobre a ferramenta de desbaste durante a furação. As ferramentas que estavam a operar nos manípulos estão representadas na figura 31.

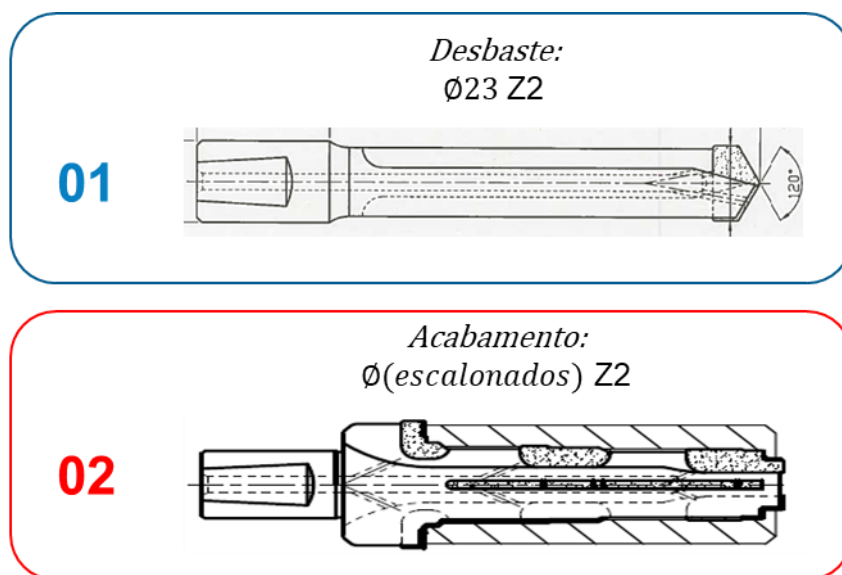


Figura 31 – Conjunto de ferramentas dos manípulos.

A geometria desta ferramenta de desbaste, com ângulo de ponta positivo de 120° , fazia com que as forças extra originassem um pequeno desvio, em relação ao eixo central, no furo final, como é representado na figura 32. Este pequeno desvio vai depois originar que atuem mais forças na broca de acabamento quando esta estiver a operar, levando a um desgaste prematuro na mesma.

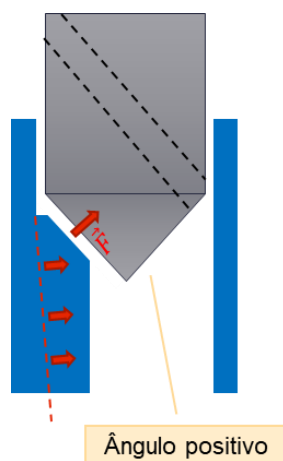


Figura 32 – Ferramenta de desbaste com ângulo positivo.

Depois de algumas reuniões com fornecedores de ferramentas de corte e pesquisas, surgiram 2 ideias para alterar o topo da ferramenta (figura 33 e 34).

- Na sugestão da figura 33 (topo com ângulo de ponta negativo), as forças a atuar obrigavam a ferramenta a manter-se centrada, no entanto, foi referido pelos técnicos, que esta não é a melhor opção, pois a limalha tem tendência a ficar no meio o que origina um mau escoamento da mesma.
- Na sugestão da figura 34 (topo com ângulo raso), as forças a atuar empurram a ferramenta para cima, o que vai ser contrariado pela própria força de deslocamento da ferramenta (em sentido contrário), não “empurrando” a ferramenta para nenhum dos lados, sendo considerada a situação ótima.

Outra questão a ter em conta foi o número de arestas de corte, o material da ferramenta e se a quina deveria ter, ou não, raio de canto.

Por um lado, optou-se por aumentar o número de arestas de corte, passando de Z2 para Z4, o que garante maior durabilidade da ferramenta pois o desgaste será repartido por mais arestas.

Por outro lado, de forma a evitar menos vibrações e a ter uma ferramenta mais sólida na zona de corte, optou-se por uma ferramenta em metal duro integral não existindo assim danos causados por uma má soldadura do corpo de aço com a pastilha HM, como era propício nas anteriores.

Por fim, seleccionou-se uma ferramenta cuja quina tinha um raio de canto com 5° (figura 35).

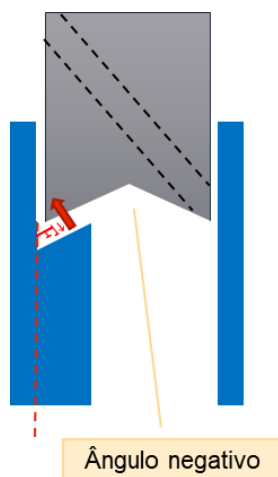


Figura 33 – Desbaste com ângulo negativo.

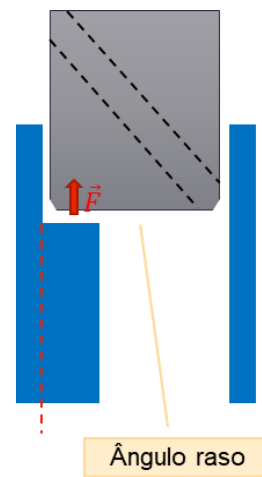


Figura 34 – Desbaste com ângulo raso.

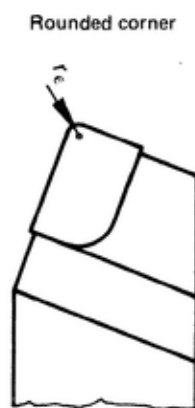


Figura 35 – Raio de canto.

Encontrada a opção, procedeu-se à encomenda da ferramenta de metal duro integral com 4 navalhas ao fornecedor. O preço da mesma foi de 160€, sendo apenas mais cara 6 € que a Z2 que estava a atuar anteriormente.

5.2.2. Análise de resultados

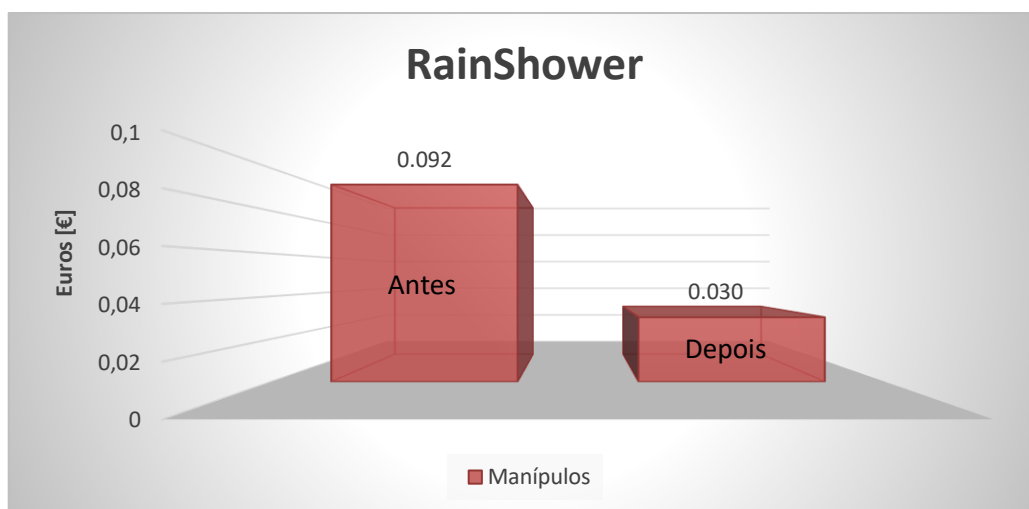


Figura 36 – Custo de ferramentas por manípulo: antes e depois.

Os resultados estão apresentados na figura 36. A introdução da nova fresa de desbaste, revolucionou completamente o tempo de vida das ferramentas dos manípulos, reduzindo assim o custo de 9 cêntimos para 3 cêntimos. Por um lado, o desbaste mudou de 3893 peças (média), para 30906. Por outro lado, como o desbaste é maior e não existe o problema de o furo estar descentrado, a ferramenta de acabamento aumentou o seu tempo de vida para uma média de 6181 peças, face aos 3183 que estavam a imperar anteriormente (figura 37).

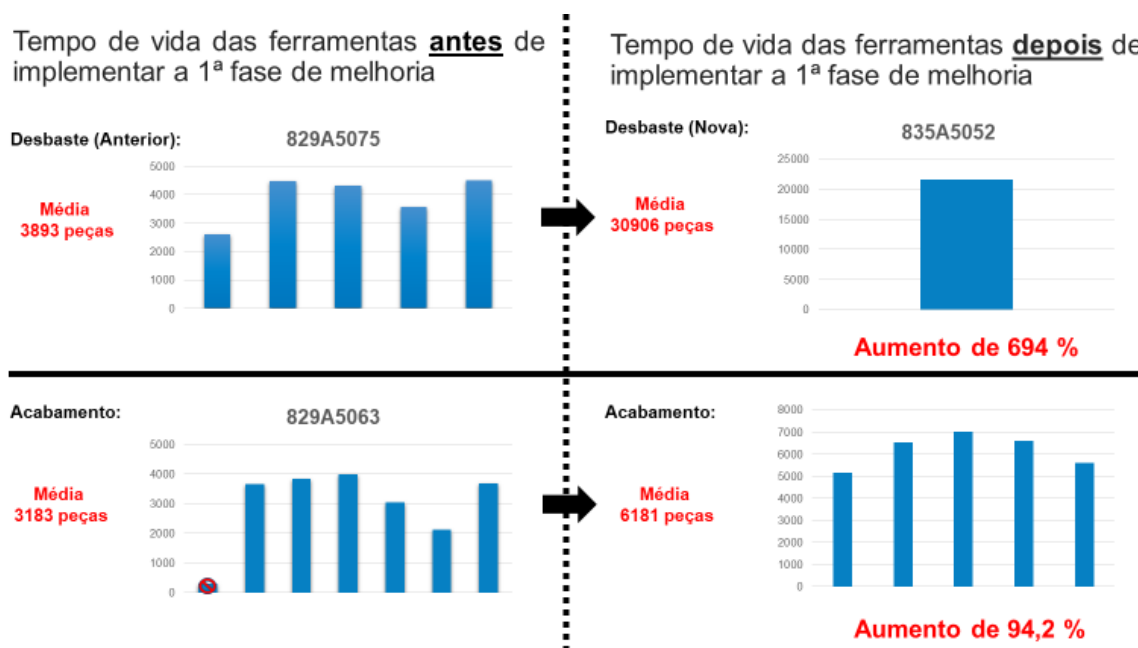


Figura 37 – Implementação da ferramenta de desbaste: antes e depois.

5.2.2.1. Poupanças anuais

As possíveis poupanças anuais foram calculados e são de 26885,95 euros (tabela 4). É um resultado muito bom, no entanto, pode baixar caso existam falhas nas ferramentas que ocorrem devido aos diversos fatores inerentes à produção. Estas falhas não são controláveis e podemos apenas estimá-las através da eficiência da máquina. No entanto, é seguro afirmar que com esta mudança, existirá uma poupança de milhares de euros, pois estas são das ferramentas que mais se utilizam (operam num produto “*big runner*”) e onde existiam mais problemas.

O método utilizado para efetuar este cálculo foi o seguinte:

- Considera-se que a empresa labora 52 semanas por ano, 6 dias por semana e 24 horas por dia (3 turnos de trabalho):

$$52 \times 6 \times 24 = 7\,488 \text{ horas/ano.} \quad (1)$$

$$7488 \times 60 \times 60 = 26\,956\,800 \text{ segundos/ano} \quad (2)$$

- Cada peça demora 56 segundos a ser feita, logo conseguem fabricar-se:

$$\frac{26\,956\,800[\text{segundos/ano}]}{56[\text{segundos/peça}]} = 481\,371 \text{ peças/ano} \quad (3)$$

- Considera-se que existe uma eficiência de 90% na máquina, logo o número de peças real é:

$$481\,371 [\text{peças/ano}] \times 0.9 [\text{eficiência}] = 433\,234 \text{ peças/ano} \quad (4)$$

Tabela 4 – Poupanças no custo das ferramentas.

| Custo anual | | Poupanças | |
|-------------|------------|---------------|------------|
| Situação 1 | Situação 2 | [€] | [%] |
| 40k € | 13k € | 26 k € | 66% |

5.3. Tempo de vida útil das ferramentas de corte (2ª fase)

Após a 1ª fase de melhorias concluída, escolha da melhor geometria e material da ferramenta possíveis, o passo seguinte, como já foi dito anteriormente, foi definir o tempo de vida útil das ferramentas que atuam no produto *RainShower*. Uma vez que as ferramentas de acabamento e desbaste são aquelas que envolvem mais custos, apenas essas foram avaliadas (ferramentas sublinhadas na lista do ponto 5.1.1.), tendo sido as restantes ignoradas. Neste caso concreto, as que foram ignoradas representam valores residuais no custo de ferramenta por peça, não sendo importantes.

5.3.1. Tempos de vida total na situação anterior

Antes de se iniciar a medição do tempo de vida útil, através do desgaste de flanco, começou-se por medir os tempos de vida total das ferramentas, sem afiação, para depois se puder fazer uma comparação de resultados e avaliar se vale a pena mudar ou não.

As medições feitas deram, dentro das mesmas referências, resultados diferentes. Tal pode explicar-se através da *Curva-padrão da Vida da ferramenta*, apresentada na bibliografia. O que acontece é que, depois de entrar no estágio 3 (figura 38), a ferramenta está de tal forma desgastada que basta existir um pouco mais de tensão aplicada sobre ela, para que exista rotura. Esta rotura pode ocorrer a qualquer momento, não sendo possível mensurar um tempo específico.

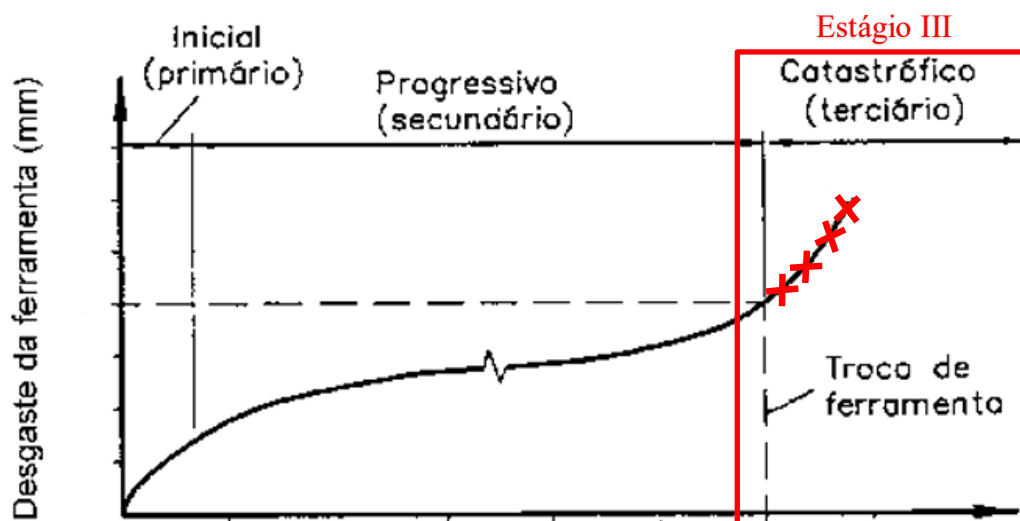


Figura 38 – Rotura imprevisível durante o estágio 3.

Como tal, os tempos considerados para efeitos de cálculo, serão a média dos obtidos.

Os tempos obtidos foram (figura 39):

- Broca de desbaste Ø24: 30906 + 28603 + 32705 + 30 738;
- Broca escalonada de acabamento 1: 5158 + 6534 + 7003 + 6605 + 5606;
- Broca de desbaste Ø18: 40054 + 27018 + 26523 + 31 198;
- Broca escalonada de acabamento 2: 8137 + 7131+ 7230 + 7914 + 7045;
- Broca escalonada de acabamento 3: 7152 + 8650 + 8726 + 8176;
- Broca escalonada de acabamento 4: 14520 + 14102 + 13001 + 12800;
- Broca escalonada de acabamento 5: 15431 + 14003 + 13560 + 12680.

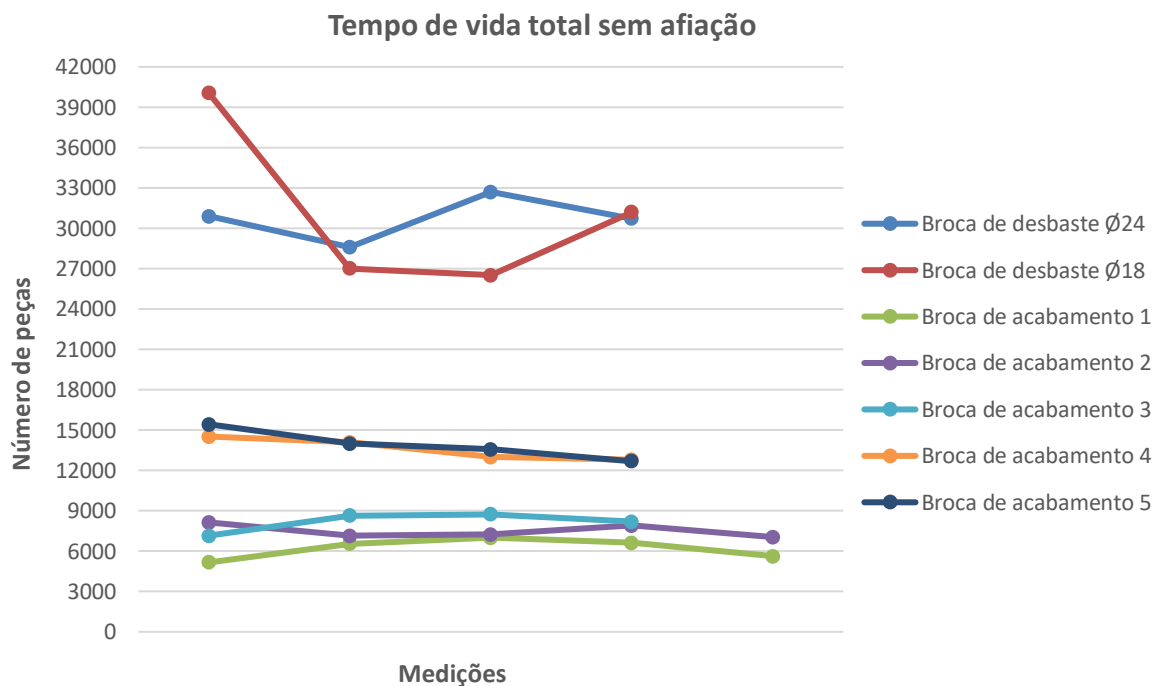


Figura 39 – Tempos de vida total obtidos.

Os tempos médios, estão representados na tabela 4.

Tabela 5 – Tempo de vida total médio

| Referência da ferramenta | Tempo de vida total médio (peças) |
|----------------------------------|--|
| Broca de desbaste Ø24 | 30 738 |
| Broca escalonada de acabamento 1 | 6 181 |
| Broca de desbaste Ø18 | 31 198 |
| Broca escalonada de acabamento 2 | 7491 |
| Broca escalonada de acabamento 3 | 8176 |
| Broca escalonada de acabamento 4 | 13606 |
| Broca escalonada de acabamento 5 | 13918 |

5.3.2. Problema do desgaste de flanco (Vb)

Depois de encontrados os tempos de vida total médios, sem afiamento, procedeu-se à definição do tempo de vida útil através da análise de dois parâmetros: norma ISO 3685:1993 e condições ótimas para afiamento.

Observando os resultados obtidos nas próximas subsecções, pode concluir-se que, os valores exatos da norma não foram seguidos. Isto aconteceu, pois, a norma é geral e na GROHE existe uma situação específica. Como tal, existiu um balanço entre os valores do desgaste de flanco (ISO 3685:1993) e a verificação das condições ótimas para afiamento. Estas condições foram sempre analisadas com o suporte/experiência dos ferramenteiros e fornecedores da GROHE.

5.3.2.1. Metodologia de recolha de dados

Quanto à metodologia utilizada na recolha de dados do valor de Vb, passou por ter 2 conjuntos iguais das 7 ferramentas. Estes 2 conjuntos (figura 40), previamente medidos e colocados no suporte adequado, intercalaram na máquina.



Figura 40 – Os dois conjuntos utilizados no teste.

As ferramentas foram identificadas com um 1 e um 2, respetivamente conjunto 1 e conjunto 2. A identificação foi feita através de uma caneta de gravar no metal (figura 41).

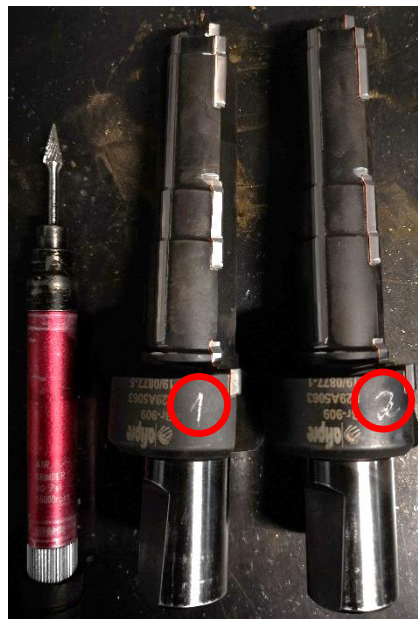


Figura 41 – Caneta de gravar no metal (à esquerda); Ferramentas já gravadas (à direita).

O fluxo das ferramentas foi o seguinte:

- Entra o conjunto 1 na máquina, opera durante um intervalo de [1500;2500] peças e é trocado pelo conjunto 2 que opera durante um intervalo semelhante;

-
- O conjunto 1, retirado da máquina, é levado para a ferramentaria e o desgaste de flanco é medido na Zoller;
 - O tempo de troca estimado, das ferramentas pelos afinadores, é entre 15 a 20 minutos.

A vantagem de utilizar dois conjuntos é que, por um lado, são realizados dois testes, obtendo-se assim resultados mais fiáveis do que se fosse apenas com um; e por outro lado, a máquina está menos tempo parada, uma vez que as medições das 7 ferramentas na Zoller, levam cerca de 60 a 90 minutos, o que daria um tempo de troca máximo final de 110 minutos (20 utilizados pelo afinador para retirar as ferramentas e voltar a colocar de novo, mais 90 do tempo gasto a efetuar a medição).

5.3.2.2. Análise das brocas escalonadas de acabamento

Os valores obtidos, no desgaste de flanco, para cada uma das arestas de corte varia consideravelmente, uma vez que a quantidade de material que cada uma das arestas está encarregue de retirar, é diferente. Como tal, devem ser identificadas as arestas críticas e definido o tempo de vida útil nas mesmas.

Fatores para a definição do tempo de vida útil:

- norma ISO 3685. Recordando, devemos ter um desgaste máximo, para ferramentas de acabamento, de:

$$Vb(\text{máx teórico}) = 0.25 \text{ mm}$$

- condições ótimas para afiamento. Analisar as ferramentas, do conjunto 1 e do conjunto 2, juntamente com o fornecedor e o ferramenteiro e indicar se a ferramenta está em condições de ser afiada. Esta análise deve verificar a existência, ou não, dos seguintes fatores de rejeição, que não permitem o afiamento:
 - existência excessiva de cratera na aresta de corte;
 - existência de deformação plástica;
 - existência de quebras e fissuras;
 - existência de apara aderente.

Broca escalonada de acabamento 1 (manípulo):

A broca de acabamento 1, subdivide-se em 8 escalonamentos e, como tal, 8 arestas de corte (figura 42).

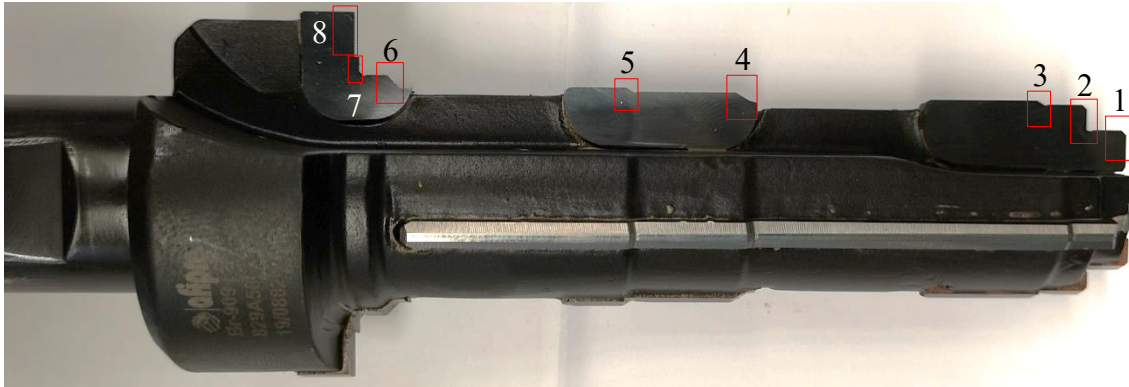


Figura 42 – Arestas de corte da broca de acabamento 1.

As arestas críticas desta ferramenta são: 2, 7 e 8. As medições obtidas estão no anexo B, com as arestas críticas, identificadas a vermelho.

Através da análise do gráfico da figura 43, definiu-se um tempo de vida útil de 5000 peças.

$$Vb_8 = Vb_{(m\acute{a}x\ pr\acute{a}tico)} \approx 0,272\ mm$$

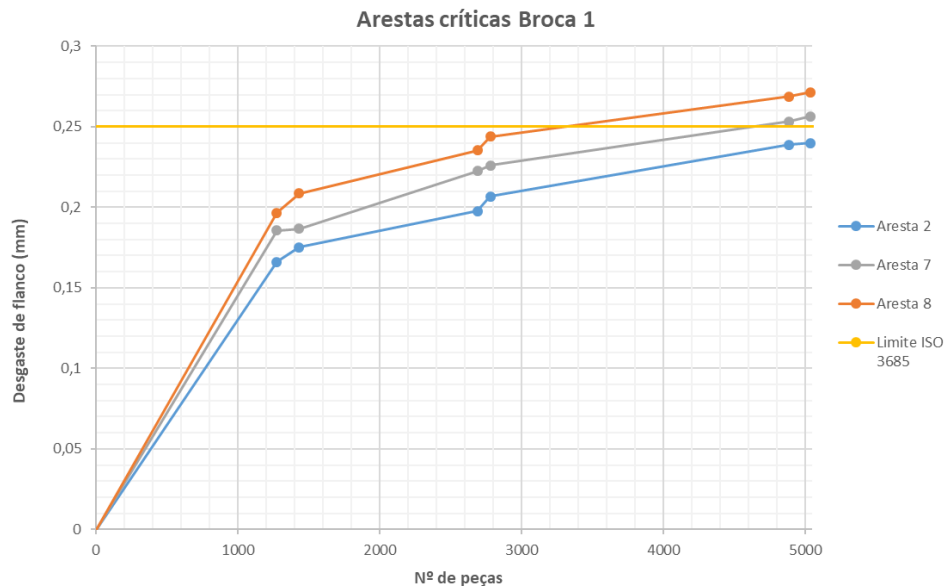


Figura 43 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de acabamento 5 (cruzamento de dados dos dois conjuntos-teste).

Broca escalonada de acabamento 2 (regulação da temperatura):

A broca de acabamento 2, subdivide-se em 8 escalonamentos e, como tal, 8 arestas de corte (figura 44).

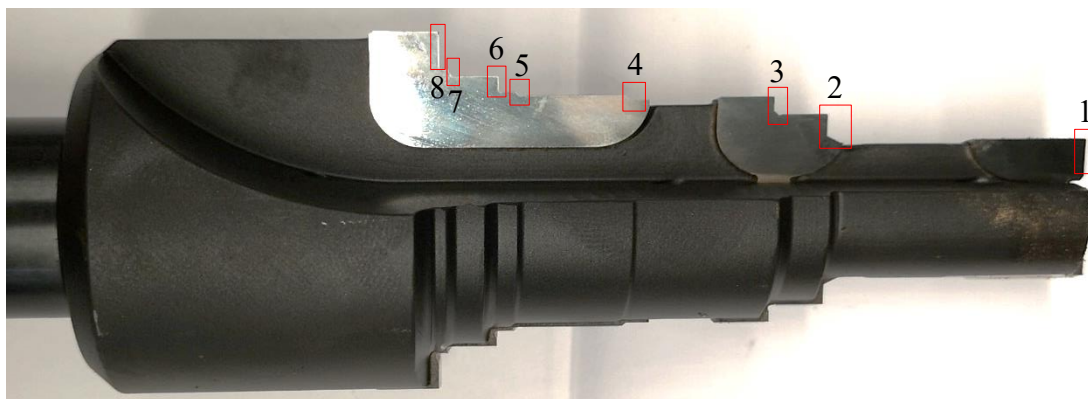


Figura 44 – Arestas de corte da broca de acabamento 2.

As arestas críticas desta ferramenta são: 2, 6 e 8. As medições obtidas estão no anexo B, com as arestas críticas, identificadas a vermelho.

Através da análise do gráfico da figura 45, definiu-se um tempo de vida útil de 6500 peças.

$$Vb_6 = Vb_{(m\acute{a}x\ pr\acute{a}tico)} \approx 0,259\ mm$$



Figura 45 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de acabamento 5 (cruzamento de dados dos dois conjuntos-teste).

Broca escalonada de acabamento 3 (entradas de água):

A broca de acabamento 3, subdivide-se em 4 escalonamentos e um buril. O buril é uma aresta de corte amovível da ferramenta. No total são 5 arestas de corte (figura 46).

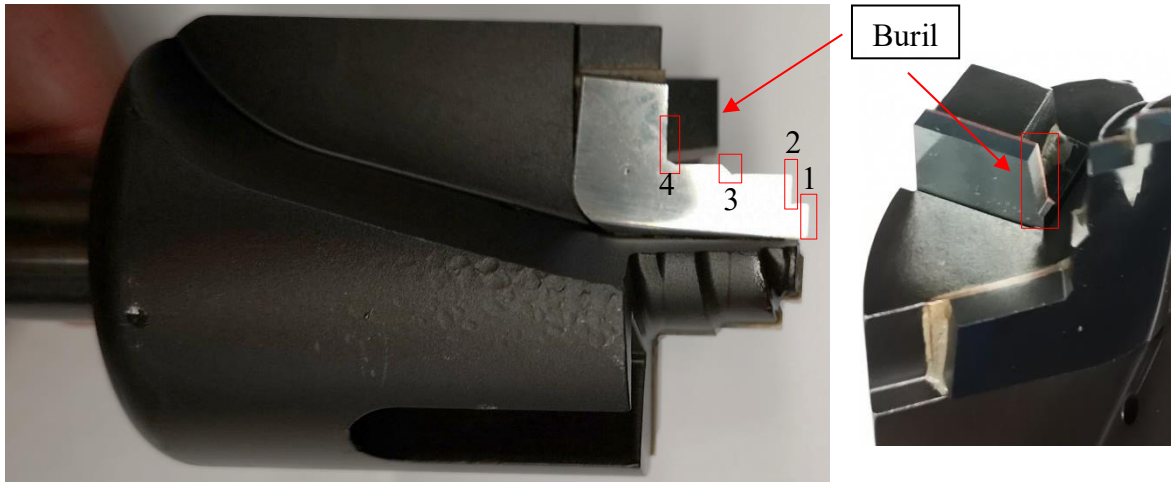


Figura 46 – Arestas de corte da broca de acabamento 3.

As arestas críticas desta ferramenta são: 2 e 4. As medições obtidas estão no anexo B, com as arestas críticas, identificadas a vermelho.

Através da análise do gráfico da figura 47, definiu-se um tempo de vida útil de 6500 peças.

$$Vb_4 = Vb_{(m\acute{a}x\ pr\acute{a}tico)} \approx 0,271\ mm$$



Figura 47 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de acabamento 5 (cruzamento de dados dos dois conjuntos-teste).

Brocas escalonadas de acabamento 4 (saída da bica) e 5 (saída do chuveiro):

As brocas de acabamento 4 e 5, subdividem-se em 5 escalonamentos. Estas duas serão estudadas em conjunto, pois, o seu desgaste, geometria e furo realizado são praticamente iguais (figuras 48 e 49). A principal diferença reside na aresta de corte nº 1. A broca de acabamento 4, apresenta um ângulo raso, pois existe um furo pré-feito ao maquinar a saída da bica, enquanto que a broca de acabamento 5, tem um ângulo de ponta “autocentrante” para executar uma furação direta e precisa, uma vez que, a peça não tem furo prévio na saída do chuveiro.

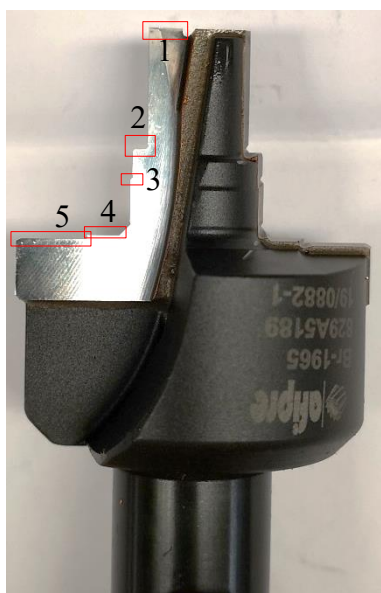


Figura 48 – Arestas de corte da broca de acabamento 4.



Figura 49 – Aresta de corte da broca de acabamento 5.

As arestas críticas destas ferramentas são: 2 e 5. As medições obtidas estão no anexo B, com as arestas críticas, identificadas a vermelho.

Através da análise dos gráficos das figuras 50 e 51, definiu-se um tempo de vida útil de 9000 peças.

$$\text{Broca 4} \rightarrow Vb_8 = Vb_{(\text{máx prático})} \approx 0,268 \text{ mm}$$

$$\text{Broca 5} \rightarrow Vb_8 = Vb_{(\text{máx prático})} \approx 0,271 \text{ mm}$$

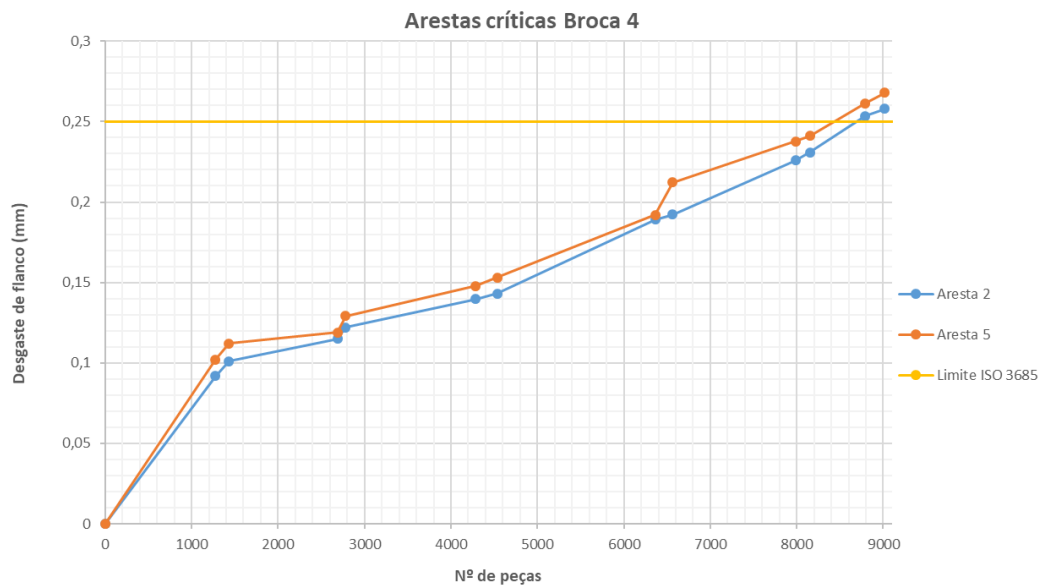


Figura 50 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de acabamento 4 (cruzamento de dados dos dois conjuntos-teste).

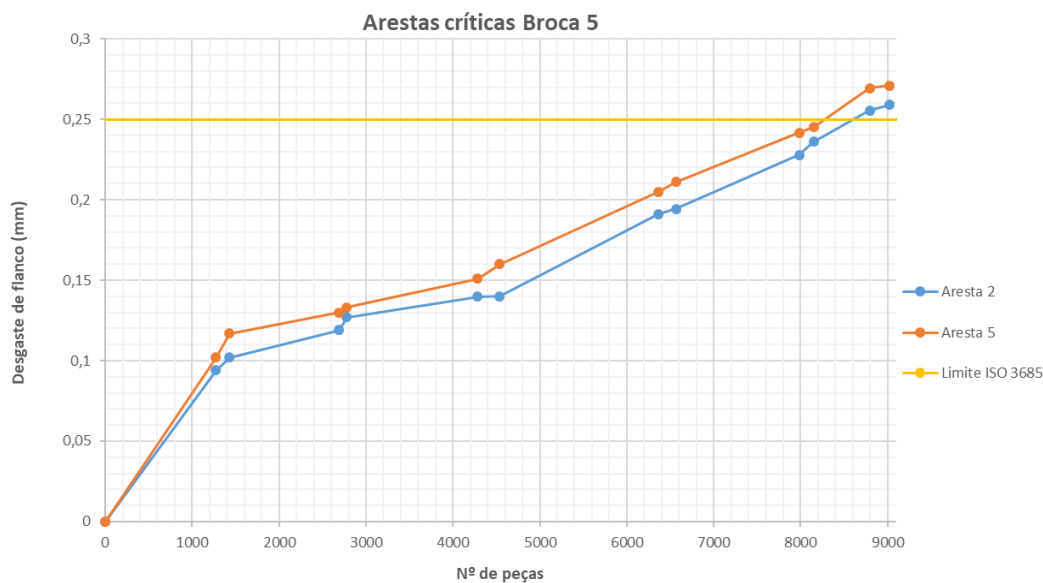


Figura 51 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de acabamento 5 (cruzamento de dados dos dois conjuntos-teste).

Justificação para a definição do tempo de vida útil das ferramentas de acabamento 1, 2, 3, 4 e 5:

1. norma ISO 3685: Os valores práticos obtidos, ultrapassam, em alguns casos, o valor da norma ISO, no entanto, analisando o desenho da peça (propriedade da GROHE), observa-se que as tolerâncias são de 0,1

milímetros e como tal, podemos deixar a ferramenta sofrer mais algum desgaste do que aquele que nos é indicado.

- A qualidade do acabamento (superfície) continua boa;
- Apenas foi excedido em algumas centésimas de milímetro o valor da norma, como tal, a probabilidade de rotura da pastilha é muito reduzida.

2. condições ótimas para afiamento: Através de análise ótica, foi decidido que estas ferramentas estavam no ponto ideal para serem afiadas, uma vez que, não existia nenhum dos fatores de rejeição.

- Tentou-se ainda alongar a vida útil das ferramentas e mediu-se quando estas tinham mais 1000 peças que o limite estabelecido, no entanto, os resultados obtidos não foram animadores, uma vez que, para além do desgaste de flanco, existia já formação de cratera (figura 52) e deformação plástica (figura 53), nas arestas críticas.

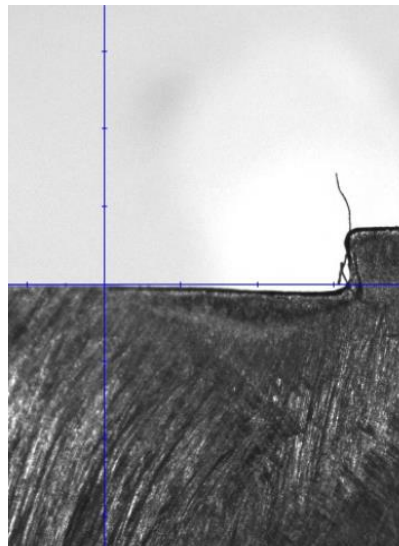


Figura 52 – Cratera excessiva (aresta 5 – broca de acabamento 5).

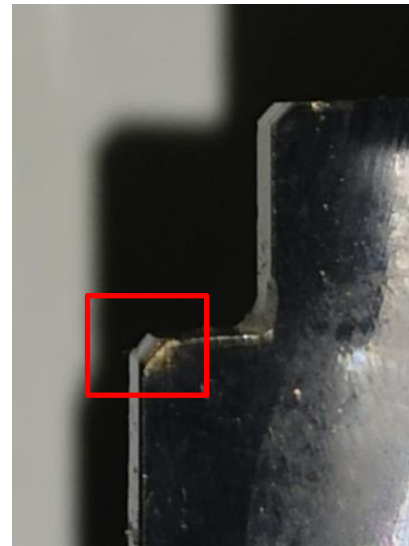


Figura 53 – Deformação plástica (aresta 2 – broca de acabamento 1).

5.3.2.3. Análise das brocas de desbaste

No caso das ferramentas de desbaste, só existe um valor no desgaste de flanco, pois, não existem escalonamentos. Como tal, o valor que der no desgaste dessa aresta é o utilizado para definir o tempo de vida útil das ferramentas.

Fatores para a definição do tempo de vida útil:

- Norma ISO 3685. Recordando, devemos ter um desgaste máximo, para ferramentas de desbaste, de:

$$Vb(\text{máx teórico}) = 0,5 \text{ mm}$$

- Condições ótimas para afiamento. Será o mesmo procedimento que se utilizou para as brocas de acabamento.

Brocas de desbaste Ø18 e Ø24:

Estas duas brocas serão estudadas em conjunto. Ambas têm a particularidade de durarem muito mais tempo que as brocas de acabamento, pois, o material que estão responsáveis por remover, da peça, é muito reduzido, quando comparado.

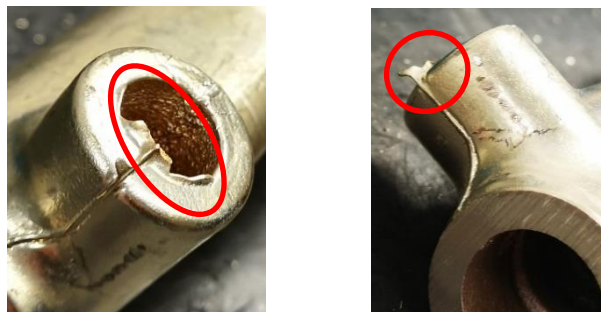


Figura 54 – Rebarba nos furos provenientes da fundição.

Outra situação que acontece é que, como se tratam de brocas de desbaste e o produto maquinado são peças, em latão fundido, que podem vir com mais ou menos rebarba (figura 54), torna-se difícil precisar o tempo de vida que estas podem ter.

Não obstante, com base nos dois experimentos efetuados e seguindo a metodologia, obtiveram-se os valores apresentados no anexo B.

Através da análise dos gráficos das figuras 55 e 56, definiu-se um tempo de vida útil de 20000 peças para ambas as brocas.

$$Vb_{(\text{máx prático } \varnothing 18)} \approx 0,532 \text{ mm}$$

$$Vb_{(\text{máx prático } \varnothing 24)} \approx 0,554 \text{ mm}$$

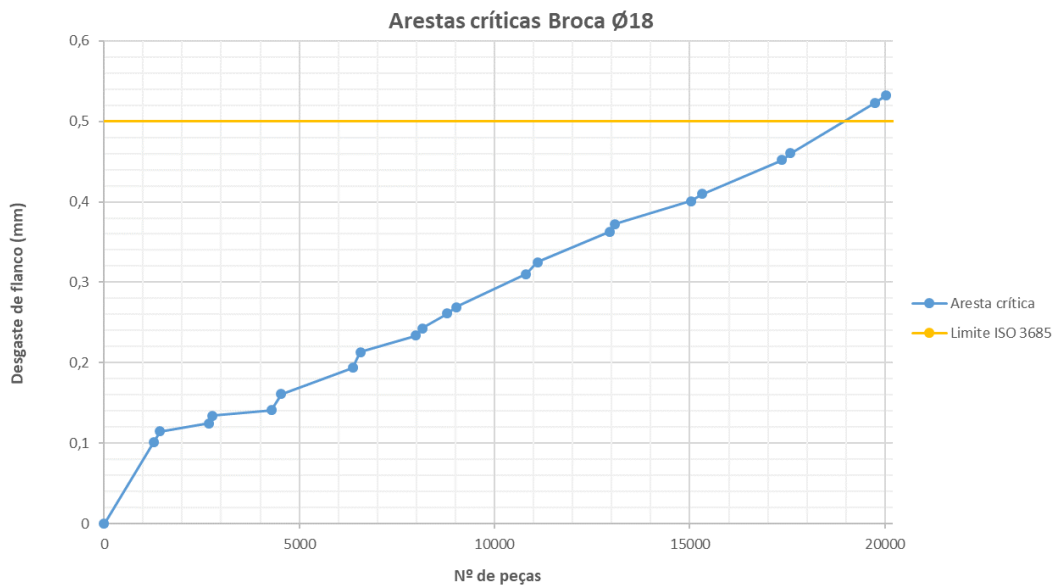


Figura 55 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de desbaste Ø18

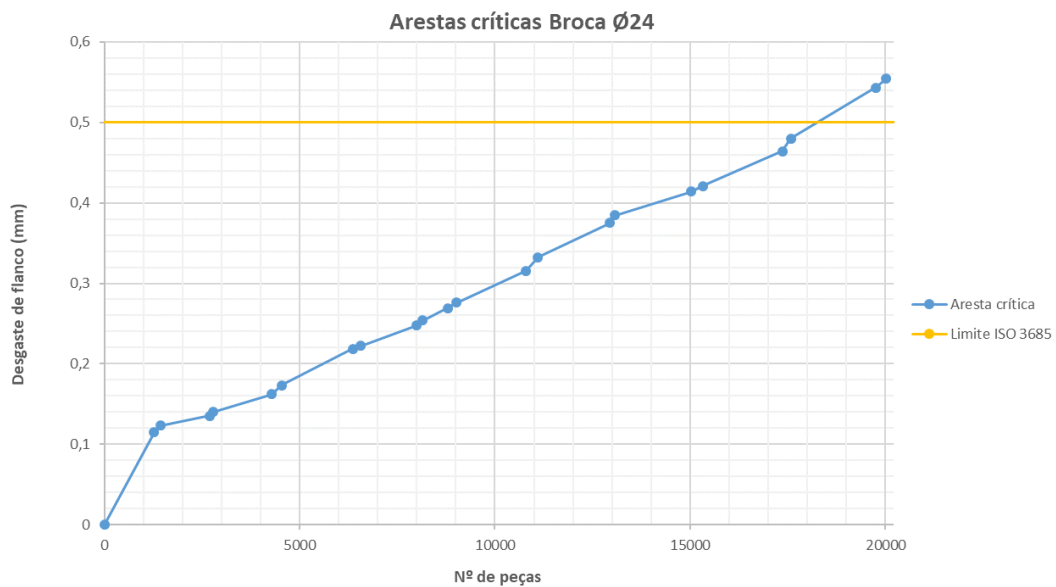


Figura 56 – Desgaste de flanco nas arestas críticas da broca de desbaste Ø24

Justificação:

- Norma ISO 3685. Os valores práticos obtidos, ultrapassaram o valor da norma ISO, no entanto, a probabilidade de rotura da ferramenta ainda é reduzida, como tal, optou-se por deixar a ferramenta sofrer mais algum desgaste do que aquele que nos é indicado, diminuindo assim o custo [€/tool/peça].

- Condições ótimas para afiamento. Através de análise ótica, foi decidido que estas ferramentas estavam no ponto ideal para serem afiadas, uma vez que, não existia nenhum dos fatores de rejeição.

5.3.3. Análise de resultados

Para as ferramentas de acabamento, o que se observou é que o afiamento só é possível uma vez, sendo que depois deixa de existir espaço suficiente para o afiamento na pastilha e esta tem de ser trocada por uma nova, aproveitando-se apenas o corpo em aço. (figura 57).

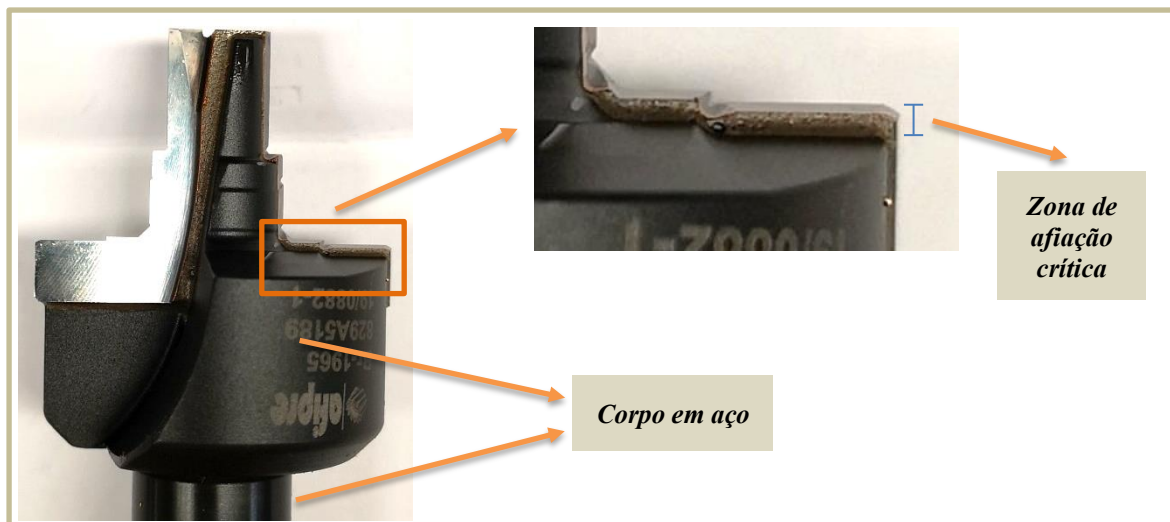


Figura 57 – Zona de afiação principal – Acabamento.

Nas ferramentas de desbaste, que são de HM integral, o que se observou é que podem ser afiadas várias vezes até que fiquem sem comprimento suficiente para fazer a profundidade requerida durante o furo. Neste caso, o número de afiações possíveis está diretamente relacionado com a quantidade de material que, os fornecedores, retiram durante a afiação das arestas de corte (Figura 58).



Figura 58 – Zona de afiação principal – Desbaste.

Este material, está diretamente relacionado com a rebarba (figura 55), que falámos no ponto anterior, o que torna difícil precisar o número de afiações que esta pode aguentar antes de ser descartada. No entanto, com base nos experimentos, estimou-se que podem ser afiadas 1 a 2 vezes, sendo o valor 2 o dominante.

A tabela 6, faz um resumo dos tempos de vida e o número de afiações possíveis para cada ferramenta.

Tabela 6 – Tempo de vida total vs tempo de vida útil (unidade de medida: peças).

| Referência da ferramenta | Situação sem afiamentos | Situação com afiamentos | | |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| | Tempo de vida total | Tempo de vida útil | Nº de afiações possíveis | Tempo de vida Total |
| Broca de desbaste Ø24 | 30 738 | 20000 | 1 ou 2 | 60 000 |
| Broca escalonada de acabamento 1 | 6 181 | 5000 | 1 | 10 000 |
| Broca de desbaste Ø18 | 31 198 | 20000 | 1 ou 2 | 60 000 |
| Broca escalonada de acabamento 2 | 7 491 | 6500 | 1 | 13 000 |
| Broca escalonada de acabamento 3 | 8 176 | 7000 | 1 | 14 000 |
| Broca escalonada de acabamento 4 | 13 606 | 9000 | 1 | 18 000 |
| Broca escalonada de acabamento 5 | 13 918 | 9000 | 1 | 18 000 |

Sabendo o número de afiações possíveis, os tempos de vida e os preços de cada serviço (tabela 3), procedeu-se ao cálculo do custo de ferramenta por peça [€tool/peça].

Para efetuar este cálculo, fez-se o consumo específico de ferramentas para a situação sem afiamentos (sem controlo do tempo de vida) e para a situação com afiamentos (com controlo do tempo de vida).

O que acontece é que, por um lado, na situação sem controlo do tempo de vida, as ferramentas saem danificadas, não sendo possível saber se vão ser reparadas ou substituídas por novas. Isto implica um intervalo de valores com um limite inferior (custos menores) e um limite superior (custos maiores), respetivamente.

Por outro lado, na situação com controlo do tempo de vida, as ferramentas de acabamento reparadas, cumprem o tempo de vida útil estipulado. Posteriormente, são afiadas, voltando a cumprir o tempo de vida útil, são reparadas novamente e assim sucessivamente, cumprindo-se sempre um ciclo de uma afiação, seguida de uma reparação.

Nas ferramentas de desgaste o ciclo é o seguinte: compra-se uma nova, cumpre o seu tempo de vida útil, afia-se duas vezes e só depois se tem a necessidade de comprar outra nova.

No anexo C, temos um exemplo do fluxo explicado nos parágrafos anteriores, para as ferramentas de acabamento. Este exemplo foi feito recorrendo a valores reais para a Broca de acabamento 2.

Por fim, nas tabelas das figuras 59 e 60, estão os consumos específicos e anuais, com e sem controlo de vida. Os consumos específicos são calculados tal como no capítulo 5.2.2., em que se estima que a quantidade de peças produzidas anualmente é de 433 234 peças (equação 4).

| | Sem controlo de vida | | Com controlo de vida | |
|-----------------------|----------------------|---------------|----------------------------------|-----------------------------|
| | Consumo específico | Consumo anual | Consumo específico 2 afiações | Consumo anual 2 afiações |
| Broca de desgaste Ø18 | 0,00378 € | 1 638,62 € | 0,00230 € | 996,44 € |
| Broca de desgaste Ø24 | 0,00521 € | 2 255,11 € | 0,00307 € | 1 328,58 € |

Figura 59 – Consumo específico e anual das ferramentas de desgaste.

| | Sem controlo de vida | | | | Com controlo de vida | |
|-----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|---------------|
| | Consumo específico | | Consumo anual | | Consumo específico | Consumo anual |
| | Limite inferior | Limite superior | Limite inferior | Limite superior | | |
| Broca de acabamento 1 | 0,02135 € | 0,03056 € | 9 247,56 € | 13 240,82 € | 0,01960 € | 8 491,39 € |
| Broca de acabamento 2 | 0,01535 € | 0,02049 € | 6 650,90 € | 8 877,51 € | 0,01269 € | 5 498,74 € |
| Broca de acabamento 3 | 0,01101 € | 0,01676 € | 4 768,97 € | 7 259,42 € | 0,01015 € | 4 398,99 € |
| Broca de acabamento 4 | 0,00632 € | 0,00911 € | 2 738,36 € | 3 948,33 € | 0,00584 € | 2 531,00 € |
| Broca de acabamento 5 | 0,00604 € | 0,00873 € | 2 614,72 € | 3 780,46 € | 0,00574 € | 2 485,40 € |

Figura 60 – Consumo específico e anual das ferramentas de acabamento.

Como se pode observar, com o controlo de vida das ferramentas, conseguem-se grandes reduções de custos no consumo específico, o que se reflete no consumo anual. Estas reduções de custos anuais, ou *savings* anuais, não são exatas e seguem um intervalo com limite inferior e superior, tal como explicado anteriormente. Os mesmos, estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Savings anuais.

| | Savings anuais € | | Savings anuais % | |
|-----------------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|--------|
| Broca de desgaste Ø18 | 642,18 € | | 39,19% | |
| Broca de desgaste Ø24 | 926,52 € | | 41,09% | |
| | Savings anuais € [Intervalo] | | Savings anuais % [Intervalo] | |
| Broca de acabamento 1 | 756,17 € | 4 749,43 € | 8,18% | 35,87% |
| Broca de acabamento 2 | 1 152,16 € | 3 378,77 € | 17,32% | 38,06% |
| Broca de acabamento 3 | 369,97 € | 2 860,43 € | 7,76% | 39,40% |
| Broca de acabamento 4 | 207,36 € | 1 417,33 € | 7,57% | 35,90% |
| Broca de acabamento 5 | 129,32 € | 1 295,06 € | 4,95% | 34,26% |

5.3.4. Algoritmo

Após ser efetuada a definição dos tempos de vida útil das ferramentas (ponto 5.3.2.), foi desenvolvido um algoritmo que permite obter os dados necessários para a análise de resultados (5.3.3).

Este algoritmo (código *rapid* no anexo A), permite saber de maneira fácil e rápida quando trocar uma ferramenta e ainda, se quando estamos a trocar essa ferramenta existe outra que esteja quase a acabar a sua vida útil. Existindo esta possibilidade e uma vez que a máquina já está parada, trocar também a que já está quase a acabar.

Para além da polivalência mencionada acima, este código possibilita também que, quando o robô deteta que está mais tempo parado do que o normal do seu tempo de ciclo, ou seja, é uma situação de provável troca de ferramenta por rotura/falha (em que os contadores não podem atuar automaticamente), emite um alerta para o Flexpendant (figura 61), permitindo assim a troca da(s) ferramenta(s) no programa e colocando os contadores a zero.



Figura 61 – Flexpendant, interface Homem-Máquina ABB (2019).

O algoritmo foi feito e pensado para esta situação específica em que a máquina trabalha em contínuo, com o mesmo produto (*RainShower*) e, por conseguinte, as mesmas ferramentas, não existindo assim mudanças de *setup*, como é expectável em outras máquinas do departamento. O algoritmo foi implementado no código do robô.

5.3.4.1. Instrução de trabalho para o algoritmo – Interface Homem-Máquina

Recapitulando, a interface Homem-Máquina, é feita com recurso ao *FlexPendant*. Existem 3 situações diferentes que levam à troca das ferramentas.

Na situação 1, o que acontece é: (figura 62)

- Se o robô está parado mais tempo que o normal (tempo de espera que vai desde que a porta fecha até que abre novamente e o robô alimenta com nova peça), é emitida a janela 1 no *Flexpendant*;
- Aqui o afinador/operador tem duas opções, ou coloca “No/continuar Programa” (paragem não relacionada com troca de ferramentas) e a máquina e robot e seguem o seu percurso normal, ou seleciona “Yes” e entra na janela 2;
- Na janela 2, seleciona a qual dos furos pertence a ferramenta, existindo 5 botões (1 para cada furo): “Manípulo”, “Reg.Temp.”, “Entradas Água”, “Bica” e “Chuveiro”. Depois de selecionado o furo, entra numa janela semelhante para todos (janela 3 – exemplo para os manípulos), em que selecionamos a ferramenta que queremos substituir ou, caso nos tenhamos enganado no furo, podemos voltar atrás.

- Depois disto, o contador da ferramenta selecionada é zerado e como o operador pode querer trocar outra ferramenta, volta a surgir a primeira janela da interface até que seja selecionado o botão “No/Continuar programa”.

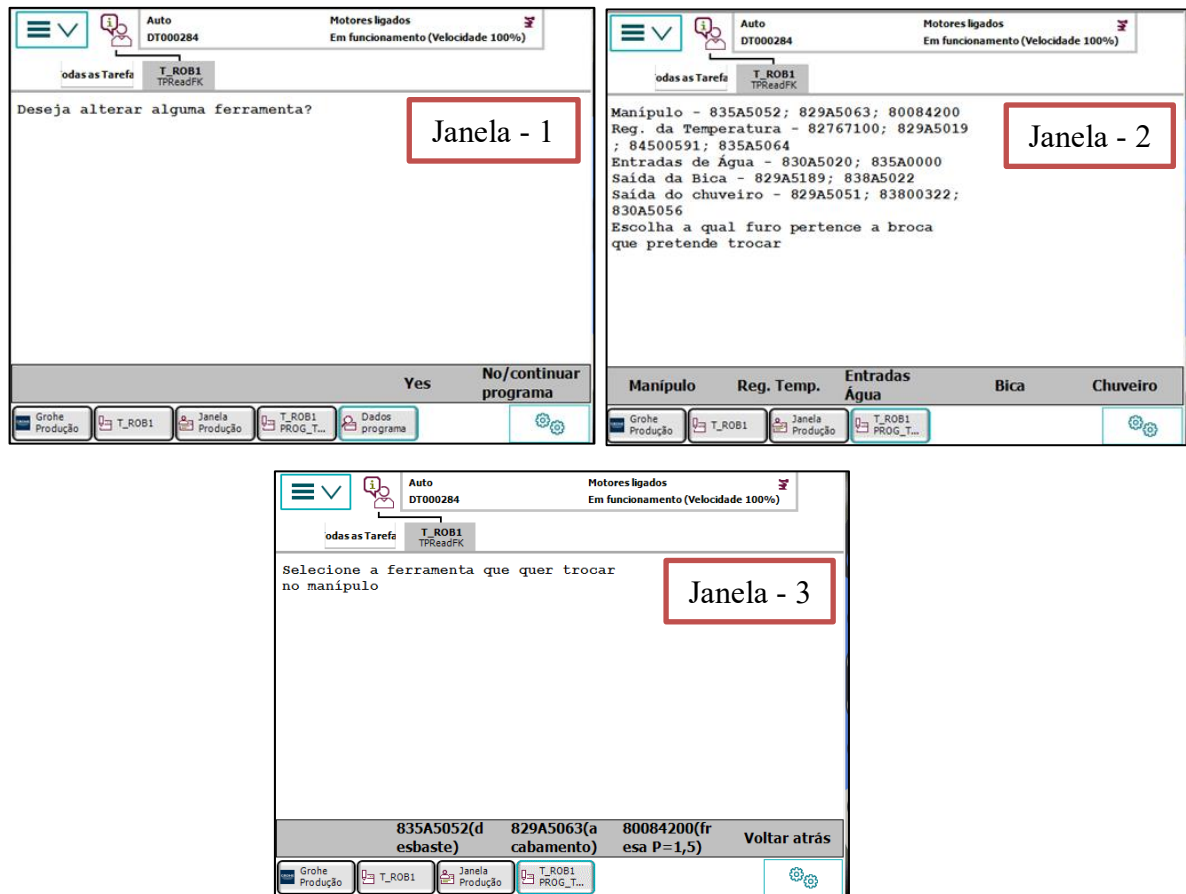


Figura 62 – Interface Homem-Máquina para a primeira situação.

Na situação 2, o que acontece é: (figura 63)

- Se o contador do algoritmo para uma determinada ferramenta atinge o limite, é emitida a janela 1 no *Flexpendant*. Nesta situação a ferramenta tem de ser trocada pelo afinador e o contador é zerado, iniciando assim a contagem para a nova ferramenta.
- Outra situação que ocorre paralelamente (situação 2a) é o algoritmo ir verificar os contadores de todas as outras ferramentas e caso exista uma que esteja a chegar ao limite (<50 peças), emite um alerta para o afinador (janela2), sendo que este pode optar por trocar já a ferramenta e poupar

tempo que seria gasto em futuras paragens, ou deixar a ferramenta continuar.

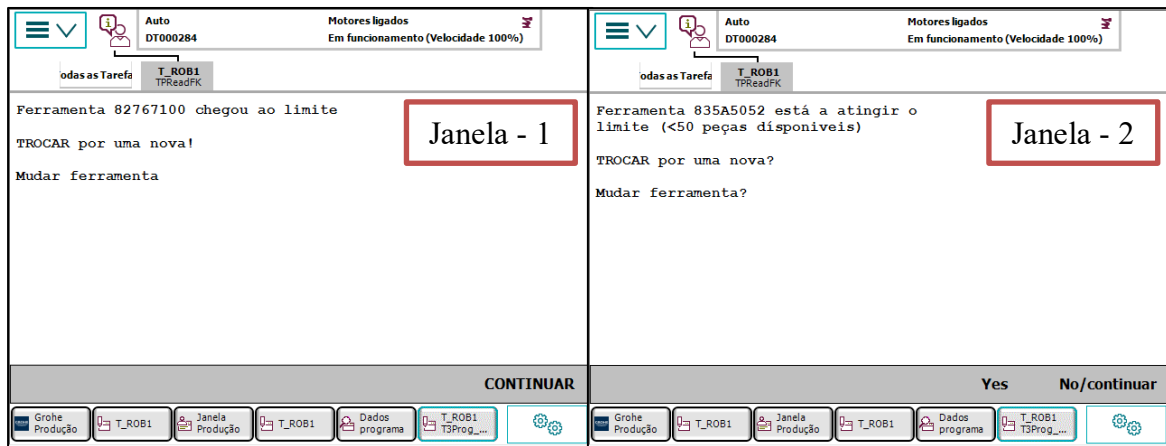


Figura 63 – Interface Homem-Máquina para a segunda situação.

Para todas as situações:

- Paralelamente às situações 1, 2 e 2a em que existe a troca de uma ferramenta, o algoritmo faz conexão exterior e envia para um ficheiro de texto, numa *pen* USB inserida no *Flexpendant*, o registo mostrado na figura 64.
- Este registo permite saber o dia e hora em que a ferramenta foi trocada, a referência da ferramenta, o nº de peças produzidas, a situação que a levou a ser trocada e por último, o tempo que demorou a ser trocada.
- O registo pode depois ser inserido no Excel para tratamento estatístico dos tempos de paragem, causas da troca da ferramenta, etc.

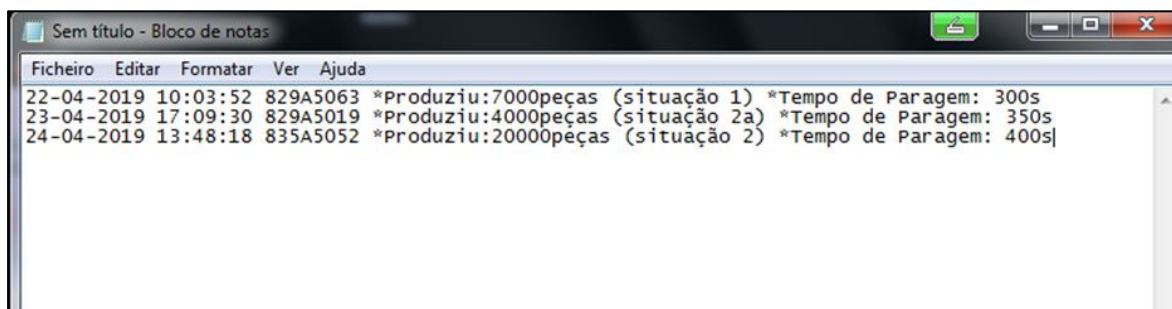


Figura 64 – Registo de atividades (trocas de ferramentas).

5.4. Normalizar e padronizar

No ponto 5.3, provámos que as ferramentas não devem ser levadas ao limite devendo, neste caso, ser feita uma (acabamento) ou duas (desbaste) afiações durante a sua vida total. No entanto, juntamente com a definição do tempo de vida útil, surge a necessidade de controlar o número de peças em tempo real que cada ferramenta já fez, para trocar por outra e enviar para o fornecedor.

Na GROHE, este controlo é de elevada dificuldade dada a existência de centenas de ferramentas e a flexibilidade que a produção exige. A produção dos diferentes produtos, não é contínua, como no *Rainshower*, estando dependente da procura, como tal estão constantemente a ser preparados novos *setups* de ferramentas para entrar nas máquinas.

Por isto mesmo, o algoritmo para o robô, apresentado anteriormente, está limitado a situações em que a produção seja contínua. Para alargar esta pesquisa a todos os outros produtos faz-se então uma sugestão para o futuro do departamento de maquinaria na parte das ferramentas de corte. Seguindo o ciclo do PDCA, entramos agora na fase do “*ACT*”, onde devemos treinar e padronizar as melhorias. A abordagem proposta, foi pensada de forma a implementar a *Internet of Things* na GROHE.

5.4.1. Novo processo para as ferramentas de corte

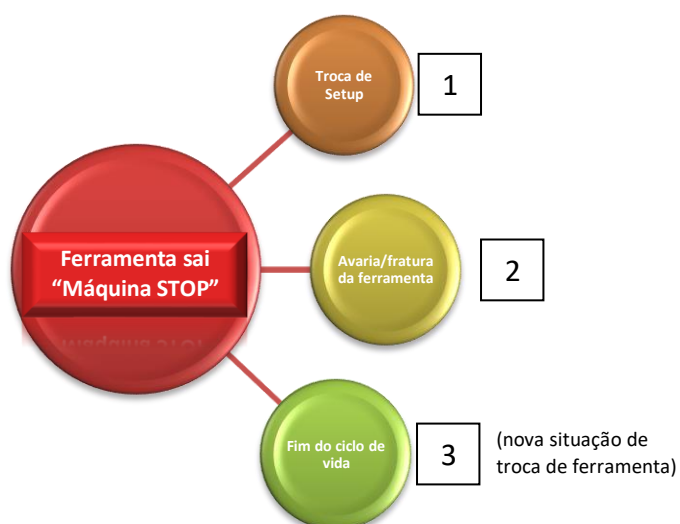


Figura 65 – Novo caso para a saída das ferramentas nas máquinas.

O atual fluxograma das ferramentas, figura 22 (apresentada no capítulo 3, ponto 3), responde às necessidades do momento, no entanto, como já foi dito, isto irá mudar com a introdução do tempo de vida útil das ferramentas. A mudança é a que está representada nas

figuras 65 e 66. Com a introdução deste novo fluxo é necessário abordar a gestão das ferramentas de maneira diferente.

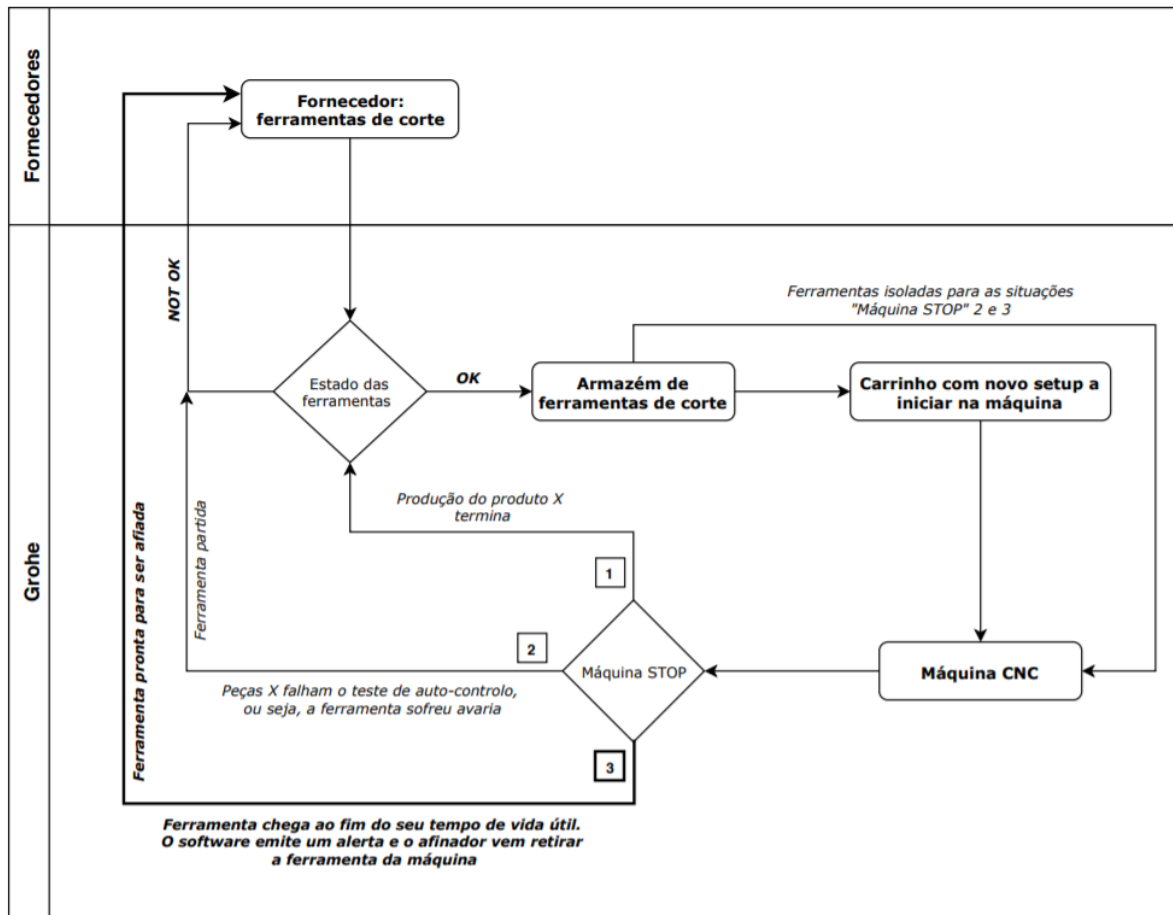


Figura 66 – Novo Fluxograma - Adição do fluxo 3 (seta a negrito).

Em primeiro lugar, sugere-se a introdução uma política de gestão que permita controlar as ferramentas individualmente. O que acontece atualmente na GROHE é que as ferramentas são apenas identificadas por referência, que nos diz qual o tipo/geometria da ferramenta. No entanto, para a mesma referência, existem muitas ferramentas iguais e com este tipo de gestão, não conseguimos individualizar uma vez que não existe um ID para cada uma delas dentro da mesma referência, sendo assim impossível saber o número de peças já realizadas e que ainda podem realizar até que seja necessário a ferramenta ser afiada ou reparada.



Figura 67 – Sugestão para identificação individual das ferramentas.

Depois desta identificação individual, através de códigos de barras e números, (figura 67), existe a necessidade de gerir as referências e os ID's de cada uma delas. Por exemplo, anteriormente existia o caso 1, agora passa a existir o caso 2 (figura 68). Esta situação vai gerar um problema de gestão de dados e uma vez que existem centenas de ferramentas na GROHE, não é humanisticamente possível (com os recursos humanos que existem, para já, na GROHE) nem economicamente viável, realizar esta gestão sem recurso a um software. Atualmente não existe nenhum software na GROHE e a análise dos consumos de ferramentas de corte é feita de forma geral, para todas as ferramentas, sendo muito difícil encontrar pontos para baixar consumos e efetuar melhorias.

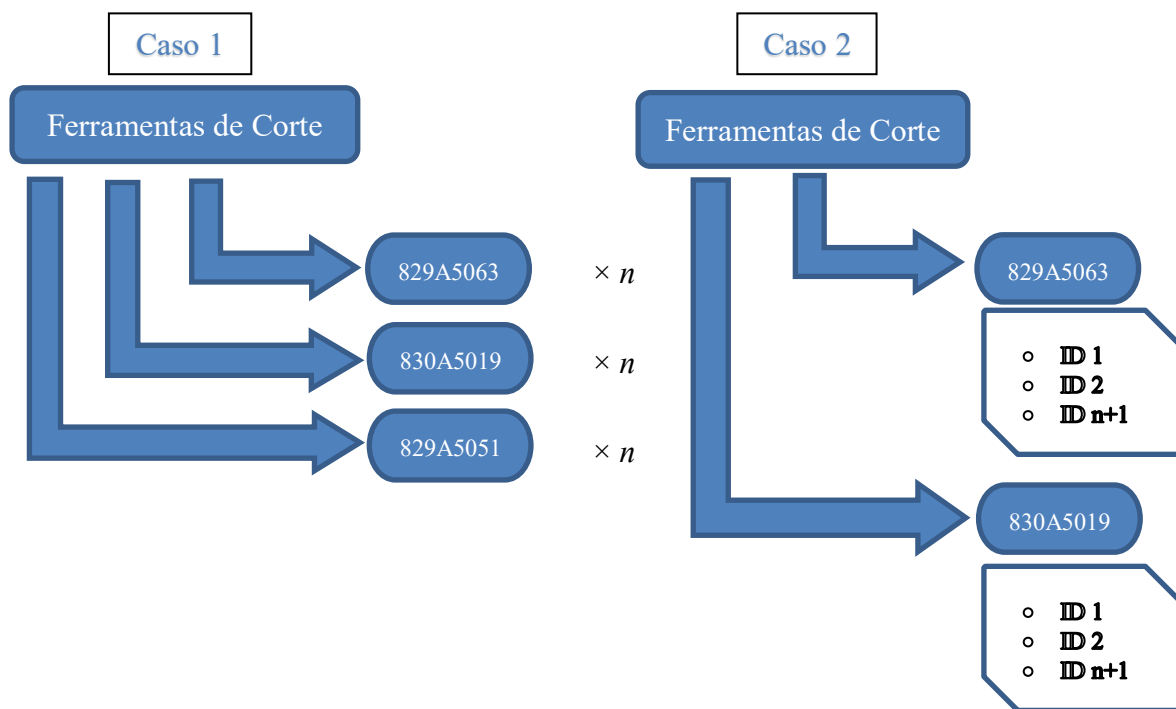


Figura 68 – Exemplo do aumento de dados para gerir.

5.4.1.1. Software de apoio - Gestão do fluxo de informação

Assim sendo, propõe-se a elaboração de um software de apoio à gestão do fluxo de informação. Este fluxo divide-se em duas categorias tendo em conta o momento em que ele é necessário:

- Informação em tempo real:
 - Tempo de vida útil restante de cada ferramenta (nº de peças feitas por ferramenta);
 - Localização das ferramentas;
 - Na empresa (na máquina, no armazém vertical ou a aguardar análise dentro da ferramentaria);
 - No fornecedor (a reparar, a afiar ou a ser produzida uma nova para substituir uma anterior que partiu);
 - Níveis de stock;
- Informação para posterior análise;
 - Análise do consumo específico de cada ferramenta;
 - Número de peças realizadas por produto e por máquina;
 - Dimensionamento dos stocks em função do histórico da procura;

Associadas à obtenção destas informações, existem imensas vantagens. Na parte do fluxo de informação em tempo real, será possível, para os afinadores, controlar o tempo de vida útil das ferramentas nas máquinas em tempo real e receber um aviso quando algum tempo de vida acaba, trocando assim a ferramenta; será possível, para os ferramenteiros, localizar facilmente as ferramentas e saber os níveis de inventário de cada uma delas, podendo proceder a ordens de encomenda atempadamente e evitando assim roturas de stock. Por outro lado, na parte do fluxo de informação para posterior análise, será mais direcionado para os gestores, permitindo-lhes analisar o consumo específico de cada ferramenta, podendo assim encontrar pontos de melhoria, como por exemplo, através da análise de custo por furo (como abordado no capítulo 5, ponto 2); e permitindo-lhes também dimensionar e otimizar os seus stocks em conluio com a disponibilidade de entrega dos fornecedores.

5.4.1.2. Fluxo de materiais e pessoas - Interface Homem-Máquina

Este novo software e introdução do tempo de vida útil, obrigarão a uma mudança do atual fluxo de materiais (ferramentas de corte) e pessoas, no *shop-floor*, para desta forma rentabilizar ao máximo o investimento feito. Atualmente, com a carência de informação que existe, as ferramentas são trocadas, por afinadores, apenas quando sofrem rotura ou acaba a produção de um determinado produto. As desvantagens deste processo, como já vimos, é que:

- Quando as ferramentas sofrem rotura:
 - Não é possível afiar; (*custos de reparação > afiamento*)
 - A informação não é logo recebida e são produzidas peças defeituosas (só em posterior autocontrolo à peça é que se sabe que a ferramenta não está a fazer o furo x com as cotas pretendidas); (*custos de produção de sucata*)
 - É necessário o afinador parar a tarefa que está a realizar noutra máquina, para logo de seguida ir buscar uma ferramenta ao armazém, prepará-la (medir e colocar no suporte) e só depois trocar a ferramenta (estando assim 2 máquinas paradas por falta de planeamento). (*custos associados a tempo de maquinação perdido*)
- Quando acaba a produção de um determinado produto em que a ferramenta sai em condições de voltar a ser utilizada:

- Não é possível guardar a informação de quantas peças é que aquela ferramenta já fez, uma vez que as ferramentas são desmontadas e voltam para o armazém onde são misturadas com outras da mesma referência (usadas e novas).

Olhando para todas estas desvantagens, encontraram-se melhorias passíveis de efetuar dispondo de um software que controla o tempo de vida útil.

Uma vez que este software tem contadores em tempo real do número de peças realizadas por cada uma das ferramentas, é possível, antes mesmo de a ferramenta atingir o limite, ser emitido um alerta para o ferramenteiro, que desta forma prepara a ferramenta e a leva para uma mesa de apoio situada junto da respetiva máquina poupando tempo de paragem da máquina uma vez que não é necessário estar a aguardar pela preparação da ferramenta (colocar no suporte e medir). Quando o limite de peças é atingido, o afinador recebe o alerta e caso não esteja ocupado a tratar de outra máquina, dirige-se à máquina em que a ferramenta chegou ao limite e troca-a pela nova colocada previamente, pelo ferramenteiro, na mesa de apoio. Caso esteja ocupado, continua e acaba o afinamento que está a fazer e só depois é que se dirige à máquina para trocar a ferramenta. Esta última situação é passível de realizar pois o tempo de vida útil vai ser definido, no entanto, existe sempre um intervalo de peças que a ferramenta ainda pode fazer. Tomemos como exemplo uma situação em que o afinador ainda tem 1 hora de afinamento para fazer numa máquina X e como tal, só passado 1 hora é que vai trocar a ferramenta na máquina Y. O tempo de ciclo para as peças é em média 50 segundos, como tal, numa hora são produzidas 72 peças (3600/50segundos). Os tempos de vida útil das ferramentas estarão sempre na casa dos milhares de peças/ferramenta como vimos no capítulo 5, ponto 3. Assim sendo, estas 72 peças não farão muita diferença no desgaste/degradação da ferramenta quando comparado com o custo de uma máquina estar parada.

No entanto, para as melhorias acima mencionadas serem concretizáveis, é necessária a implementação de algumas tecnologias e objetos que darão suporte.

Primariamente, sugere-se a colocação de um terminal de computador junto da zona dos armazéns com um leitor de códigos de barras para que na preparação de um setup ou preparação de uma ferramenta isolada, seja fácil, para os ferramenteiros, dar baixa das ferramentas no software (parte dos stocks). Paralelamente a isto sugere-se dar aos afinadores um terminal portátil com leitor de código de barras, como o que é sugerido, na figura 69,

para registar no software que aquelas ferramentas entraram na máquina “X”, para fazer o produto “Y” e iniciando assim rapidamente a contagem do número de peças e controlo do tempo de vida útil de cada ferramenta, evitando registos manuais e morosos no software por parte do afinador (figura 70). *(redução de custos através da redução do tempo de registo e de paragem de máquina)*



Figura 69 – Terminal PDA Portátil - Leitor de códigos de barras (Atonportugal, 2019).



Figura 70 – Exemplo da interface pretendida (máquina e produto, depois de preencher uma vez, é igual para todos).

Em segundo lugar, sugere-se a ligação do software aos contadores da máquina, ou caso não seja possível, a ligação do software a um sensor de movimento colocado nas mesas (de abastecimento) das máquinas (figura 71). Na produção, é feito o abastecimento à máquina de um lado (mesa 1), enquanto do outro está a existir maquinação (mesa 2). Quando esta maquinação termina, a mesa roda. Ao rodar 180°, e uma vez que o abastecimento de peças é sempre igual, o sensor colocado na mesa é ativado e é possível contar o número de peças realizadas somando o número de peças que cada mesa leva ao número atual do contador.

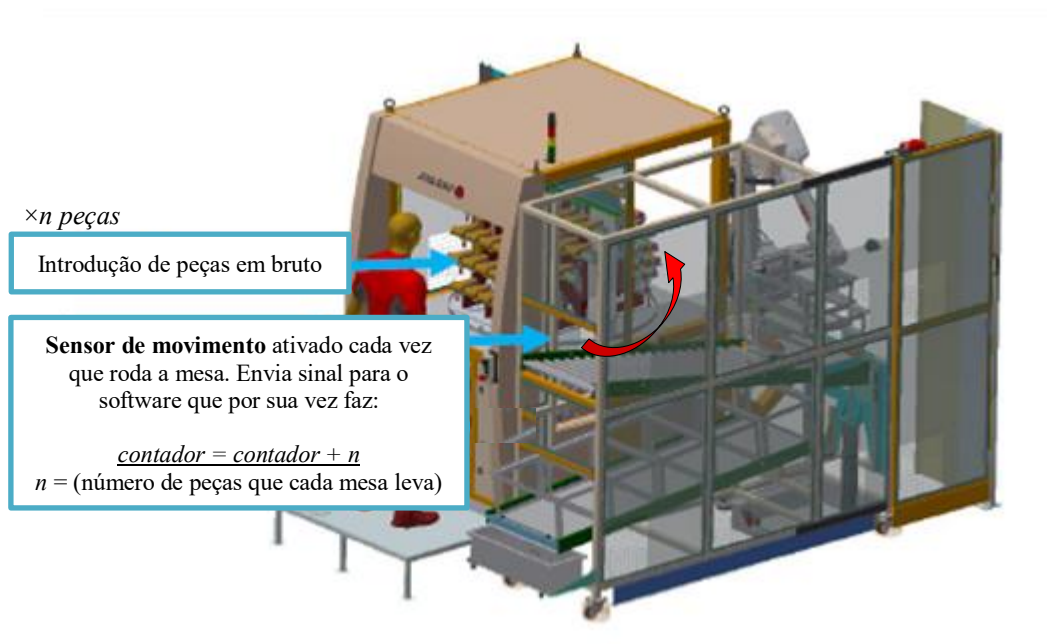


Figura 71 – Mesas de abastecimento às máquinas.

Em terceiro lugar, sugere-se a entrega de um dispositivo (tipo tablet, telemóvel ou *smartwatch*) aos afinadores para que possam receber alertas provenientes do software ou então, dado a natureza do trabalho em que facilmente estes dispositivos podem ser danificados, a implementação de ecrãs gigantes situados em pontos estratégicos no departamento de maquinagem que colocam os alertas em texto gigante acompanhados de alarmes.

Por fim, sugere-se a colocação de uma mesa de apoio, em cada uma das máquinas, onde serão colocadas, pelos ferramenteiros, ferramentas afiadas/reparadas/novas prontas a entrar na máquina. A disposição final está representada na figura 72, onde é apresentada uma nova planta para o departamento de maquinagem.

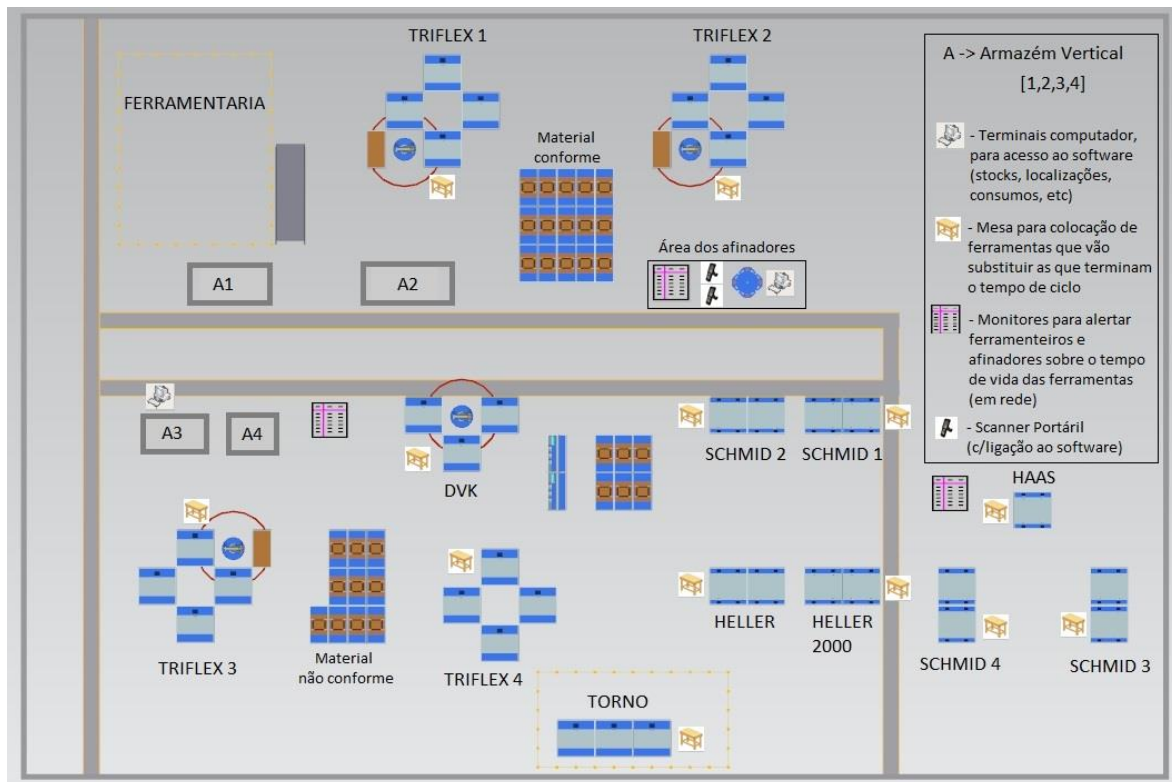


Figura 72 – Planta do departamento de maquinagem com a introdução dos objetos de suporte.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O mundo não está a mudar, o mundo já mudou. As empresas que se querem manter competitivas e lucrativas tem cada vez mais, nos dias de hoje, de encontrar e laborar com processos otimizados, que utilizem recursos tecnológicos como suporte.

Neste trabalho, numa primeira fase, conseguiram-se mais de 26k€ anuais de redução de custos, através da otimização do material e geometria das ferramentas a atuar num dos produtos *big runner* da empresa. Esta otimização foi elaborada com base em conhecimentos técnicos sobre a furação.

Tabela 8 – Resultados finais - 1ª fase.

| 1ª fase - Otimização do material e Geometria | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|-------------------------------|------------|----------------|
| Furo | Ferramentas a atuar | Tempo de vida médio | Melhorias efetuadas? Sim/não | Novo tempo | Savings anuais |
| Manípulo | Broca desbaste Ø23 | 3 893 | Sim - troca para broca de Ø24 | 30 906 | 26 885,95 € |
| | Broca acabamento 1 | 3 183 | Sim - na operação de desbaste | 6 181 | |
| Regulação temp. | Broca desbaste Ø18 | 31 198 | Não | 31 198 | 0,00 € |
| | Broca acabamento 2 | 7 491 | Não | 7 491 | 0,00 € |
| Entradas água | Broca acabamento 3 | 8 176 | Não | 8 176 | 0,00 € |
| Saída da bica | Broca acabamento 4 | 13 606 | Não | 13 606 | 0,00 € |
| Saída chuvaireiro | Broca acabamento 5 | 13 918 | Não | 13 918 | 0,00 € |
| | | | | | 26 885,95 € |

Numa segunda fase do trabalho, já com as ferramentas otimizadas a laborar, procedeu-se à definição do tempo de vida útil das mesmas, permitindo assim que, ao invés de a pastilha ou o corpo da ferramenta sofrerem rotura, seja permitido o afiamento, para desta forma aumentar o tempo de vida total. Nesta melhoria, foram utilizados conhecimentos técnicos sobre a evolução do desgaste das ferramentas, ao longo do seu ciclo de vida, em conluio com a norma ISO 3685 e avaliações óticas sobre a não existência, na aresta de corte, de deformações plásticas, cratera excessiva, quebras, fissuras e apara aderente.

Os resultados obtidos surgem na forma de um intervalo de valores pois, sem controlo de vida, podem acontecer duas situações que são impossíveis de prever, fratura da pastilha, que implica a reparação, ou fratura da pastilha e corpo da ferramenta, que implica a troca por uma nova. Como os valores para a segunda situação são mais elevados que para a primeira, estabeleceram-se dois valores limite para os savings ao longo do ano. Um valor limite inferior que nos dá poupanças, para o caso em que só existe reparação da pastilha e um valor limite superior, para o caso em que existe substituição por uma ferramenta nova.

Resumindo, os nossos *savings* anuais irão situar-se algures entre um intervalo de valores de 4 183,69€ a 15 269,73€, o que representa percentagens de poupança de 14% a 37%.

Tabela 9 – Resultados finais - 2ª fase.

| 2ª fase - Tempo de vida útil | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---|--------------------|----------------------------|-----------------|
| Furo | Ferramentas a atuar | Tempo de vida médio | Melhorias efetuadas? Sim/não | Tempo de vida útil | Savings anuais [intervalo] | |
| Manipulo | Broca desgaste Ø24 | 30 906 | Sim - definição da vida útil (permite afiamentos) | 20 000 | 927 € | 927 € |
| | Broca acabamento 1 | 6 181 | Sim - definição da vida útil (permite afiamentos) | 5 000 | 756 € | 4 749 € |
| Regulação da temp. | Broca desgaste Ø18 | 31 198 | Sim - definição da vida útil (permite afiamentos) | 20 000 | 642 € | 642 € |
| | Broca acabamento 2 | 7 491 | Sim - definição da vida útil (permite afiamentos) | 6 500 | 1 152 € | 3 379 € |
| Entradas água | Broca acabamento 3 | 8 176 | Sim - definição da vida útil (permite afiamentos) | 6 500 | 370 € | 2 860 € |
| Saída da bica | Broca acabamento 4 | 13 606 | Sim - definição da vida útil (permite afiamentos) | 9 000 | 207 € | 1 417 € |
| Saída chuveiro | Broca acabamento 5 | 13 918 | Sim - definição da vida útil (permite afiamentos) | 9 000 | 129 € | 1 295 € |
| | | | | | 4 184 € | 15 270 € |
| | | | | | 14% | 37% |

Este valor, anual, é referente apenas às ferramentas que executam a maquinação de um dos produtos desta empresa, sendo que, no total, existem cerca de 70 produtos diferentes, o que nos leva a crer que estes valores podem atingir outra dimensão.

Depois de concluído este estudo, a um conjunto reduzido de ferramentas, deve ser tomado como trabalho futuro a definição dos tempos de vida útil de todas as ferramentas do departamento. Este trabalho será demorado, no entanto, o método está encontrado e os dados serão facilmente recolhidos e analisados.

Por fim, com todos os tempos recolhidos, surge outro problema, que é o controlo do tempo de vida e gestão dos stocks em tempo real. Como tal, foi sugerido, no último ponto do trabalho, um novo sistema de gestão das ferramentas de corte que utilizará o conceito de *Internet of things*, para que as ferramentas sejam controladas em tempo real, e sejam emitidos alertas para a troca das ferramentas quando estas atingem o limite de vida útil, evitando assim roturas e tempos de espera. Todo este controlo, necessitará de um software de apoio à gestão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB (2019), “Production Screen - ABB Robotics - Application Software”. Acedido a 10 de junho de 2019, em: <https://new.abb.com/products/robotics/application-software/production-screen>
- Acaf (2019), “Geometria da broca”. Acedido em 31 de maio de 2019, em: <http://blog.acafonline.com.br/geometria-da-broca/>.
- Amaral, L. (2017), “Maquinabilidade de ligas de latão e impacto da utilização de ferramentas WC revestidas em processo produtivo”. Tese de mestrado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Atonportugal (2019), “Terminal Zebra”. Acedido em 10 de maio de 2019, em: <https://atonportugal.pt/produto/terminal-zebra-mc3300>
- Dan, L., Mathew, J. (1990), “Tool wear and failure monitoring techniques for turning—A review”. *Mach Tools Manufacturing*, 30, 579-598.
- Davim, J. (2008), “Princípios da Maquinagem”. 2ª Edição, Publindústria, Aveiro.
- Denkena, B., M. Kruger, and J. Schmidt, (2014), “Condition-based Tool Management for Small Batch Production.”. *The international Journal of advanced Manufacturing Technology*, 74, 471-480.
- Eversheim, W., H. J. J. Kals, W. König, C.-A. Van Luttervelt, J. Milberg, A. Storr, H. K. Tonshoff, M. Weck, H. Weule, and W. J. Zdeblick, (1991), “Tool Management: The Present and the Future.” *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 40, pp. 631-639.
- Groover, M. (2007), “Fundamentals of modern manufacturing: materials processes, and systems”. 3ª Edição, John Wiley & Sons. Nova Iorque.
- Grohe (2019), “Torneiras e chuveiros GROHE”. Acedido em 2 de maio de 2019, em: https://www.grohe.pt/pt_pt/.
- Imai, M. (2012), “Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy”. 2ª Edição, McGraw-Hill Education, Nova Iorque.
- ISO (2019), “Geometria do canto da pastilha”. Acedido em 20 de maio de 2019, em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3002:-1:ed-2:v1:en>.
- ISO 3685 (1993), “Tool-life testing with single-point turning tools. International Organization for Standardization”. Genebra.
- Kaizen (2019), “Definição de Kaizen”. Acedido a 12 de junho de 2019, em: <https://pt.kaizen.com/quem-somos/significado-de-kaizen.html>
- Klocke, F., Koenig, W. (2002), “Fertigungsverfahren 1: Drehen, Fräsen, Bohren”. 7ª Edição, Springer. Berlin.
- Marczinski, G. (2002), “Integrated tool management”. *Modern Machine Shop*, 75, pp 78-81.

- Meseguer, A., Gonzalez F. (2012), “A Methodology for cutting-tool Management through the Integration of CAPP and Scheduling”. *International Journal of Production Research*, 46, 1685-1707.
- Morais, R.S. (2018). “Avaliação do desgaste da ferramenta e outros trabalhos CNC – Aplicação do sinal de vibração e das redes neuronais na previsão do desgaste da ferramenta”. Tese de mestrado em Engenharia Mecânica – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.
- Oduola, O.M., Awopetu O.O., Ikutegbe C.A., Akinluwade K.J., Adetunji A.R. (2016), “An Outlook on Tool Wear Mechanisms of Selected Cutting Tool Materials”. *British Journal of Applied Science & Technology*, 14, 1-9.
- Qiu, X., Luo, H., Xu, G. Y., Zhong, R. Y., and Huang, G. Q. (2015), "Physical assets and service sharing for IoT-enabled Supply Hub in Industrial Park (SHIP)". *International Journal of Production Economics*, 159, 4-15.
- Ravindranath, M. (2014, 29 de janeiro), “Beyond the cloud: Cisco working on ‘fog computing’ for IoT”. *The Washington Post*. Acedido a 20 de maio 2019, em: https://www.washingtonpost.com/business/on-it/beyond-the-cloud-cisco-working-on-fog-computing-for-iot/2014/01/29/2ab5cf4e-890c-11e3-833c-33098f9e5267_story.html?noredirect=on&utm_term=.a5cb1d2107ab.
- Rodrigues, A. (2005), “Estudo da Geometria de arestas de corte aplicadas em usinagem com altas velocidades de corte”. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Sandvik Coromant (2019), “Tipos de maquinagem”. Acedido em 7 de janeiro de 2019, em: <http://www.coromant.sandvik.com>
- Sangpikul, A. (2017), “Implementing academic service learning and the PDCA cycle in a marketing course: Contributions to three beneficiaries”. *Journal of Hospitality Leisure Sport & Tourism Education*, 21, 83–87.
- ScienceSoft (2019), “IoT in manufacturing: The ultimate guide”. Acedido a 14 de junho de 2019, em: <https://www.scnsoft.com/blog/iot-in-manufacturing>
- Silva, A.S., Medeiros, C.F., Vieira, R.K. (2017), “Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company”. *Journal of Cleaner Production*, 150, 324–338.
- Souza, A. (2016), “Processos de Fabricação por Usinagem, Parte 1- Fundamentos da Usinagem dos Materiais”. 1ª Edição, Editora DEM-UFRGS, Porto Alegre.
- Stemmer, C. (1995), “Ferramentas de corte I”. 4ª Edição, editora da UFSC, Florianópolis.
- Tykocki, J., Jordan, A. (2014), “Pareto – ABC Analysis of High Voltage Single Core Cable Temperature”. *Przeglad Elektrotechniczny*, 10, 172-178.
- Wang, M., Qu, T., Zhong, Y., Dai, Q., Zhang, X., He, J., (2012), "A radio frequency identification-enabled real-time manufacturing execution system for one-of-a-kind production manufacturing: a case study in mould industry". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25, 20-34.
- Whitney, E. (1994), “Ceramic cutting tools. Materials, Development, and Performance”. 1ª Edição, Noyes Publications, New Jersey.

Zhang, X. (2013), "The research and exploration about teaching reform". Proceedings of the Conference on Education Technology and Information System, Sanya, China, 21-22 June 2013.

Zhong, R.Y., Dai, Q., Qu, T., Hu, G., and Huang, G.Q., (2013), "RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29, 283-292.

ANEXO A – ALGORITMO *RAPID* - ROBÔ

```
MODULE PROG_TestCont

PERS num array{14,3} :=
[[1,20000,0],[2,5000,0],[3,0,0],[4,20000,0],[5,6500,0],[6,0,0],[7,0,0],[8,6500,0],[9,0,0],[10,9000,0],[11,0,0],[12,9000,0],[13,0,0],[14,0,0]];
PERS string arraystr{14} :=
["835A5052","829A5063","80084200","82767100","829A5019","84500591","835A5064","830A5020","835A0000","829A5189","838A5022","829A5051","83800322","830A5056"];
PERS num a:=0;
PERS string referencia:="a" ;
PERS num condicao:=0;
VAR num modo_op:=0;
VAR iodev iodev1;
VAR iodev iodev2;
PERS string string1:="";
PERS string texto:="";
PERS num dn_tm:=0;
VAR clock clockk1;
PERS num contadorr:=0;

PROC VidaFerrame()
dn_tm:=Round(ClkRead(clockk1));
  IF dn_tm>300 THEN
    condicao:=0;
    While condicao=0 DO
      TPErase;
      TPReadFK reg1, "Deseja alterar alguma ferramenta?", stEmpty, stEmpty, stEmpty, "Yes", "No/continuar programa";
      TEST reg1
      CASE 4:
        TPErase;
        TPWrite "A ferramenta que deseja trocar, pertence a qual dos furos?";
        TPWrite "Manipulo - 835A5052; 829A5063; 80084200";
        TPWrite "Reg. da Temperatura - 82767100; 829A5019; 84500591; 835A5064";
        TPWrite "Entradas de Água - 830A5020; 835A0000";
        TPWrite "Saida da Bica - 829A5189; 838A5022";
        TPWrite "Saida do chuveiro - 829A5051; 83800322; 830A5056";
        TPReadFK reg2, "Escolha a qual furo pertence a broca que pretende trocar", "Manipulo", "Reg. Temp.", "Entradas Água", "Bica",
"Chuveiro";
        TEST reg2
        CASE 1:
```

```
TPERASE;
TPReadFK reg3, "Selecione a ferramenta que quer trocar no manipulo", stEmpty, "835A5052(desbaste)", "829A5063(acabamento)",
"80084200(fresa P=1,5)", "Voltar atrás";
TEST reg3
CASE 2:
  TPERASE;
  TPWRITE "Selecionou a ferramenta 835A5052!";
  texto:= arraystr{1}+" *Produziu:"+ValToStr(array{1,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
  string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  array{1,3}:=0;
CASE 3:
  TPERASE;
  TPWRITE "Selecionou a ferramenta 829A5063!";
  texto:= arraystr{2}+" *Produziu:"+ValToStr(array{2,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
  string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  array{2,3}:=0;
CASE 4:
  TPERASE;
  TPWRITE "Selecionou a ferramenta 80084200!";
  texto:= arraystr{3}+" *Produziu:"+ValToStr(array{3,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
  string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  array{3,3}:=0;
CASE 5:
ENDTEST
CASE 2:
  TPERASE;
  TPReadFK reg3, "Selecione a ferramenta que quer trocar na Reg. da Temperatura", "82767100(desbaste)", "829A5019(acabamento)",
"84500591(Fresa T dupla)", "835A5064(Fresa encravamento D.5)", "Voltar atrás";
TEST reg3
CASE 1:
  TPERASE;
  TPWRITE "Selecionou a ferramenta 82767100!";
  texto:= arraystr{4}+" *Produziu:"+ValToStr(array{4,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
  string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  array{4,3}:=0;
```

```
CASE 2:
  TPErase;
  TPWrite "Selecionou a ferramenta 829A5019!";
  texto:= arraystr{5}+" *Produziu:"+ValToStr(array{5,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
    string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  array{5,3}:=0;
CASE 3:
  TPErase;
  TPWrite "Selecionou a ferramenta 84500591!";
  texto:= arraystr{6}+" *Produziu:"+ValToStr(array{6,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
    string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  array{6,3}:=0;
CASE 4:
  TPErase;
  TPWrite "Selecionou a ferramenta 835A5064!";
  texto:= arraystr{7}+" *Produziu:"+ValToStr(array{7,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
    string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  array{7,3}:=0;
CASE 5:
  ENDTEST
CASE 3:
  TPErase;
  TPReadFK reg3, "Selecione a ferramenta que quer trocar nas Entradas da água", stEmpty, stEmpty, "830A5020(acabamento)",
"835A0000(fresa P=1)", "Voltar atrás";
  TEST reg3
CASE 3:
  TPErase;
  TPWrite "Selecionou a ferramenta 830A5020!";
  texto:= arraystr{8}+" *Produziu:"+ValToStr(array{8,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
    string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  array{8,3}:=0;
CASE 4:
  TPErase;
  TPWrite "Selecionou a ferramenta 835A0000!";
```

```
        texto:= arraystr{9}+" *Produziu:"+ValToStr(array{9,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
        string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
    Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
    Write iodev2, string1 + texto;
    Close iodev2;
    array{9,3}:=0;
CASE 5:
ENDTEST
CASE 4:
    TPErase;
    TPReadFK reg3, "Selecione a ferramenta que quer trocar na Saida da bica", stEmpty, stEmpty, "829A5189(acabamento)", "838A5022(macho
M15x1,5)", "Voltar atrás";
    TEST reg3
CASE 3:
    TPErase;
    TPWrite "Selecionou a ferramenta 829A5189!";
    texto:= arraystr{10}+" *Produziu:"+ValToStr(array{10,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
        string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
    Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
    Write iodev2, string1 + texto;
    Close iodev2;
    array{10,3}:=0;
CASE 4:
    TPErase;
    TPWrite "Selecionou a ferramenta 838A5022!";
    texto:= arraystr{11}+" *Produziu:"+ValToStr(array{11,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
        string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
    Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
    Write iodev2, string1 + texto;
    Close iodev2;
    array{11,3}:=0;
CASE 5:
ENDTEST
CASE 5:
    TPErase;
    TPReadFK reg3, "Selecione a ferramenta que quer trocar na Saida do chuveiro", stEmpty, "829A5051(acabamento)", "83800322(macho
M15x1)", "830A5056 (Broca Craniana)", "Voltar atrás";
    TEST reg3
CASE 2:
    TPErase;
    TPWrite "Selecionou a ferramenta 829A5051!";
    texto:= arraystr{12}+" *Produziu:"+ValToStr(array{12,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
        string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
    Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
    Write iodev2, string1 + texto;
    Close iodev2;
    array{12,3}:=0;
```

```

CASE 3:
  TPErase;
  TPWrite "Selecionou a ferramenta 83800322!";
  texto:= arraystr{13}+" *Produziu:"+ValToStr(array{13,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
  string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  array{13,3}:=0;
CASE 4:
  TPErase;
  TPWrite "Selecionou a ferramenta 830A5056!";
  texto:= arraystr{14}+" *Produziu:"+ValToStr(array{14,3})+"peças (troca inesp) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
  string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  array{14,3}:=0;
CASE 5:
  ENDTTEST
ENDTEST
CASE 5:
  texto:= "Na troca inesp, não trocou nada *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
  string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
  Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
  Write iodev2, string1 + texto;
  Close iodev2;
  condicao:=1;
ENDTEST
ENDWHILE
ENDIF
FOR i FROM 1 TO DIM(array, 1) DO
  IF array{i,2}>0 THEN
    IF array{i,3}>=array{i,2} THEN
      TPErase;
      TPWrite "Ferramenta "+arraystr{i}+" chegou ao limite";
      TPWrite " ";
      TPWrite "TROCAR por uma nova!";
      TPWrite " ";
      TPReadFK reg1, "Mudar ferramenta", stEmpty, stEmpty, stEmpty, stEmpty, "CHAMAR AFINADOR";
      texto:= arraystr{i}+" *Produziu:"+ValToStr(array{i,3})+"peças (limite) *Tempo parado:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
      string1:=" "+CDate()+" "+CTime()+" ";
      Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
      Write iodev2, string1 + texto;
      Close iodev2;
      array{i,3}:= 0;
    
```

```

FOR j FROM 1 to DIM(array,1) DO
  IF (array{j,2}>0) and (array{j,2}-array{j,3})<=50 and (i<>j) THEN
    TPErase;
    TPWrite "Ferramenta "+arraystr{j}+" está a atingir o limite (<50 peças disponíveis)";
    TPWrite " ";
    TPWrite "TROCAR por uma nova?";
    TPWrite " ";
    TPReadFK reg2, "Mudar ferramenta?", stEmpty, stEmpty, stEmpty, "Yes", "No/continuar";
    TEST reg2
    CASE 4:
      IF j<i THEN
        texto:= arraystr{j}+" *Produziu:"+ValToStr(array{j,3}-1)+"peças (Vida<50) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
        string1:= " "+CDate()+" "+CTime()+" ";
        Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
        Write iodev2, string1 + texto;
        Close iodev2;
        array{j,3}:=0;
      ELSEIF j>i THEN
        texto:= arraystr{j}+" *Produziu:"+ValToStr(array{j,3})+"peças (Vida<50) *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
        string1:= " "+CDate()+" "+CTime()+" ";
        Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
        Write iodev2, string1 + texto;
        Close iodev2;
        array{j,3}:=0;
      ENDIF
    CASE 5:
      texto:= "No fim do ciclo de vida, não trocou nada *Paragem:"+valtostr(Round(ClkRead(clockk1)))+ "s";
      string1:= " "+CDate()+" "+CTime()+" ";
      Open "/bd3:1/robotdados/dados.txt",iodev2\Append;
      Write iodev2, string1 + texto;
      Close iodev2;
    ENDTEST
  ENDIF
ENDFOR
ELSE
  array{i,3}:=array{i,3}+1;
ENDIF
ELSE
  array{i,3}:=array{i,3}+1;
ENDIF
ENDFOR
ClkReset clockk1;
ClkStart clockk1;
contadorr:=contadorr +1;
ENDPROC
ENDMODULE

```

ANEXO B – VALORES DO DESGASTE DE FLANCO

Este anexo é referente às medições dos valores do desgaste de flanco que serviram para definir o tempo de vida útil das ferramentas de corte.

Tabela 10 – Valores do desgaste de flanco da broca de acabamento 1.

| Conjunto | Nº de peças | Vb - Desgaste de flanco (mm) | | | | | | | |
|----------|-------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 1430 | 0,125 | 0,175 | 0,144 | 0,152 | 0,157 | 0,164 | 0,187 | 0,209 |
| | 2779 | 0,153 | 0,207 | 0,173 | 0,176 | 0,174 | 0,205 | 0,226 | 0,244 |
| | 5037 | 0,193 | 0,241 | 0,218 | 0,221 | 0,22 | 0,232 | 0,257 | 0,272 |
| 2 | 1274 | 0,121 | 0,166 | 0,139 | 0,15 | 0,158 | 0,167 | 0,186 | 0,197 |
| | 2688 | 0,15 | 0,198 | 0,175 | 0,169 | 0,169 | 0,195 | 0,223 | 0,235 |
| | 4884 | 0,192 | 0,239 | 0,216 | 0,217 | 0,218 | 0,229 | 0,253 | 0,269 |

Tabela 11 – Valores do desgaste de flanco da broca de acabamento 2.

| Conjunto | Nº de peças | Vb – Desgaste de flanco (mm) | | | | | | | |
|----------|-------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 1430 | 0,160 | 0,154 | 0,151 | 0,149 | 0,153 | 0,172 | 0,158 | 0,168 |
| | 2779 | 0,174 | 0,175 | 0,164 | 0,165 | 0,169 | 0,194 | 0,171 | 0,183 |
| | 4537 | 0,190 | 0,212 | 0,187 | 0,186 | 0,190 | 0,238 | 0,193 | 0,218 |
| | 6564 | 0,224 | 0,230 | 0,222 | 0,219 | 0,225 | 0,259 | 0,229 | 0,242 |
| 2 | 1274 | 0,154 | 0,148 | 0,146 | 0,144 | 0,146 | 0,169 | 0,152 | 0,165 |
| | 2688 | 0,168 | 0,171 | 0,161 | 0,160 | 0,163 | 0,196 | 0,167 | 0,181 |
| | 4284 | 0,178 | 0,201 | 0,184 | 0,181 | 0,185 | 0,237 | 0,189 | 0,215 |
| | 6364 | A ferramenta sofreu fratura por causas não relacionadas com desgaste | | | | | | | |

Tabela 12 – Valores do desgaste de flanco da broca de acabamento 3.

| Conjunto | Nº de peças | Vb – Desgaste de flanco (mm) | | | | |
|----------|-------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | Buril |
| 1 | 1430 | 0,143 | 0,171 | 0,147 | 0,192 | 0,154 |
| | 2779 | 0,174 | 0,202 | 0,179 | 0,215 | 0,185 |
| | 4537 | 0,198 | 0,241 | 0,201 | 0,248 | 0,211 |
| | 6564 | 0,223 | 0,261 | 0,229 | 0,271 | 0,238 |
| 2 | 1274 | 0,140 | 0,169 | 0,144 | 0,192 | 0,151 |
| | 2688 | 0,171 | 0,194 | 0,176 | 0,207 | 0,179 |
| | 4284 | 0,193 | 0,237 | 0,202 | 0,245 | 0,207 |
| | 6364 | 0,221 | 0,258 | 0,227 | 0,266 | 0,232 |

Tabela 13 – Valores do desgaste de flanco da broca de acabamento 4.

| Conjunto | Nº de peças | Vb – Desgaste de flanco (mm) | | | | |
|----------|-------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 1430 | 0,081 | 0,101 | 0,094 | 0,099 | 0,112 |
| | 2779 | 0,102 | 0,122 | 0,113 | 0,124 | 0,129 |
| | 4537 | 0,123 | 0,143 | 0,138 | 0,141 | 0,153 |
| | 6564 | 0,141 | 0,192 | 0,149 | 0,153 | 0,212 |
| | 8150 | 0,187 | 0,231 | 0,195 | 0,201 | 0,241 |
| | 9018 | 0,213 | 0,258 | 0,233 | 0,239 | 0,268 |
| 2 | 1274 | 0,079 | 0,092 | 0,090 | 0,090 | 0,102 |
| | 2688 | 0,093 | 0,115 | 0,110 | 0,122 | 0,119 |
| | 4284 | 0,117 | 0,140 | 0,132 | 0,139 | 0,148 |
| | 6364 | 0,134 | 0,189 | 0,144 | 0,151 | 0,192 |
| | 7985 | 0,179 | 0,226 | 0,191 | 0,198 | 0,238 |
| | 8793 | 0,204 | 0,253 | 0,227 | 0,234 | 0,261 |

Tabela 14 – Valores do desgaste de flanco da broca de acabamento 5.

| Conjunto | Nº de peças | Vb – Desgaste de flanco (mm) | | | | |
|----------|-------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 1430 | 0,087 | 0,102 | 0,101 | 0,099 | 0,117 |
| | 2779 | 0,106 | 0,127 | 0,123 | 0,127 | 0,133 |
| | 4537 | 0,128 | 0,169 | 0,141 | 0,149 | 0,16 |
| | 6564 | 0,145 | 0,194 | 0,165 | 0,172 | 0,211 |
| | 8150 | 0,192 | 0,236 | 0,205 | 0,210 | 0,245 |
| | 9018 | 0,221 | 0,259 | 0,238 | 0,241 | 0,271 |
| 2 | 1274 | 0,082 | 0,094 | 0,098 | 0,090 | 0,102 |
| | 2688 | 0,099 | 0,119 | 0,121 | 0,122 | 0,130 |
| | 4284 | 0,117 | 0,139 | 0,142 | 0,139 | 0,151 |
| | 6364 | 0,137 | 0,191 | 0,164 | 0,161 | 0,205 |
| | 7985 | 0,184 | 0,227 | 0,199 | 0,208 | 0,242 |
| | 8793 | 0,214 | 0,255 | 0,234 | 0,239 | 0,269 |

Tabela 15 – Valores do desgaste de flanco da broca de desbaste Ø24.

| Conjunto | Nº de peças | Vb – Desgaste de flanco (mm) | Conjunto | Nº de peças | Vb – Desgaste de flanco (mm) |
|----------|-------------|------------------------------|----------|-------------|------------------------------|
| | | 1 | | | 1 |
| 1 | 1430 | 0,115 | 2 | 1274 | 0,101 |
| | 2779 | 0,1342 | | 2688 | 0,125 |
| | 4537 | 0,161 | | 4284 | 0,141 |
| | 6564 | 0,2134 | | 6364 | 0,19352 |
| | 8150 | 0,243 | | 7985 | 0,234 |
| | 9018 | 0,269 | | 8793 | 0,261 |
| | 11102 | 0,325 | | 10802 | 0,31 |
| | 13080 | 0,3723 | | 12950 | 0,363 |
| | 15321 | 0,41 | | 15030 | 0,401 |
| | 17580 | 0,4604 | | 17360 | 0,452 |
| 20020 | 0,532 | 19750 | 0,5228 | | |

Tabela 16 – Valores do desgaste de flanco da broca de desbaste Ø24.

| Conjunto | Nº de peças | Vb – Desgaste de flanco (mm) | Conjunto | Nº de peças | Vb – Desgaste de flanco (mm) |
|----------|-------------|------------------------------|----------|-------------|------------------------------|
| | | 1 | | | 1 |
| 1 | 1430 | 0,123 | 2 | 1274 | 0,115 |
| | 2779 | 0,140 | | 2688 | 0,135 |
| | 4537 | 0,173 | | 4284 | 0,162 |
| | 6564 | 0,222 | | 6364 | 0,218 |
| | 8150 | 0,254 | | 7985 | 0,247 |
| | 9018 | 0,276 | | 8793 | 0,269 |
| | 11102 | 0,332 | | 10802 | 0,315 |
| | 13080 | 0,384 | | 12950 | 0,375 |
| | 15321 | 0,421 | | 15030 | 0,414 |
| | 17580 | 0,479 | | 17360 | 0,464 |
| | 20020 | 0,554 | | 19750 | 0,543 |

ANEXO C – CICLO DE VIDA DA FERRAMENTA DE ACABAMENTO – EXEMPLO PARA A BROCA 2

Este anexo é referente ao fluxo do ciclo de vida total da ferramenta de acabamento 2.

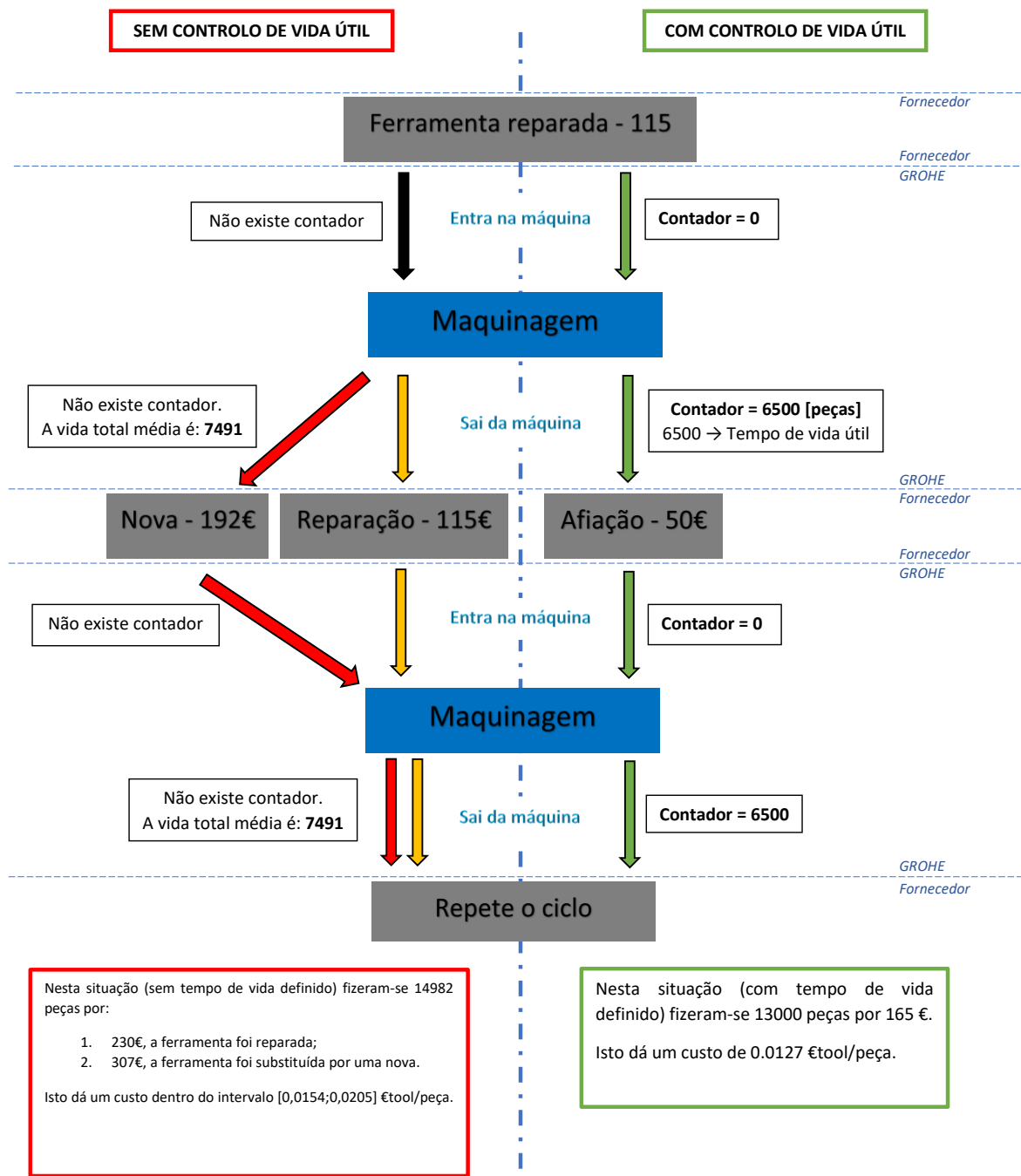


Figura 73 – Fluxo do ciclo de vida total da ferramenta de acabamento 2.