



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marco António da Silva Martins

**Estudo e parametrização do processo e
procedimento de texturização superficial
por granalhagem com vista á
automatização e controlo de produção**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Marco António da Silva Martins

**Estudo e parametrização do processo e
procedimento de texturização superficial
por granalhagem com vista á
automatização e controlo de produção**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Mecânica

Área de especialização em manufatura avançada

Trabalho efetuado sob a orientação do(a):

Professor Doutor José Luís Carvalho Martins Alves

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial

CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Neste momento tão significativo da minha vida acadêmica, gostava de expressar a minha profunda gratidão a todas as pessoas e organizações que contribuíram para o sucesso da minha dissertação de mestrado. Sem o apoio e orientação de vocês, este feito não teria sido possível. Quero dedicar este espaço para agradecer sinceramente a cada um de vocês.

A Deus:

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me permitir ter esta conquista e por me mostrar o caminho em horas mais desafiadoras.

À minha família:

Quero expressar a minha gratidão à minha família pelo seu amor incondicional e apoio constante durante toda a jornada do meu mestrado. Os seus encorajamentos e palavras de ânimo deram-me forças nos momentos mais desafiadores. Saibam que este sucesso também é de vocês.

Ao meu orientador e professor José Luís Carvalho Martins Alves:

Um grande obrigado pela sua orientação e apoio ao longo deste projeto. As suas orientações, insights e paciência foram inestimáveis, e eu aprendi muito com você.

Aos meus amigos e colegas de turma:

Obrigado por estarem ao meu lado durante toda a minha jornada acadêmica. As nossas conversas, discussões e apoio mútuo foram essenciais para meu crescimento intelectual e pessoal. Compartilhar essa experiência com vocês foi um privilégio e espero contar com vocês para os próximos anos que se avizinham. Um especial agradecimento ao meu colega Tomás por todo o apoio e amizade durante o nosso tempo na Leica, sem ti esta pequena jornada teria sido muito mais difícil.

À LEICA - Aparelhos Óticos de Precisão, S.A. e a todos os seus colaboradores:

Expresso a minha sincera gratidão à Leica pela oportunidade dada a mim de desenvolver um projeto no seio de uma empresa de renome como a Leica, sem dúvida fez-me crescer como profissional e como pessoa e por isso agradeço. Um especial obrigado a todos os operadores da secção de tratamentos de

superfície funcionários da Leica que contribuíram com a sua extensa experiência profissional para a conclusão do projeto.

A todos que de alguma forma contribuíram:

Por fim, gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, apoiaram minha jornada acadêmica. Cada conversa, cada conselho e cada gesto de encorajamento fizeram a diferença.

Com gratidão,

Marco Martins

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho acadêmico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

A Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A é um dos mais prestigiados fabricantes mundiais de sistemas óticos. Na sua contínua procura pela excelência, lançou o desafio de investigar o setor de tratamento de superfícies, mais especificamente o processo de granalhagem.

A granalhagem é um processo de limpeza e texturização de superfícies, sendo este utilizado pela Leica para dar acabamento a componentes e superfícies específicas dos equipamentos e dispositivos por si fabricados, tais como máquinas fotográficas e binóculos. Este processo, apesar de amplamente utilizado na empresa, nunca foi muito explorado, sendo ainda hoje um processo executado manualmente como uma quase arte-do-artesão. A presente dissertação procura, pois, ser um primeiro passo no sentido de parametrizar e automatizar o processo de granalhagem.

Num primeiro momento é realizada uma **parametrização** inicial com vista a identificar quais as variáveis de entrada do processo, ou seja, identificar a dependência do processo de granalhagem com os parâmetros, tais como “**Pressão de jateamento**”, “**Distância ao bico de granalhagem**”, “**Número de voltas**”, “**Velocidade de rotação**” e “**Estado do abrasivo**”. Para dar término á componente de parametrização foi necessário recorrer a um método de desenho de experiências de Taguchi de modo a averiguar quais os níveis das variáveis de entrada considerados ideais para a obtenção de uma peça com as características e qualidade pretendidas.

De seguida foi **automatizado** o processo, onde inicialmente se deu a execução de ensaios experimentais para avaliação do efeito das variáveis de entrada na rugosidade e no aspeto visual das peças sujeitas ao processo de granalhagem automática. uma vez obtidas as conclusões necessárias dos ensaios experimentais deu-se a definição de **níveis ideais** de granalhagem automática das variáveis de entrada para a referência de teste e elaborado um método prático para a determinação dos níveis ideais para as demais referências associadas ao processo, referências estas determinadas por um levantamento realizado na própria empresa que almejava determinar quais as referências que seriam determinadas “boas candidatas” a evoluírem do processo de granalhagem manual para granalhagem automática.

Foram, por fim, executados ensaios de reprodutibilidade e repetibilidade para assegurar que o processo elaborado no departamento de tratamento de superfícies era **fiável** e apresentava todas as condições necessárias para a sua implementação.

PALAVRAS-CHAVE

TAGUCHI, GRANALHAGEM, AUTOMATIZAÇÃO, CORÍNDON, QUALIDADE

ABSTRACT

Leica – Aparelhos Opticas de Precision, S.A is one of the most prestigious manufacturers of optical systems in the world. In his continuous search for excellence, he took on the challenge of investigating the surface treatment sector, more specifically the shot blasting process.

Shot blasting is a process for cleaning and texturing surfaces, which is used by Leica to finish specific components and surfaces of the equipment and devices it manufactures, such as cameras and binoculars. This process, despite being widely used in the company, has never been widely explored, and is still a process carried out manually today as almost a craftsman's art. This dissertation therefore seeks to be a first step towards parameterizing and automating the shot blasting process.

Initially, a parameterization is carried out with the objective of identifying the process input variables, that is, identifying the dependence of the shot blasting process on parameters such as “Blasting pressure”, “Distance to the shot blasting nozzle”, “Number of turns”, “Rotation speed” and “Abrasive condition”. To complete the parameterization component, it was necessary to use Taguchi's experimental design method in order to determine which levels of input variables were considered ideal for obtaining a part with the desired characteristics and quality.

The process was then automated, initially carrying out experimental tests to evaluate the effect of input variables on the roughness and visual appearance of the parts subjected to the automatic shot blasting process. Once the necessary conclusions from the experimental tests were obtained, the ideal levels of automatic shot blasting of the input variables for the test reference were defined and a practical method was developed to determine the ideal levels for the other references associated with the process. These references were determined by a survey carried out in the company itself that aimed to determine which references would be considered “good candidates” to transition from the manual shot blasting process to automatic shot blasting.

Finally, reproducibility and repeatability tests were carried out to ensure that the process developed in the surface treatment department was reliable and presented all the necessary conditions for its implementation.

KEYWORDS

TAGUCHI, SHOT BLASTING, AUTOMATIZATION, CORUNDUM, QUALITY

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xii
Lista de Símbolos.....	xiii
1 Introdução.....	1
1.1 Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A.....	1
1.2 Motivação.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Estrutura da dissertação.....	3
2 Estado de arte.....	5
2.1 Controlo de qualidade.....	5
2.2 Maquinagem.....	5
2.2.1 Torneamento CNC.....	6
2.2.2 Torneamento fino.....	7
2.2.3 Fresagem.....	8
2.2.4 Gravação/gravação a laser.....	8
2.2.5 Maquinagem tradicional.....	9
2.3 Tratamentos de superfície.....	9
2.3.1 Polimento.....	10
2.3.2 Azulagem.....	10
2.3.3 Anodização.....	11
2.3.4 Cromagem.....	12
2.3.5 KTL (Kathodische TauchLackierung) – Pintura cataforética.....	13

2.3.6	Pintura	14
2.3.7	PBR – Pintura de baixo relevo	15
2.3.8	Lavagem	15
2.4	Areamento	15
2.4.1	Princípios físicos do processo de granalhagem	16
2.4.2	Seleção do abrasivo a utilizar	17
2.4.3	Abrasivos utilizados no processo de granalhagem	17
2.4.4	Layout da secção de areamento.....	18
2.4.5	Influência da granalhagem na aparência exterior da peça.....	19
2.5	Método de Taguchi.....	22
3	Parametrização do processo de granalhagem	24
3.1	Testes Iniciais de parametrização	24
3.1.1	Pressão de jateamento	26
3.1.2	Distância ao bico de granalhagem.....	27
3.1.3	Número de voltas	29
3.1.4	Velocidade de rotação.....	29
3.1.5	Variáveis padronizadas	29
3.1.6	Resultados iniciais de parametrização	30
3.2	Testes Finais de parametrização.....	33
3.2.1	Estado do abrasivo	33
3.2.2	Experimentação planeada.....	34
3.2.3	Resultados finais de parametrização	37
4	Automatização do processo de granalhagem	41
4.1	Funcionamento do sistema.....	41
4.2	Robô desenvolvido.....	41
4.2.1	Primeira iteração	42
4.2.2	Segunda iteração.....	43

4.3	Testes iniciais com o sistema automático	43
4.3.1	Resultados obtidos nos testes iniciais.....	44
4.4	Testes finais com o sistema automático.....	46
4.4.1	Tipologia de peças escolhida.....	46
4.4.2	Suportes/Mecanismos desenvolvidos.....	48
4.4.3	Resultados obtidos	50
5	Considerações finais	57
5.1	Conclusões	57
5.2	Perspetivas e Trabalhos Futuro.....	58
	Referências Bibliográficas	59
	Anexos	61
	Anexo A: Caracterização das máquinas de granalhagem.....	61
	Anexo B: Obfl 354.....	62
	Anexo C: Obfl 356.....	64
	Anexo D: Especificação de defeitos de superfície IMP-O-72/01	66
	Anexo E: Referências com possibilidade de automação	70
	Anexo F: AU 421-037.927-005	71
	Anexo G: AU 615-000.250-030	72
	Anexo H: AU 421-028.529-005	73
	Anexo I: AU 613-000.520-005	74
	Anexo J: AU 657-000.900-050	75
	Anexo K: AU 475-035.012-003	76
	Anexo L: Esquema do trajeto do abrasivo	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Instalações Leica - Aparelhos óticos de precisão, S.A. Famalicão [1]	1
---	---

Figura 2 - Layout da secção da Mecânica	2
Figura 3 - Plano de trabalhos	3
Figura 4 – Secções de maquinagem	6
Figura 5 - Parâmetros de taxa de remoção de material [2].....	6
Figura 6 - Exemplos de ferramentas de corte na fresagem [2]	8
Figura 7 - Processos de tratamentos de superfícies existentes	10
Figura 8 - Chapéus depois de "azular" prontos para a fase de pintura	11
Figura 9 - Impacto do abrasivo numa superfície plana [16].....	16
Figura 10 - Esquema layout secção areamento	19
Figura 11 - Peça manchada por conta do seu armazenamento em caixa	20
Figura 12 - Peça com várias indentações na sua superfície.....	21
Figura 13 - Matriz ortogonal L18	23
Figura 14 - Objeto de estudo e mecanismo de proteção da rosca utilizado	25
Figura 15 - Local de granalhagem analisado da peça	25
Figura 16 - Peça anodizada.....	26
Figura 17 - Legenda para análise de parâmetros	31
Figura 18 - Resultados obtidos na máquina 168ARE01	31
Figura 19 - Resultados obtidos na máquina 171ARE02	31
Figura 20 - Resultados obtidos na máquina 168ARE04	32
Figura 21 - Resultados obtidos na máquina 168ARE02	32
Figura 22 - Resultados obtidos na máquina 171ARE01	32
Figura 23 - Resultados do número de voltas na máquina 168ARE01	32
Figura 24 - Resultados do número de voltas na máquina 171ARE02	33
Figura 25 - Máquina de granalhagem 168ARE02	33
Figura 26 - Desenho técnico 613-000.520-019	35
Figura 27 - Escala utilizada para comparação visual.....	35
Figura 28 - Legenda níveis de variáveis	36
Figura 29 - Matriz de experiências utilizada no projeto	36
Figura 30 - Gráfico S/N da variável "Pressão"	37
Figura 31 - Gráfico S/N da variável "Distância ao bico"	38
Figura 32 - Gráfico S/N da variável "Estado da areia".....	38
Figura 33 - Gráfico S/N da variável "Nº de voltas"	38

Figura 34 - Gráfico S/N da variável "Velocidade angular"	39
Figura 35 - Peça obtida aplicando as condições ideais de Taguchi previamente deduzidas	39
Figura 36 - Diferentes combinações de variáveis que produzem um bom aspeto visual	40
Figura 37 - Casquilho geral	41
Figura 38 - Primeiro protótipo do robô de areamento.....	42
Figura 39 - Protótipo final do robô de areamento	43
Figura 40 - Referência de teste 475-035.012-003	43
Figura 41 - Esquema do experimento.....	44
Figura 42 - Gráficos de análise de rugosidade para as variáveis “Nº de voltas”, “Distância ao bico”, “Velocidade angular” e “Ângulo de incidência”	45
Figura 43 - Gráfico de rugosidade da variável "Pressão"	45
Figura 44 - Parâmetros base de areamento automático.....	46
Figura 45 - Esquematização de peça que necessita de 1 plano de areamento.....	47
Figura 46 - Esquematização do problema do mecanismo	50
Figura 47 - Influência do ângulo de inclinação da máquina	51
Figura 48 - À esquerda peça mais afastada do bico, á direita peça mais próxima do bico.....	52
Figura 49 - Geometria da referência	54
Figura 50 - Estudo de repetibilidade do processo.....	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de pressão considerados para cada máquina.....	27
Tabela 2 - Velocidades de rotação teóricas	29
Tabela 3 - Pressões padrão utilizadas em cada máquina	30
Tabela 4 - Referências onde é possível a sua automatização no processo de granalhagem.....	48
Tabela 5 - Mecanismos desenvolvidos	49
Tabela 6 - Parâmetros de areamento automático finais.....	51
Tabela 7 - Tabela para obtenção de B	55
Tabela 8 - Tabela de comparação de raios de areamento útil/não útil.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

SIGLAS, ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

MA	<i>Manufatura aditiva</i>
AU	<i>Arbeitsauftrag</i>
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>
DOE	<i>Desenho de experiências</i>
UM	<i>Universidade do Minho</i>
FY	<i>Ano fiscal</i>
IT	<i>Instrução de trabalho</i>
KTL	<i>Kathodische TauchLackierung</i>
LAS	<i>Máquina Laser</i>
OP	<i>Ordem de produção</i>
PBR	<i>Pintura de baixo-relevo</i>
RPM	<i>Velocidade de rotação</i>
SAP	<i>System Applications and Products in Data Processing</i>
TS	<i>Secção de tratamentos de superfície</i>
ARE	<i>Máquina de granalhagem</i>

NOMENCLATURA

β	<i>ângulo do plano perpendicular ao chão com a base da peça</i>
δ	<i>ângulo da base da peça com o seu lado mais próximo</i>
λ	<i>ângulo do plano chão com o lado da peça</i>
A	<i>Distância do ponto onde a peça contacta com o plano chão ao início do furo</i>
C	<i>Distância do ponto onde a peça contacta desde o plano chão até fim do lado</i>
Distância Média	<i>Metade da soma de A e C</i>
B	<i>Soma do comprimento horizontal do furo com a Distância média</i>

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será apresentado o projeto e a empresa responsável pela sua implementação.

Serão fornecidas informações sobre a natureza do projeto, os seus objetivos, a sua missão e visão, bem como a sua estrutura organizacional, assim como a motivação por trás do desenvolvimento deste trabalho conclusivo do Mestrado em Engenharia Mecânica na área de especialização de Manufatura Avançada.

1.1 LEICA – APARELHOS ÓTICOS DE PRECISÃO, S.A.

A Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A. é uma empresa no concelho de Famalicão que, produz e procede á montagem de aparelhos óticos como câmaras, objetivas e aparelhos de ótica desportiva como binóculos ou miras. A fábrica em Portugal foi fundada em 1973 e a ideia seria esta apenas funcionar como local de auxilio á produção para Ernst Leitz Wetzlar GmbH, nos dias de hoje, a pequena fábrica em Famalicão transformou-se no principal produtor de produtos Leica, alguns destes produtos são fabricados e montados aqui e acabam por ser vendidos por lojas Leica e outros são vendidos por lojas desconectadas da Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A., uma boa parte do produto é também transportado e montado na Leica Wetzlar na Alemanha.



Figura 1 - Instalações Leica - Aparelhos óticos de precisão, S.A. Famalicão [1]

A fábrica Leica em Famalicão é dividida em 3 grandes secções produtivas, a Ótica, a Mecânica e a Montagem, como este estágio e dissertação foram desenvolvidos na secção da Mecânica, a maior

ênfase vai ser dada a essa secção, a Mecânica é subdividida em vários subsectores produtivos, desempenhando cada um a sua função dividindo-se por maquinagem e tratamentos de superfície [1].

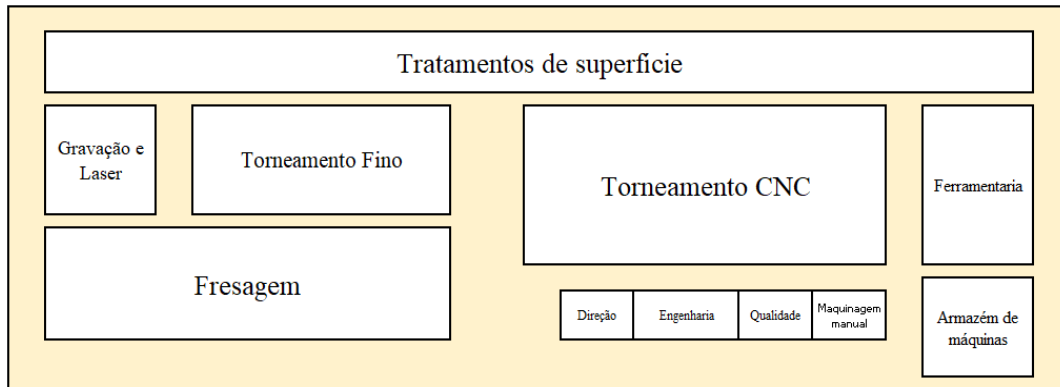


Figura 2 - Layout da secção da Mecânica

1.2 MOTIVAÇÃO

Foi identificado na Leica um problema de constância na sua linha produtiva na subsecção de areamento na área de tratamentos de superfície, sendo a Leica uma empresa com um padrão de qualidade do mais alto nível, cada peça é meticulosamente inspecionada e ao menor defeito a peça não segue a sua linha produtiva, este alto padrão de qualidade estava a causar uma alta taxa de rejeição de produtos que derivassem do areamento, isto deve-se ao processo em si de granalhagem ainda ser profundamente manual o que origina uma inconstância na produção, sabendo que é um processo com ainda assim imensas variáveis em jogo, por este motivo foi sugerido um projeto que consiste na tentativa de automatização do processo de granalhagem de algumas peças, daí o título “Estudo e parametrização do processo e procedimento de texturização superficial por granalhagem com vista á automatização e controlo de produção”.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo do tema proposto para a dissertação é a redução da taxa de rejeição de peças provenientes do processo de granalhagem. Para atingir esse objetivo, é necessário identificar e compreender as causas subjacentes aos defeitos e imperfeições nas peças e desenvolver estratégias eficazes para minimizar esses problemas, para isso vai ser necessário identificar as variáveis que mais influência possuem sobre o processo e com isso conseguir entender qual a melhor forma de garantir que as mesmas ficam constantes e só varia aquilo que é necessário variar, aumentando assim a rentabilidade do processo.

Já o capítulo da automatização explica qual o raciocínio por trás da resolução dos problemas inerentes ao desenvolvimento de um novo processo viável para a sua implementação, assim como a descrição do método utilizado para a confirmação que o processo desenvolvido ao longo da duração do estágio trata-se de uma opção viável e merecedora de um investimento de maior dimensão.

Finalmente, o último capítulo traduz todas as conclusões tiradas no decorrer do projeto assim como a sua discussão.

2 ESTADO DE ARTE

Este capítulo destina-se a dar a conhecer os diferentes setores e subsetores que operam na Leica, assim como outros fatores relevantes para o processo em estudo, que neste caso trata-se do processo de granalhagem ou areamento.

2.1 CONTROLO DE QUALIDADE

A secção de qualidade da Leica conta com aparelhos de medição de grande precisão e exatidão isto para garantir a fiabilidade dos resultados obtidos e para ter a capacidade de medir grandezas na ordem dos micrómetros, algo que é bastante normal e recorrente no decorrer da produção para garantir as propriedades geométricas que são pedidas na instrução de trabalho ou desenho técnico. O controlo de qualidade nem sempre é feito somente no laboratório da qualidade, existe uma outra secção no fim da produção em que os produtos são inspecionados para despistar algum tipo de defeito visual ou estrutural, esta secção funciona também como suporte ao laboratório da qualidade, como a Leica possui funcionários com bastante experiência e muitos anos de serviço, muitas vezes os próprios operadores fazem o despiste visual de defeitos, auxiliando o trabalho na medida em que a peça é retificada aquando da verificação do defeito, isto é o caso dos operadores da secção de areamento que através de um olho muito bem treinado conseguem identificar se a qualidade superficial da peça e corrigir o defeito antes de esta chegar a estágios mais avançados.

2.2 MAQUINAGEM

Os processos de maquinagem são técnicas utilizadas na indústria para dar forma a materiais brutos, como metais, plásticos e madeira. Esses processos envolvem a utilização de máquinas específicas para cortar, moldar ou perfurar esses materiais, a fim de produzir peças com as dimensões e características desejadas.

A área da mecânica, na fábrica Leica realiza vários tipos de processos de maquinagem, uns tradicionais e outros modernos para um número muito elevado de referências ou peças, todos os processos a seguir listados são alvo de um escrutínio muito elevado no sentido de otimizar ao máximo cada processo e tirar sempre o máximo de rendimento possível, tendo sempre em consideração o alto rigor dimensional e as tolerâncias apertadas exigidas para criar um produto de excelência.

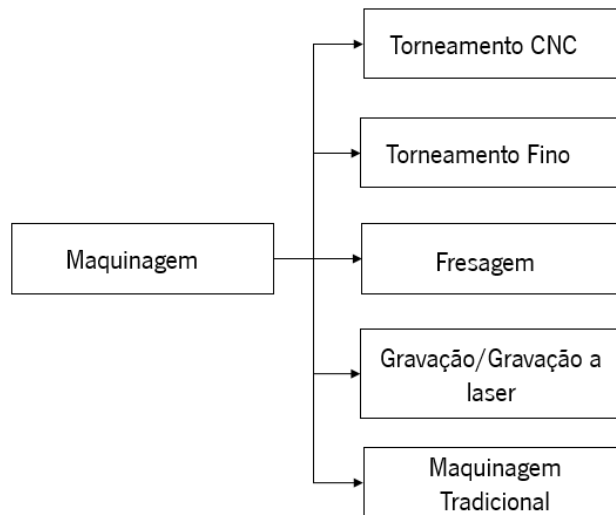


Figura 4 – Secções de maquinagem

2.2.1 TORNEAMENTO CNC

O processo de tornear é um método de manufatura por subtração, que é utilizado há décadas, esta operação consiste em prender o material a trabalhar num torno, com o auxílio de uma bucha e induzir neste material um movimento de rotação, enquanto a ferramenta a utilizar é segurada num suporte que realiza movimentos, a velocidade constante ao longo do eixo do material a tornear.

Um dos parâmetros utilizados para medir a eficiência de um processo de corte é a taxa de metal removido, esta taxa é obtida através do produto entre a velocidade de corte (V), a distância percorrida pela ferramenta por revolução (f) e a profundidade de corte usada pela ferramenta (w) [2].

$$V \cdot f \cdot w = \text{taxa de remoção de material} \quad (1)$$

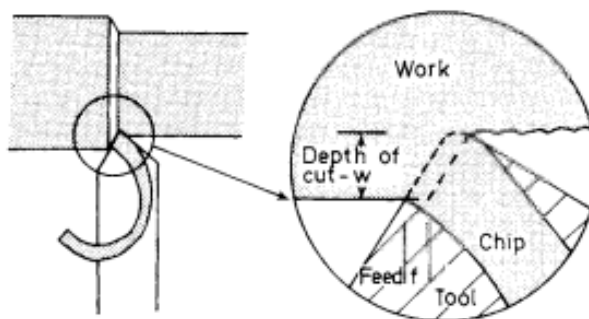


Figura 5 - Parâmetros de taxa de remoção de material [2]

No caso do torneamento CNC o processo mantém-se igual, assim como os seus princípios fundamentais, a grande diferença é que todo o processo de maquinagem é programado antecipadamente por programadores CNC especialmente formados para o efeito, garantindo assim uma maior cadência de produção e menos probabilidade de erro humano por parte do operador que estaria a controlar o torno, tendo este, a maior parte das vezes, apenas de desapertar a peça concluída e apertar o material a torner, é utilizado o código G, como linguagem de programação, não só para processos de torneamento como para processos de fresagem.

Na empresa em causa, a Leica, é utilizado maioritariamente o torneamento CNC, mesmo a empresa possuindo tornos manuais, estes só são utilizados para tarefas de pouco relevo. O torneamento na Leica está dividido em dois setores, um deles está mais associado a operações de desbaste de material, ou seja, operações com grande taxa de remoção de material neste setor estão localizadas as máquinas mais robustas da Leica que não são necessariamente as mais precisas, e o outro setor trata das operações de acabamento onde as máquinas têm de ser as mais precisas do mercado para conseguir produzir peças com o rigor dimensional exigido pela empresa.

2.2.2 TORNEAMENTO FINO

O torneamento fino é o setor da empresa onde são realizados os processos de acabamento de peças provenientes tanto da fresagem como da outra secção de torneamento, nesta secção as peças são cuidadosamente manuseadas e armazenadas de modo a que após serem feitas as operações de acabamento, a peça não seja danificada e/ou riscada, pois o mais pequeno risco ou defeito na peça, é razão suficiente para “sucatar”, termo utilizado na empresa para se referir a peças que por não estarem em conformidade não podem seguir para a frente na produção, o que é algo que obviamente causa prejuízo. Apesar de já terem sido realizados estudos com o objetivo de conseguir prever a rugosidade superficial após uma operação de torneamento com base em certos parâmetros de corte como velocidade de corte, avanço da ferramenta, profundidade de corte e vibração, criando um modelo analítico[3] este processo ainda depende bastante da experiência dos operadores para por vezes manipular estes parâmetros e obter o acabamento desejado [4].

Um bom acabamento superficial é essencial para melhorar certas propriedades mecânicas do produto como resistência á fadiga e resistência á corrosão, além disso um bom acabamento vai melhorar bastante o apelo estético do produto.

2.2.3 FRESAGEM

A fresagem caracteriza-se por ser também um processo de manufatura por subtração, ao contrário do torneamento, onde a ferramenta é apenas móvel ao longo do eixo do material a maquinar, na fresagem é induzido um movimento de rotação na ferramenta enquanto a peça a maquinar, permanece imóvel. Este processo caracteriza-se pela produção da aparas, que são fragmentos resultantes da retirada de material através de ferramentas de corte [5].

No caso da Leica, existem no chão de fábrica, fresas CNC de 4 e 5 eixos, estas são utilizadas de acordo com a complexidade da peça a ser executada, ou seja, uma peça mais simples ou com operações mais simples, vai ser maquinada numa máquina 4 eixos, enquanto uma peça com operações mais complexas terá de ser obrigatoriamente maquinada numa fresa 5 eixos.

Existe uma grande escolha no que toca a ferramentas, no caso da fresagem a ferramenta mais adequada deve ser escolhida, tendo sempre em consideração o tipo de operação de fresagem a ser executada, como por exemplo, uma operação de facejamento convém ser realizada por uma fresa de topo, ter a visão de qual ferramenta utilizar num processo e qual os parâmetros a alterar em relação a aqueles propostos pelo fabricante da ferramenta é algo que só vem com a experiência no terreno.

De modo a garantir um bom acabamento superficial ou simplesmente o acabamento desejado é normal os operadores mais especializados alterarem certos parâmetros de corte, um deles sendo a velocidade de avanço, parâmetro este que é convencionado ter a maior influência na qualidade superficial do objeto a maquinar [6] assim como o tipo de ferramenta de corte utilizada podendo esta variar a sua geometria, esta vai ter uma influência decisiva no desempenho da ferramenta de corte [7].

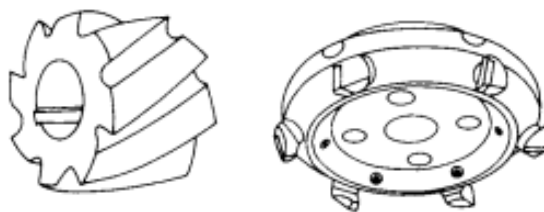


Figura 6 - Exemplos de ferramentas de corte na fresagem [2]

2.2.4 GRAVAÇÃO/GRAVAÇÃO A LASER

Quando é necessário gravar certas legendas, ou texto em peças metálicas, tradicionalmente é a última fase do processo de maquinagem e todas as peças são maquinadas individualmente de forma a garantir a profundidade e qualidade em todos os caracteres gravados.

Na Leica existem duas tecnologias distintas para a realização de gravações, uma é realizada por métodos mecânicos, com recurso a ferramentas de corte e outra é por laser.

A gravação mecânica consiste na remoção de material para a criação de um texto ou padrão na superfície desejada, este processo realiza-se através da utilização de uma ferramenta de corte, que pode ser uma broca, fresa ou outra ferramenta com geometria específica.

No caso do laser, a utilização do mesmo tem como objetivo atender á necessidade cada vez maior da realização de um bom acabamento superficial numa peça maquinada, os procedimentos de maquinagem a laser são então utilizados com o objetivo da redução de problemas tradicionais de ferramentaria que surgem com a maquinagem tradicional [8]. No caso da gravação a laser, trata-se de um processo onde a temperatura do laser é suficiente para ocorrer a vaporização do metal com que este contacta, a quantidade de metal removido assim como a rugosidade superficial vão ser dependentes de parâmetros como energia fornecida ao laser [9].

2.2.5 MAQUINAGEM TRADICIONAL

Existe na Leica uma pequena secção de maquinagem tradicional onde são desempenhadas algumas operações de acabamento, esta secção serve maioritariamente de apoio às secções de fresagem e torneamento, executando na sua maioria tarefas de finalização como tarefas de eliminação de rebarba e arestas vivas. Esta maquinaria mais antiga tipicamente apenas é utilizada por operadores com vários anos de experiência pois ao contrário do CNC. Por exemplo tornos e fresas tradicionais exigem um grande conhecimento do operador pois trata-se de máquinas extremamente complexos e pouco intuitivas aos mais leigos.

2.3 TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE

A Leica possui também uma secção, que se subdivide em vários processos, dedicada aos tratamentos de superfície, esta secção contrasta com o resto da área da mecânica pois é uma secção que conta com a maioria dos seus processos, a serem realizados de forma artesanal com recurso a técnicas que já são usadas á décadas.

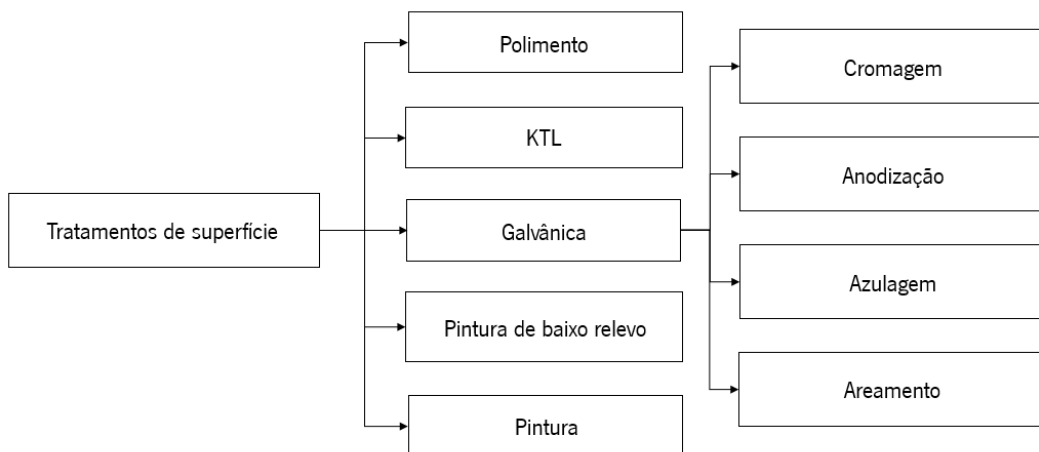


Figura 7 - Processos de tratamentos de superfícies existentes

2.3.1 POLIMENTO

Trata-se de um processo que á semelhança do areamento é extremamente manual e dependente da experiência e técnica do operador, já por isso o operador antes de ter um certo tempo a realizar aquela atividade só realiza o polimento de peça, cujo processo é considerado mais simples, peças consideradas mais complexas ou com geometrias mais exigentes, geralmente são deixadas para os operadores com já bastantes anos na empresa de modo a evitar grandes taxas de rejeição em peças mais caras. É utilizada uma lixadeira personalizada neste processo que utiliza lixas de papel, estes abrasivos são utilizados para cortar ou esmerilhar material que é necessariamente mais macio [10].

O polimento manual é fundamental para garantir que as peças fiquem com uma superfície lisa e uniforme, sem imperfeições ou arranhões. Isto é particularmente importante para as câmeras da Leica, que possuem acabamento impecável e precisão ótica excepcional. Os operadores que realizam o polimento manual são treinados para identificar pequenas imperfeições e corrigi-las cuidadosamente, utilizando técnicas refinadas e equipamentos de alta qualidade, um bom polimento vai também contribuir para o aumento da resistência á fadiga da peça [10].

2.3.2 AZULAGEM

Processo que consiste em conferir á peça um preparo antes da pintura, este serve para ajudar a uma melhor adesão da pintura ao objeto, assim como evitar a corrosão ao longo do ciclo de vida da peça. Devido á sua forte cor azul-escura após azular, o azulamento serve também como uma melhor base para a pintura adquirindo esta uma tonalidade mais forte, este é um processo utilizado em peças de latão.

Procedimento:

Primeiramente a peça é introduzida numa ferramenta especializada onde existe espaço para múltiplas peças, depois procede-se aos banhos da azulagem.

1º → Lavagem com ultrassom;

2º → Lavagem com água desmineralizada;

3º → É mergulhada a peça no banho, onde o operador induz movimento na ferramenta que sustenta as peças, de modo que todas as peças fiquem igualmente cobertas pelo "azul" [soda cáustica + amoníaco + cobre], este banho pode demorar cerca de 5 minutos.

4º → A peça é mergulhada em água quente e removida logo de seguida.

No fim desta sequência de banhos a peça deve ser soprada com ar comprimido para remover o excesso de água, depois deixá-la numa estufa por no mínimo 2 minutos de modo que a peça esteja seca para ser depois encaminhada para o próximo processo.



Figura 8 - Chapéus depois de "azular" prontos para a fase de pintura

2.3.3 ANODIZAÇÃO

A anodização é um processo bastante comum e bastante utilizado em várias casas de maquinagem, este processo tem como objetivo principal a formação de óxido de alumínio tornando a superfície da liga de alumínio utilizada extremamente dura, promovendo uma resistência á corrosão e uma resistência á abrasão, este processo tem uma boa estabilidade de cor e uma grande resistência a lascas ou descascar. Na Leica este processo está mais associado a peças constituídas por liga de alumínio [11].

Procedimento:

1º → A peça passa por uma lavagem onde vai a um banho de abrillantador, que é um produto para realizar um polimento químico por 20 segundos onde o objetivo é lavar bem a peça e livrá-la de por

exemplo resíduos de areia ainda na peça devido ao processo de areamento, estes resíduos caso não sejam removidos vão contaminar os banhos seguintes e vão prejudicar a anodização da própria peça;

2º → Dá-se então uma ativação por ácido nítrico com a finalidade de preparar a superfície da peça para a oxidação anódica, tornando a superfície da peça ácida este processo demora cerca de 10 segundos;

3º → Procede-se á oxidação anódica que vai formar porosidades na peça, para depois depositar corante nessas porosidades, a isto chama-se camada anódica e é constituída por óxido de alumínio e aniões provenientes da eletrólise. Este processo é rigorosamente controlado a nível de tempo tendo uma duração de precisamente 55 minutos, a voltagem e a concentração da solução é algo dependente da peça a anodizar, sendo estes parâmetros regulados pelo operador;

4º → O passo seguinte é o banho no corante, normalmente de cor negra, que vai preencher os poros formados na camada anódica, para mais tarde se proceder ao seu selamento, este banho no corante dura entre 45 e 50 minutos;

5º → Já com o corante a preencher os poros da camada anódica, procede-se então ao processo de colmatagem, que nada mais é do que a aplicação de uma camada de selante na superfície da peça, de modo a que esta camada adira bem á peça, esta fica mergulhada no selante por 1 hora;

6º → Por fim quando a peça sai do banho de selante, esta passa 20 minutos na estufa, de modo a secar a peça para esta ser melhor manuseada pelos operadores do controlo de qualidade.

É importante referir que no final de cada fase a peça é mergulhada em tanques de água desmineralizada ou industrial, específicos entre cada etapa. Este procedimento pode variar, de acordo com a instrução de trabalho requerida. Exemplo: Anexo B: e Anexo C:.

2.3.4 CROMAGEM

Normalmente as peças que são sujeitas á cromagem, são peças constituídas por latão, não é um processo que tem tanta produção como a anodização pelo facto de que a maior parte das peças que são produzidas são em liga de alumínio logo existe uma necessidade maior de ter mais cadência de produção, outro contraste da cromagem em relação á anodização, é que este trata-se de um processo totalmente automático, ou seja, é apenas requerido um operador para colocar as peças na grade específica da cromagem e por sua vez um guincho automatizado levanta a grade, que é fixa nele por uma ligação de encaixe por gravidade, e mergulha a grade juntamente com as peças em cada tanque por uma quantidade pré-determinada de tempo em cada tanque, e posteriormente o operador torna a retirar a grade, e da grade retira as peças, a seguir reiniciando o ciclo.

A cromagem, consiste num processo eletrolítico de deposição de crómio com o objetivo de melhorar o aspeto visual, aumentar a dureza e aumentar a resistência ao desgaste de uma peça, este processo geralmente é realizado após uma niquelagem, processo esse que também tem como objetivo conferir uma maior resistência á corrosão além de facilitar o processo de cromagem. Existem diferentes tipos de processos de cromagem, mas aquele utilizado na Leica é o mais comum, a cromagem por imersão, este processo conta com os seus banhos intercalados com várias lavagens de modo a remover impurezas e gorduras para estes não atrapalharem o tratamento de superfície [12].

O processo de cromagem é ainda algo que em certos locais trata-se de um processo ainda muito tradicional, sendo o processo químico visto por alguns como uma “receita” a existência desta mentalidade prova que este processo ainda tem muito a evoluir e otimizar, experimentando com variáveis como a condutividade do banho ou o espaçamento do ânodo para o cátodo [13].

Procedimento:

- 1º. LIMPEZA DA SUPERFÍCIE DA PEÇA: A PEÇA É CUIDADOSAMENTE LIMPA PARA REMOVER QUALQUER SUJIDADE, OXIDAÇÃO OU IMPUREZAS QUE POSSAM AFETAR A QUALIDADE DA CROMAGEM.
- 2º. PREPARAÇÃO QUÍMICA: A PEÇA É SUBMERSA NUMA SOLUÇÃO QUÍMICA DE PREPARAÇÃO QUE REMOVE A CAMADA PROTETORA DE ÓXIDO QUE PODE ESTAR PRESENTE EM ALGUNS METAIS.
- 3º. NIQUELAGEM: A PEÇA É SUBMERSA NUMA SOLUÇÃO ELETROLÍTICA DE NÍQUEL PARA DEPOSITAR UMA CAMADA UNIFORME E ADERENTE DE NÍQUEL SOBRE A SUPERFÍCIE DA PEÇA.
- 4º. CROMAGEM: APÓS A CAMADA DE NÍQUEL, A PEÇA É SUBMERSA NUMA SOLUÇÃO ELETROLÍTICA DE CRÓMIO, ONDE UMA CAMADA FINA E UNIFORME DE CRÓMIO É DEPOSITADA SOBRE A CAMADA DE NÍQUEL.
- 5º. PÓS-TRATAMENTO: POR FIM, A PEÇA É RETIRADA DO BANHO DE CROMAGEM E LAVADA COM ÁGUA PARA REMOVER QUAISQUER RESÍDUOS DE PRODUTOS QUÍMICOS.

É importante referir que antes e depois de cada etapa, a peça é mergulhada em banhos de água desmineralizada, assim como na anodização, com o objetivo de remover produtos químicos da etapa passada e não contaminar os próximos banhos.

2.3.5 KTL (KATHODISCHE TAUCHLACKIERUNG) – PINTURA CATAFORÉTICA

O KTL é uma técnica de pintura por eletrodeposição que é executada nas peças de magnésio, com o objetivo de tornar as peças submetidas a esse processo mais resistentes á corrosão, mais uma vez este é um processo que tem de ser cuidadosamente controlado, caso contrário o resultado obtido não vai ser o que se pretende. O magnésio quando exposto ao ar ou a ambientes húmidos, este sofre

oxidação a um ritmo muito acelerado, assim como quando se encontra em contacto com outros metais este é bastante suscetível á corrosão galvânica. [14].

Para a aplicação do KTL a peça começa o seu processo por uma lavagem por ultrassons, onde é removido desta vestígios ou resíduos deixados por operações anteriores, num próximo passo é peça é desoxidada fazendo o uso de um ácido, após o banho ácido á água vai a um banho de água desmineralizada, limpando-a de resíduos ácidos vestigiais, tornando a peça pronta para a etapa de passivação, que confere ao magnésio propriedades que auxiliam o material a resistir á corrosão, mais uma vez a peça submetida a um banho de água industrial e é levado a uma estufa por um determinado tempo para secar, por fim as peças são submetidas a um banho de tinta em tanques específicos onde a quantidade de tinta que fica agarrada á peça é dependente da voltagem aplicada á maquina. Todas estas etapas são controladas por um intervalo de tempo, pH e temperatura específicos cruciais ao resultado final.

2.3.6 PINTURA

A pintura refere-se neste caso a uma secção na Leica onde é conferida às peças uma pintura com o principal objetivo de decorar e embelezar a peça, nesta divisão da Leica, é utilizada a pintura por pulverização com recurso a pistolas de pintura que são alimentadas por ar comprimido, um sistema relativamente semelhante aquele que é utilizado na secção de granalhagem da Leica, também á semelhança do areamento é o uso de mecanismos para isolar zonas da peça que não são para pintar, com uma certa cor. Além de pintadas manualmente, estas tem de ser pintadas uma a uma, garantindo sempre o critério de qualidade esperado e exigido pelo padrão Leica. Algumas destas peças após a pintura tem de ser curadas num forno a uma temperatura e tempo pré-definidos dependendo do material de qual a peça é constituída. A tinta utilizada é dividida em duas classes, que são as tintas *matte* e as tintas com brilho. É também bastante recorrente o uso de uma tinta primária para dar á peça uma boa base de aderência á tinta final [15].

No que toca a defeitos na peça, é permitido ao operador remediar certos defeitos, que sejam provenientes de operações anteriores, como por exemplo se se tratar de uma zona onde existe excesso de material, é habitual o operador lixar ou então colocar uma pasta de enchimento, dependendo se existe falta ou excesso de material, em pequenas zonas e depois proceder-se á pintura, no caso de defeito maiores, isto já não acontece e tem de ser removida toda a tinta da peça para se proceder á sua reparação.

2.3.7 PBR – PINTURA DE BAIXO RELEVO

A pintura de baixo relevo trata-se de um processo de acabamento utilizado na Leica, que tem como objetivo a coloração das partes da peça que foram sujeitas ao processo de gravação ou gravação a laser, é um processo de grande precisão e tal como outros procedimentos na Leica este ainda é realizado manualmente pois é um procedimento que já tem bastante tradição na empresa e é bastante complicado de automatizar.

Este processo consiste na injeção de tinta por meio de uma seringa diretamente nas cavidades gravadas da peça, a quantidade de tinta injetada e o posicionamento da seringa são variáveis que só o operador tem controlo, após a tinta ser injetada na gravação, é permitido a esta secar por aproximadamente 15 minutos, e após este intervalo de tempo é removido o excesso de tinta na peça com o recurso a acetona. O resultado final é uma peça mais detalhada, e no caso das objetivas ou botões, ficam com a escala muito mais visível e identificável, aumentando assim o valor e utilidade da peça. O facto de ser um processo manual acrescenta ainda mais autenticidade e exclusividade á peça.

2.3.8 LAVAGEM

Qualquer peça antes de ser areada tem de ser submetida a um processo de lavagem, para livrar a peça de contaminantes provenientes de processos anteriores, estes contaminantes podem ser fluidos de corte, como óleos, na Leica é utilizado o óleo para maquinar peças em latão ou aço e uma emulsão de óleo em água para maquinar peças em liga de alumínio ou titânio. Outro contaminante bastante comum é o sebo da pele humana, por essa razão todas as peças na secção do areamento, polimento e galvânica devem ser manuseadas com luvas de borracha ou tecido, mas por vezes certas peças são acidentalmente manuseadas sem as luvas adequadas daí a necessidade de considerar este fator, outro grande contaminante são as partículas da própria peça libertadas durante o polimento, estes contaminantes não devem estar na peça durante o processo de areamento pois além de resultar num mau areamento, vai contaminar o próprio abrasivo ou areia, que consta na máquina prejudicando o areamento das peças seguintes.

2.4 AREAMENTO

Areamento é o nome dado pelos operadores da Leica á secção onde são realizados os processos de granalhagem exigidos para o produto ter o toque e o aspeto visual esperado, é também o nome dado ao processo de em si de granalhagem pelos operários logo é possível concluir a importância desta secção pois é desde aqui que é possível controlar o brilho e a rugosidade de cada peça. Além de este ser um

processo ainda muito manual, pois o método de trabalho é complicado de automatizar e/ou simplificar devido ao elevado número de referências que transpõem esta secção diariamente. Apesar de todos os operadores terem bastante experiência e apresentarem grande habilidade no seu trabalho, cada um tem a sua forma ou método de trabalho ou seja cada um tem uma forma distinta de manusear a peça, seguindo sempre algumas regras gerais básicas convencionadas entre eles, como por exemplo, manusear sempre as peças com luvas de látex, ao rotacionar as peças ter sempre o cuidado de não colocar os dedos ou outra parte do corpo a bloquear o jato de areia isto para deixar a superfície granalhada uniforme, e outras regras que foram desenvolvidas ao longo do tempo através de muita experimentação e horas de trabalho [16].

Apesar do efeito principal da granalhagem na Leica ser o controlo do aspeto superficial das peças, este trata-se de um processo que também contribui para a melhoria das propriedades mecânicas tais como resistência à fadiga, através da indução de tensões residuais de compressão resultantes do impacto do abrasivo na superfície alvo.

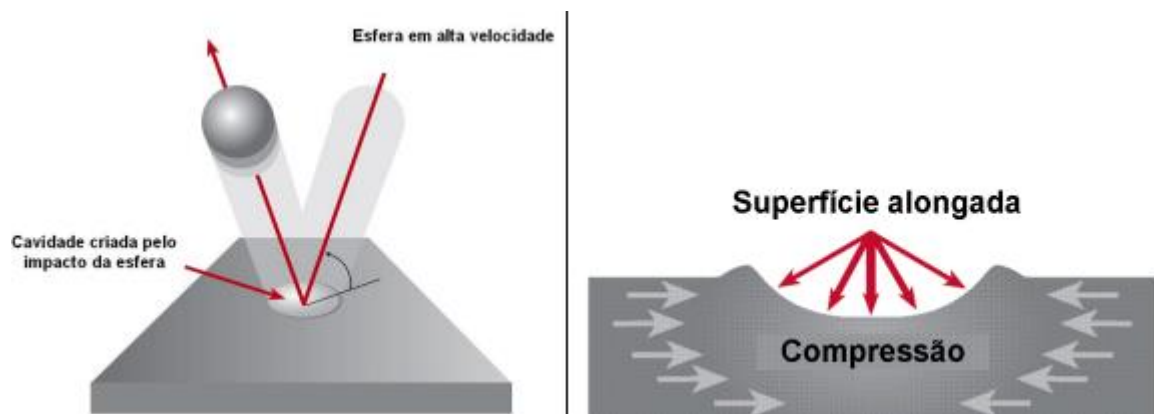


Figura 9 - Impacto do abrasivo numa superfície plana [16]

Existem dois tipos de máquinas na secção de areamento, cinco delas utilizam um sistema de ar comprimido por sucção e apenas uma funciona por pressão direta esta máquina é também a mais antiga da secção e a única que funciona com um abrasivo que é uma mistura de esferas de vidro com granalha de aço.

2.4.1 PRINCÍPIOS FÍSICOS DO PROCESSO DE GRANALHAGEM

O processo de granalhagem tem em si um princípio físico bastante simples, neste processo dá-se a transferência de energia cinética entre as partículas de granalha e a superfície da peça a ser tratada. Quando as partículas de granalha são projetadas na superfície da peça com alta velocidade, elas colidem com a superfície, transferindo sua energia cinética para a peça. Essa energia cinética é suficiente para remover as impurezas e outros materiais indesejados da superfície da peça, ou seja é importante ter em

conta a massa da partícula que embate com a superfície a granalhar e a energia cinética que esta partícula carrega. Estes valores são obtidos através de duas fórmulas [17].

$$m = \rho \times \frac{(4 \times \pi \times r^3)}{3} \quad (2)$$

$$E_c = \frac{(m \times v)^2}{2} \quad (3)$$

2.4.2 SELEÇÃO DO ABRASIVO A UTILIZAR

Para a seleção do abrasivo mais indicado para se proceder ao processo de granalhagem, é necessário ter em conta certos requisitos contemplados na norma Leica ES-T-29/00, o propósito desta norma é abranger as condições às quais as peças produzidas na Leica estão sujeitas para o areamento, esses requisitos são:

-
- A MORFOLOGIA DO ABRASIVO DEVE SER ADEQUADA;
 - O ABRASIVO DEVE SER QUIMICAMENTE INERTE EM RELAÇÃO À PEÇA;
 - QUANDO NO DESENHO TÉCNICO A RUGOSIDADE SUPERFICIAL É UM CRITÉRIO, É IMPERATIVO TER EM CONTA A GRANULOMETRIA DO ABRASIVO UTILIZADO, ESTA DEVE GARANTIR A NÃO ALTERAÇÃO DA GEOMETRIA OU EMPENAMENTO DA PEÇA.

2.4.3 ABRASIVOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE GRANALHAGEM

Existem vários tipos de abrasivos que podem ser utilizados no processo de granalhagem, como a granalha plástica, a granalha cerâmica, a granalha em inox, o silicato de alumínio, entre outros, no entanto na Leica apenas são utilizados três tipos de abrasivos diferentes, um deles é a granalha de aço, outro é o óxido de alumínio (coríndon castanho ou branco) e por último é utilizada a granalha de aço, embora não seja utilizada pura pois esta é usada numa máquina cujo seu abrasivo é uma mistura de granalha de aço com microesferas de vidro com o objetivo de suavizar o efeito da granalha de aço, pois quando usado sozinho este abrasivo é demasiadamente agressivo para as peças em alumínio que são granalhadas podendo a peça ficar deformada ou com rebarbas devido ao abrasivo.

AREIA DE CORINDON

A areia de coríndon é um abrasivo que pode ser utilizado em duas variantes, a variante castanha e a variante branca, ambas são classificadas como óxido de alumínio, sendo a branca livre de impurezas ou seja óxido de alumínio na sua forma mais pura, enquanto a variante castanha tem na sua composição concentrações mais altas de compostos como dióxido de silício (SiO_2), dióxido de ferro (Fe_2O_3), dióxido de

Titânio (TiO_2), óxido de sódio (Na_2O) entre outros. O coríndon trata-se de um abrasivo que dá á peça areada uma aparência bastante *matte*, sendo esta areia ideal para metais mais duros e com melhores propriedades mecânicas, no caso da Leica este é usado mais tipicamente em operações de granalhagem de latão, e raramente é utilizado em referências constituídas por uma liga de alumínio.

MICROESFERAS DE VIDRO

Ao contrário da areia de coríndon as microesferas de vidro tratam-se de um abrasivo muito mais suave que é bastante comum ser utilizado numa fase de segundo areamento para dar um brilho adicional a uma peça já anodizada, uma referência constituída por uma liga de alumínio que teve contacto com um abrasivo de vidro vai ficar com uma aparência muito mais brilhante em comparação ao coríndon, isto deve-se também á granulometria muito reduzida utilizada na Leica que está dentro dos 90-150 microns, um grão que ao toque é facilmente confundível com pó, este abrasivo é extensivamente utilizado para objetos constituídos por uma liga de alumínio no caso da Leica, mas é também muito utilizado para limpeza de moldes, motores, rebarbas e preparação de superfícies [18]. É importante referir que ao longo do ciclo de trabalho as microesferas vão se partindo e os resíduos destas microesferas vão se misturando com as microesferas ainda intactas, apesar de existir um filtro este não consegue filtrar todas as partículas, o que vai afetar a microestrutura da peça dando a esta um acabamento diferente daquele que era esperado. Para contrariar isto, procede-se á troca da areia no fim de cada turno, ou seja, no fim de oito horas de serviço da máquina a areia é mudada por precaução.

GRANALHA DE AÇO

A granalha de aço trata-se de um abrasivo bastante duro e resistente que vai resistir a muito mais impactos com a peça do que por exemplo as microesferas de vidro.

Esta granalha caracteriza-se por existir com geometrias diferentes, esférica e angular, no entanto na Leica é apenas utilizada a granalha de aço esférica, este abrasivo conta com uma dureza compreendida entre 46 – 51 HRC e é constituída um aço hipereutectóide pela sua constituição alta em carbono [19]. Sabendo que as partículas de granalha de aço são bastante resistentes não existe necessidade de mudar o abrasivo tão frequentemente.

2.4.4 LAYOUT DA SECÇÃO DE AREAMENTO

Como já foi referido existem um total de seis máquinas de granalhagem, e cada uma é operada por um operador de cada vez, para uma melhoria da eficiência existem dois turnos de operadores, há o

turno da manhã que ocupa as seis máquinas e existe um turno da tarde onde operam apenas quatro operadores e vão utilizando as máquinas à medida que é necessário.

A disposição destas máquinas é importantíssima para não prejudicar o *workflow* de toda a secção permitindo aos operadores circular livremente por toda aquela área, são necessários ter em conta os armários onde as peças e mecanismos estão armazenados para organizar o espaço da melhor e mais otimizada forma, sabendo que diariamente várias peças são transportadas para dentro e para fora desta secção, se o caminho estiver impedido facilmente é provocado ali um acidente onde várias peças podem ficar danificadas e existe também o perigo de lesões aos operadores.

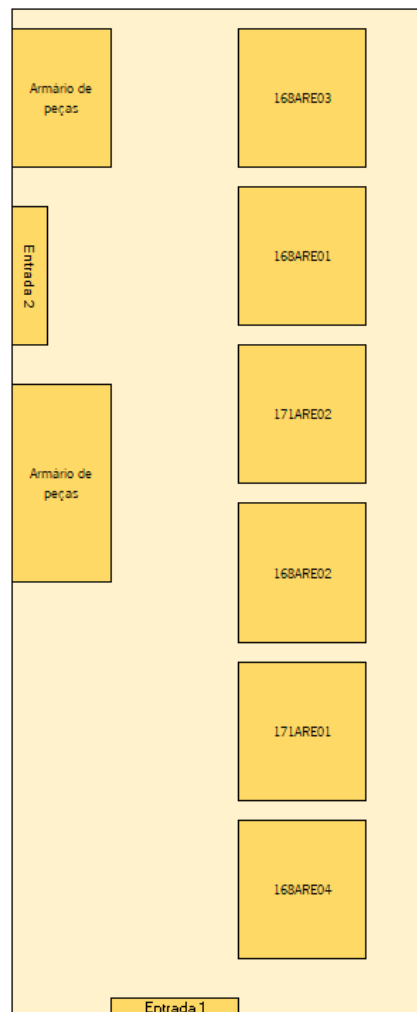


Figura 10 - Esquema layout secção areamento

2.4.5 INFLUÊNCIA DA GRANALHAGEM NA APARÊNCIA EXTERIOR DA PEÇA

O processo de granalhagem vai diretamente influenciar o aspeto final da peça em questão e o capítulo presente tem a finalidade de explicar em que medida o aspeto visual vai ser comprometido ou não com um processo de granalhagem correto ou incorreto.

DEFINIÇÃO DE “BOM AREAMENTO”

Quando na secção de areamento da Leica se refere que uma peça foi “bem areada” quer dizer que o processo de granalhagem foi executado com sucesso, pois o termo “areamento” é normalmente usado em detrimento do termo “granalhagem” ou “jateamento abrasivo” quando em contexto de chão de fábrica. Isto pode-se verificar dependendo de vários fatores, como por exemplo o tipo de abrasivo utilizado vai ter grande influência no aspeto visual que a peça vai assumir aquando terminar de ser “areada”. A área de galvanica trabalha muito em sinergia com o areamento por isto mesmo, sendo possível proceder-se á correção de certos defeitos por vezes no mesmo momento em que são detetados pelos operadores tanto da galvanica como do areamento.

DEFEITOS QUE PODEM SURTIR ANTES OU APÓS O PROCESSO DE GRANALHAGEM

Manchas → É bastante comum que após o areamento surjam manchas nas peças, estas manchas podem ser de óleos, previamente administrados na peça para a realização de processos de maquinagem, mesmo que antes do processo de granalhagem se proceda a uma boa lavagem das peças, conforme o procedimento com lavagem por ultrassons seguido do banho em tinas de água desmineralizada e posterior secagem, ainda existe a probabilidade de às peças reterem um pouco de lubrificante, proveniente da maquinagem, na sua rosca ou então dependendo do tipo de dispositivo usado para se proceder á lavagem, o lubrificante residual pode ficar armazenado no fundo da peça causando a mesma permanecer manchada.



Figura 11 - Peça manchada por conta do seu armazenamento em caixa

Pequenos riscos → A aparição de pequenos riscos é bastante comum, muito pelo motivo de que as peças no dia a dia são bastante movimentadas e transportadas de secção em secção, se as peças não se encontrarem bem acomodadas correm o risco de contactar umas com as outras, e o contacto de metal com metal vai causar ou amolgadelas ou pequenos riscos na própria peça, existe também sempre

o ocasional acidente no sentido em que algum operador pode simplesmente deixar cair uma peça ou uma caixa de peças, mais uma vez, causando amolgadelas e pequenos riscos na superfície da peça.



Figura 12 - Peça com várias indentações na sua superfície

Sombras → No contexto do processo de granalhagem uma sombra refere-se a uma zona da peça que não foi areada devido a outra zona, ou o dedo do próprio operador, proteger acidentalmente a superfície daquela região do jato de areia, conferindo á mesma um acabamento superficial diferente, ou seja, um aspeto visual diferente da restante área areada. A única maneira de evitar o aparecimento destas sombras é a utilização de uma correta técnica de granalhagem, é bastante comum inclinar ligeiramente o componente para evitar a formação de zonas com sombras e também evitar o acumulo de areia em certas zonas da peça, este acumulo de material abrasivo acontece quando a areia é depositada numa zona reta do artigo areado e permanece lá evitando que o abrasivo que vem do jato com grande velocidade contacte com a superfície do objeto anulando o efeito do mesmo, causando uma sombra nesse mesmo local.

Estes defeitos são revistos pelo controlo de qualidade na galvânica, que os avalia segundo a qualidade exigida na peça, de acordo com a norma de qualidade Leica IMP-O-72/01, ver o Anexo D; esta avaliação apenas ocorre após a peça ter sido submetida á anodização ou á cromagem, no caso do processo de azulagem as peças não são submetidas ao controlo na galvânica, pois sabendo que estas peças vão seguir para a pintura, a maior parte dos defeitos do objeto em questão vão ficar mascarados por uma grossa camada de tinta.

INFLUÊNCIA NA ANODIZAÇÃO E NA CROMAGEM

O tipo de abrasivo vai ser o principal fator na diferença do aspeto visual, sendo que as peças sujeitas á granalhagem com o abrasivo de coríndon vão assumir sempre uma aparência mais *matte* do

que aquelas que sofreram granalhagem com o abrasivo de microesferas de vidro. Além disso o processo de granalhagem vai também contribuir para a aderência da camada anódica, no caso da anodização, ao objeto e no caso da cromagem vai melhorar a aderência da camada de níquel á peça, este fenómeno deve-se á criação de “vales”, no local onde as partículas de abrasivo embatem na peça, que vão facilitar a deposição destes tratamentos de superfície, e o abrasivo acaba também por limpar a peça removendo qualquer impureza na superfície que pudesse atrapalhar na adesão do tratamento químico á peça [20].

2.5 MÉTODO DE TAGUCHI

O Método de Taguchi, desenvolvido por Genichi Taguchi, é uma abordagem estatística amplamente utilizada na indústria para melhorar a qualidade dos produtos e processos. O método baseia-se em uma filosofia de "robustez", buscando reduzir a variabilidade e tornar os produtos menos sensíveis a variações nos fatores de controlo. Este método foi utilizado neste projeto com o objetivo de avaliar a influência de cada variável estudada sobre o processo e além disso encontrar a combinação ou combinações ideais de níveis de variáveis.

O Método de Taguchi envolve várias etapas, a primeira seria a identificação dos parâmetros do processo que têm influência na qualidade do produto final. Esses parâmetros são denominados fatores de controlo e podem incluir características do material, configurações de máquinas, velocidades de produção, entre outros.

Uma vez identificados os fatores de controlo, é necessário determinar os seus níveis ideais. Esses níveis podem ser específicos, como uma temperatura precisa, ou faixas de valores dentro dos quais o fator pode variar. O objetivo é determinar os valores dos fatores que proporcionam o melhor desempenho e a melhor qualidade do produto, de seguida a próxima etapa é a projeção de uma matriz de experiências, também conhecida como plano de experimentação. Este plano especifica as combinações dos níveis dos fatores que serão testadas. O objetivo é obter informações suficientes para avaliar o efeito de cada fator e possíveis interações entre eles.

Ao conduzir os experimentos de acordo com o plano definido, é necessário adquirir dados sobre a qualidade do produto em cada combinação de níveis dos fatores. Esses dados podem incluir medidas de dimensões, resistência, tempo de resposta, entre outros.

A análise de sinal/ruído (SN) é uma etapa fundamental do Método de Taguchi. Ela envolve a aplicação de técnicas estatísticas para avaliar a influência dos fatores de controlo na qualidade do produto. O objetivo é identificar a combinação de níveis dos fatores que minimize o impacto do ruído

(variações indesejadas) e maximize o sinal (desempenho desejado). A análise de SN ajuda a determinar os ajustes ótimos dos fatores para alcançar uma qualidade robusta e estável.

Finalmente, o Método de Taguchi também considera a tolerância à variação, e esta análise á variação é feita com recurso a uma análise ANOVA. Isso significa projetar produtos e processos que sejam menos sensíveis a variações inevitáveis, tornando-os mais robustos e menos propensos a defeitos.

Em resumo, o Método de Taguchi é uma abordagem estatística sistemática para o projeto e melhoria de produtos e processos, ele visa minimizar a variabilidade e otimizar a qualidade, considerando fatores de controlo, níveis ideais, análise de sinal/ruído e tolerância à variação. Ao aplicar esse método, as empresas podem obter melhorias significativas na qualidade dos produtos, reduzir custos e aumentar a satisfação do cliente [21].

Run #	a	b	c	d	e	X
1	1	1	1	1	1	X_1
2	1	2	2	2	2	X_2
3	1	3	3	3	3	X_3
4	2	1	1	2	2	X_4
5	2	2	2	3	3	X_5
6	2	3	3	1	1	X_6
7	3	1	2	1	3	X_7
8	3	2	3	2	1	X_8
9	3	3	1	3	2	X_9
10	1	1	3	3	2	X_{10}
11	1	2	1	1	3	X_{11}
12	1	3	2	2	1	X_{12}
13	2	1	2	3	1	X_{13}
14	2	2	3	1	2	X_{14}
15	2	3	1	2	3	X_{15}
16	3	1	3	2	3	X_{16}
17	3	2	1	3	1	X_{17}
18	3	3	2	1	2	X_{18}

Figura 13 - Matriz ortogonal L18

3 PARAMETRIZAÇÃO DO PROCESSO DE GRANALHAGEM

A identificação e isolamento de variáveis é uma etapa fundamental em muitos processos de análise e tomada de decisão. Para que se possa compreender e prever corretamente os efeitos de diferentes fatores ou parâmetros em um determinado sistema, neste caso no processo de granalhagem, é necessário separar e examinar cuidadosamente cada uma das variáveis envolvidas. Quando se trabalha com dados complexos ou situações que envolvem múltiplas influências, identificar e isolar cada variável pode ser desafiante, mas é essencial para se obter resultados confiáveis e precisos, o processo de granalhagem é um processo que talvez á primeira vista pareça simples, para pessoas mais leigas no assunto, mas quando inspecionado e analisado com tempo é possível verificar que existem inúmeras variáveis que vão ter mais ou menos peso no resultado final. Para este estudo decidiu-se desprezar as diferenças em acabamento provocadas pelo corindon branco em relação ao castanho, pois estas não são suficientemente expressivas, não afetando assim os resultados do abrasivo corindon.

Através do diálogo extensivo ao longo das semanas com os operadores e também através da experimentação prática em contexto de produção foi possível identificar diferentes variáveis que foram consideradas como principais. É de lembrar que ainda assim existem outras variáveis que influenciam sim o resultado obtido, mas este tipo de variáveis, não possuem o mesmo peso e influência direta para se justificar fazer um estudo mais aprofundado delas, ainda assim é importante saber que elas existem e entender o porquê da sua influência.

3.1 TESTES INICIAIS DE PARAMETRIZAÇÃO

Para identificar corretamente cada variável e avaliar a sua influência foi criado um procedimento experimental com o intuito de ser implementado na secção de areamento da Leica.

O procedimento consiste em escolher um tipo de peça de geometria anelar com um diâmetro de atravancamento de aproximadamente 31mm para a realização do processo de granalhagem. Para a fiabilidade de resultados foi utilizada a mesma peça de liga de alumínio, que contava com a sua superfície com um acabamento superficial já preparado para o estudo do processo de granalhagem, este objeto é o restante de uma operação de sangramento para o fabrico de uma outra referência, o que fez com que esta estivesse á disposição em grande quantidade, o que é perfeito pois são necessários bastantes objetos de estudo, para a correta análise da influência das variáveis.



Figura 14 - Objeto de estudo e mecanismo de proteção da rosca utilizado

Embora outros materiais como o latão também sejam utilizados no fabrico de novas peças, é seguro dizer que objetos em liga de alumínio representam a maior parte das referências produzidas na Leica.

Além disso estes testes foram realizados em cinco das seis máquinas, não tendo a máquina que possui o abrasivo esferas de vidro + granalha de aço, sido submetida ao estudo.

Primeiramente foram estabelecidos os intervalos de valores que seriam estudados para cada variável, uma vez que não fazia sentido estudar valores que não seriam aplicados no dia-a-dia pelos operadores, foram escolhidos três valores para cada variável ou intervalos de valores que são iguais ou se aproximam daquilo que representa o processo no dia-a-dia da produção. Procedeu-se ao areamento da parte exterior da peça com o mecanismo.

Ao longo do teste foi necessário manter a mesma técnica utilizada impossibilitando o operador de realizar a granalhagem da forma que está mais habituado, o que mais uma vez, vai contribuir para a fiabilidade dos resultados e para a repetibilidade do processo, apesar do objeto de estudo não ter valor económico para a empresa foi utilizado um mecanismo para proteção da rosca exterior com o objetivo de manter o realismo do processo realizado.



Figura 15 - Local de granalhagem sujeito a análise

No final do processo de granalhagem, as peças que foram submetidas ao processo de granalhagem com o abrasivo Coríndon seguiram para anodização segundo a instrução de trabalho Obfl 356 (Anexo C:), e os objetos de estudos que foram granalhados com o abrasivo microesferas de vidro seguiram também para anodização segundo a instrução de trabalho Obfl 354 (Anexo B:).



Figura 16 - Peça anodizada

3.1.1 PRESSÃO DE JATEAMENTO

A pressão por ser um parâmetro que é controlado na máquina em si e pode ser facilmente customizado através do girar de uma manivela, torna-se no parâmetro mais fácil de controlar pois não está dependente do operador. Além disso a pressão de jateamento é o único parâmetro que influencia a velocidade de saída do abrasivo do bico de areamento.

Através do contacto direto com os operadores em contexto de chão de fábrica foi possível concluir que existe um valor convencionado como normal atribuído por eles, a cada máquina e embora este valor seja sujeito a variações dependendo das peças e da fase produtiva em que estas se encontram, por exemplo uma peça que vai ser “decapada”, processo para remover o tratamento de superfície a que a peça foi sujeita, normalmente é sempre alvo de uma pressão de granalhagem maior do que uma peça que seja submetida ao seu primeiro areamento.

Para a realização dos testes foram estabelecidos os seguintes valores de pressão para serem testados (Tabela 1 - Valores de pressão considerados para cada máquina). Mais uma vez, estes valores foram deduzidos através do diálogo com os operadores, e embora ocasionalmente possa aparecer uma referência que obrigue os operadores a trabalhar fora destes intervalos, estes ainda assim representam a maioria da utilização de cada máquina.

Tabela 1 - Valores de pressão considerados para cada máquina

	Pressão (bar)
168ARE01	2,1
	2,4
	2,7

	Pressão (bar)
168ARE02	1,4
	1,8
	2,2

	Pressão (bar)
168ARE04	1,5
	2
	2,5

	Pressão (bar)
171ARE01	1,4
	1,8
	2,2

	Pressão (bar)
171ARE02	1,4
	1,8
	2,2

3.1.2 DISTÂNCIA AO BICO DE GRANALHAGEM

Para o controle deste parâmetro, inicialmente foi medida a distância da ponta do bico de granalhagem até ao “chão” da máquina, posteriormente essa distância foi dividida em três partes ou três intervalos de valores, pois como as peças têm um atravancamento associado e são manuseadas manualmente seria difícil estabelecer uma distância específica para o operador manter a peça, logo faz sentido recorrermos a intervalos de valores.

É posto como hipótese que como o jato de areia, que é expelido pela máquina, tem um formato cônico, as partículas de abrasivo que inicialmente estão no ponto de maior concentração junto ao bico são dispersadas até que atingem o “chão” da máquina lugar esse onde o jato se encontra mais disperso e as partículas de abrasivo, mais espaçadas entre si. Este acréscimo de espaço entre as partículas pode então contribuir para uma qualidade superficial diferente, afetando parâmetros como rugosidade por

exemplo numa peça que foi areada perto do bico ou longe devido às partículas embaterem na peça de uma forma menos compacta.

Foram então estabelecidas as seguintes distâncias:

168ARE01

Distância total = 260mm

0 - 80mm → Distância mais afastada do bico

80 - 160mm → Distância intermédia em relação ao bico

160mm - ponta do bico → Distância mais próxima do bico

168ARE02

Distância total = 310mm

0 - 103mm → Distância mais afastada do bico

103 - 206mm → Distância intermédia em relação ao bico

200mm - ponta do bico → Distância mais próxima do bico

168ARE04

Distância total = 275mm

0 - 90mm → Distância mais afastada do bico

90 - 180mm → Distância intermédia em relação ao bico

180mm - ponta do bico → Distância mais próxima do bico

171ARE01

Distância total = 350mm

0 - 110mm → Distância mais afastada do bico

110 - 220mm → Distância intermédia em relação ao bico

220mm - ponta do bico → Distância mais próxima do bico

171ARE02

Distância total = 310mm

0 - 100mm → Distância mais afastada do bico

100 - 200mm → Distância intermédia em relação ao bico

200 - ponta do bico → Distância mais próxima do bico

3.1.3 NÚMERO DE VOLTAS

Para efeitos de uma possível automatização do processo, achou-se pertinente considerar o número de voltas que o operador dá à peça, enquanto se encontra debaixo do jato de areia, este parâmetro é algo incomum de ser controlado pelos operadores, pois quando estes eram questionados sobre o número de voltas simplesmente era respondido que não era algo que usualmente era tido em conta, o seu método para garantir um bom areamento, era arear até ver a superfície da peça a refletir pouco brilho e só aí dar mais uma volta de confirmação, isto deve-se a estas peças de geometria anelar muitas vezes não apresentarem características que permitam serem usadas pelo operador como ponto de referência para a contagem de voltas.

Contudo não podemos esquecer que quanto maior o número de voltas, à mesma velocidade de rotação, mais tempo a peça vai estar exposta ao jato de areia, logo põe-se a hipótese que a sua aparência vai também ser modificada.

Nº de voltas convencionado para experimentação → 2, 3 e 4

3.1.4 VELOCIDADE DE ROTAÇÃO

Tal como o número de voltas, a velocidade de rotação que o operador incute na peça é também um parâmetro de difícil controlo, é complicado para um operador conseguir incutir à peça uma velocidade constante, no entanto através da tiragem de tempos de areamento foi possível conseguir uma aproximação da velocidade de rotação de um operador. Neste caso serão estudadas três velocidades distintas, uma velocidade rápida, uma velocidade intermédia e uma velocidade lenta, para cada uma delas foi deduzido um valor teórico, cronometrando o tempo que o operador demorava a rotacionar a peça por três vezes e a partir desse valor, foi calculada a velocidade de rotação média por volta e o valor foi convertido em rad/s e RPM para uma melhor comparação.

Tabela 2 - Velocidades de rotação teóricas

Velocidade de rotação a realizar o processo de granalhagem (3 voltas)							
	Tempos			Média de tempos	Velocidade de rotação(voltas/s)	Velocidade de rotação(rad/s)	Velocidade de rotação(RPM)
Velocidade média	10	11,8	11,12	10,97	0,27	1,696460033	16,2
Velocidade lenta	12,86	13,37	14,4	13,54	0,22	1,382300768	13,2
Velocidade rápida	7,53	8,13	8,34	8	0,375	2,35619449	22,5

3.1.5 VARIÁVEIS PADRONIZADAS

Para a realização dos testes foi também necessário manter valores das variáveis que de momento não estavam a ser testadas constantes, por exemplo quando se procedeu aos testes da pressão tiveram que se fixar os restantes parâmetros que mais tarde foram também alvos de testes.

Foram escolhidos então os valores mais utilizados no dia-a-dia por cada operador, de cada parâmetro de modo a garantir que estes experimentos são o mais confiáveis e fiáveis possível, é importante lembrar que nem todos os valores padronizados são iguais para todas as máquinas, pois estas possuem particularidades diferentes e abrasivos diferentes.

Valores padrão:

Pressão → Varia dependendo da máquina em estudo

Tabela 3 - Pressões padrão utilizadas em cada máquina

Máquina	Pressão (bar)
168ARE01	2,1
168ARE02	1,8
168ARE04	2
171ARE01	1,8
171ARE02	1,8

Distância ao bico → Foi escolhida a intermédia para todas as máquinas em todos os testes, menos naqueles em que a variável em estudo é a altura da peça;

Velocidade de rotação → Foi escolhida a intermédia para todas as máquinas em todos os testes menos naqueles em que a variável em estudo era a velocidade de rotação;

Número de voltas → Foi escolhido dar sempre três voltas á peça em todos os testes menos naqueles em que a variável em estudo era o número de voltas.

3.1.6 RESULTADOS INICIAIS DE PARAMETRIZAÇÃO

Após uma análise visual a cada objeto de estudo foi possível retirar conclusões a cada parâmetro e por cada máquina e verificar quais os parâmetros que vai ser necessário extrapolar o intervalo de valores ou aqueles que não será interessante extrapolar.

Apesar da análise visual não ser um critério definitivo pois estará sempre sujeita a uma margem de erro, foi tomada a decisão onde nesta primeira fase uma análise visual, além de ser mais representativa do processo em estudo é também mais rápida para obtenção de resultados.

ANÁLISE DE RESULTADOS

Para análise dos parâmetros que mais influência tiveram na qualidade da granalhagem em cada máquina foi criado um sistema que permite avaliar a diferença de peça para peça em cada parâmetro,

assim como identificar quais os testes que se revelaram inconclusivos ou duvidosos e que por sua vez terão de ser sujeitos a um segundo teste com o objetivo de tirar a dúvida sobre aquele resultado.

Apresenta muita diferença	
Apresenta alguma diferença	
Apresenta muito pouca diferença	
Não apresenta diferença	
Repetir teste	

Figura 17 - Legenda para análise de parâmetros

Inspecionando visualmente cada objeto, naquilo que diz respeito ao parâmetro da velocidade de rotação, todas as peças apresentam um aspeto similar dentro do esperado, ou seja, neste caso foi o parâmetro que menos influenciou na qualidade do areamento de cada objeto de estudo, este fenómeno verifica-se devido á dificuldade do operador em manter uma velocidade constante durante todo o procedimento levando assim ao desafio de controlar este parâmetro por via de operador. Os restantes resultados mostraram-se promissores, com detalhe para as máquinas que operam com abrasivo de microesferas de vidro cujo intervalo de valores escolhido para o número de voltas foi muito reduzido para qualquer objeto de estudo ficar com uma aparência visual satisfatória, por isso o teste do número de voltas vai ser repetido com novos valores. Apesar dos outros parâmetros terem sido testados também com poucas voltas, apenas três, isto não afeta as conclusões tiradas deste estudo, pois os números de voltas dadas foram constantes. Este fenómeno deve-se á granulometria mais reduzida das microesferas de vidro em relação ao óxido de alumínio e uma dureza também menor sabendo que a dureza das microesferas de vidro é de 6 Mohs e a do Corindon é de 9 Mohs.

Tanto a pressão como a altura da peça mostraram ser os parâmetros que no geral podemos dizer que mais vão afetar no aspeto visual dado ao objeto de estudo em causa.

Abrasivo microesferas de vidro	168ARE01											
	Velocidade de rotação(rad/s)			Pressão (bar)			Altura da peça (mm)			N° de voltas		
	Baixa	Intermédia	Alta	2,1	2,4	2,7	0 - 80	80 - 160	160 - ponta do bico	2	3	4
Inspeção visual												

Figura 18 - Resultados obtidos na máquina 168ARE01

Abrasivo microesferas de vidro	171ARE02											
	Velocidade de rotação(rad/s)			Pressão(bar)			Altura da peça (mm)			N° de voltas		
	Baixa	Intermédia	Alta	1,4	1,8	2,2	0 - 100	100 - 200	200 - ponta do bico	2	3	4
Inspeção visual												

Figura 19 - Resultados obtidos na máquina 171ARE02

Abrasivo Corindon	168ARE04											
	Velocidade de rotação(rad/s)			Pressão(bar)			Altura da peça (mm)			N° de voltas		
	Baixa	Intermédia	Alta	1,5	2	2,5	0 - 90	90 - 180	180 - ponta do bico	2	3	4
Inspeção visual												

Figura 20 - Resultados obtidos na máquina 168ARE04

Abrasivo Corindon	168ARE02											
	Velocidade de rotação(rad/s)			Pressão(bar)			Distância ao bico (mm)			N° de voltas		
	Baixa	Intermédia	Alta	1,4	1,8	2,2	310 - 210	210 - 110	110 - ponta do bico	2	3	4
Inspeção visual												

Figura 21 - Resultados obtidos na máquina 168ARE02

Abrasivo Corindon	171ARE01											
	Velocidade de rotação(rad/s)			Pressão(bar)			Altura da peça (mm)			N° de voltas		
	Baixa	Intermédia	Alta	1,4	1,8	2,2	0 - 110	110 - 220	220 - ponta do bico	2	3	4
Inspeção visual												

Figura 22 - Resultados obtidos na máquina 171ARE01

RESULTADOS DA EXTRAPOLAÇÃO DO NÚMERO DE VOLTAS

Como foi dito no tópico 3.1.6 foi então realizada a extrapolação do número de voltas para a realização de testes nas máquinas que operam com o abrasivo de microesferas de vidro, para a extrapolação dos valores, após um diálogo mais extensivo com os operadores foi estipulado um intervalo maior de valores, como é possível observar na Figura 23 e na Figura 24, comparando as peças é possível observar uma diferença notável entre cada peça, sendo possível afirmar neste caso que as peças que foram submetidas a mais voltas, ou seja, tiveram mais tempo de exposição ao jato de areia, adquiriram uma aparência mais *matte* em relação àquelas que tiveram menos tempo de exposição ao jato de areia.

Abrasivo microesferas de vidro	168ARE01			
	N° de voltas			
	1	6	10	15
Inspeção visual				

Figura 23 - Resultados do número de voltas na máquina 168ARE01

171ARE02				
Abrasivo microesferas de vidro	N° de voltas			
	1	6	10	15
Inspeção visual				

Figura 24 - Resultados do número de voltas na máquina 171ARE02

3.2 TESTES FINAIS DE PARAMETRIZAÇÃO

De modo a realizar uma análise mais aprofundada, das cinco máquinas iniciais foi escolhida apenas uma para a continuação do estudo com o abrasivo de óxido de alumínio (Coríndon), a máquina 168ARE02. Sabendo que o tempo de permanência na empresa vai ser reduzido, a redução no número de máquinas em estudo vai permitir um estudo mais concentrado e focado, obtendo assim resultados mais precisos e permitindo a criação de uma base para o futuro estudo em outras máquinas e abrasivos.

Para finalizar a parametrização do processo foi sentida a necessidade de aplicar um método mais científico onde após ter sido realizada a devida pesquisa o método Taguchi foi considerado ideal para o efeito, pois trata-se de um método que busca garantir a qualidade de um produto.



Figura 25 - Máquina de granalhagem 168ARE02

3.2.1 ESTADO DO ABRASIVO

Sabendo que as partículas de abrasivo embatem ou na superfície da peça, ou no chão da máquina a grande velocidade, estas ao longo do turno de trabalho vão sofrer desgaste, este desgaste tem de ser

tido em conta no resultado final do tratamento de superfície pois, como a geometria da partícula de abrasivo vai estar alterada, então o acabamento que esta vai conferir ao objeto alvo de granalhagem terá de ser obrigatoriamente diferente, sabendo isto vai fazer todo o sentido estudar a sua influência no resultado final do processo de jateamento abrasivo.

Para um correto estudo deste parâmetro convencionou-se três alturas do turno de trabalho em que o estado do abrasivo estaria diferente. Estas alturas seriam ao início do turno, ao meio do turno e ao fim do turno, onde a integridade estrutural do abrasivo vai piorando progressivamente, foi definida também uma altura do dia padrão para a realização dos testes, que é às 09:30h, hora esta onde se inicia o intervalo dos operadores da secção de areamento, deste modo vai ser possível a realização sem comprometer de alguma forma a produção, para fim de turno escolheu as 14h pois a essa hora o turno da manhã termina e aí é mudado o abrasivo, para a realização do estudo da areia no seu estado mais intacto no inicio do turno da tarde.

3.2.2 EXPERIMENTAÇÃO PLANEADA

Foi convencionado que os testes iriam seguir uma matriz ortogonal de desenho de experiências L18, matriz esta que seria composta por 18 ensaios, 5 variáveis e 3 níveis por variável, sendo as variáveis de entrada, a pressão de jateamento, a distância ao bico, o nº de voltas, a velocidade angular e o estado do abrasivo e a variável de saída, ou a variável a ser controlada seria o aspeto visual que é avaliado através de uma escala de comparação quantitativa.

PEÇA PROVETE

A referência utilizada para a realização dos testes finais foi a 613-000.520-019, pois trata-se de uma peça de objetiva com uma geometria anelar, e com bastante disponibilidade pois tratava-se de um lote que fora considerado fora de especificação e não iria para o cliente.

No desenho técnico está representado, por uma linha a tracejado, a zona exterior da peça que foi submetida ao processo de granalhagem, logo será essa a zona de controlo em cada peça.

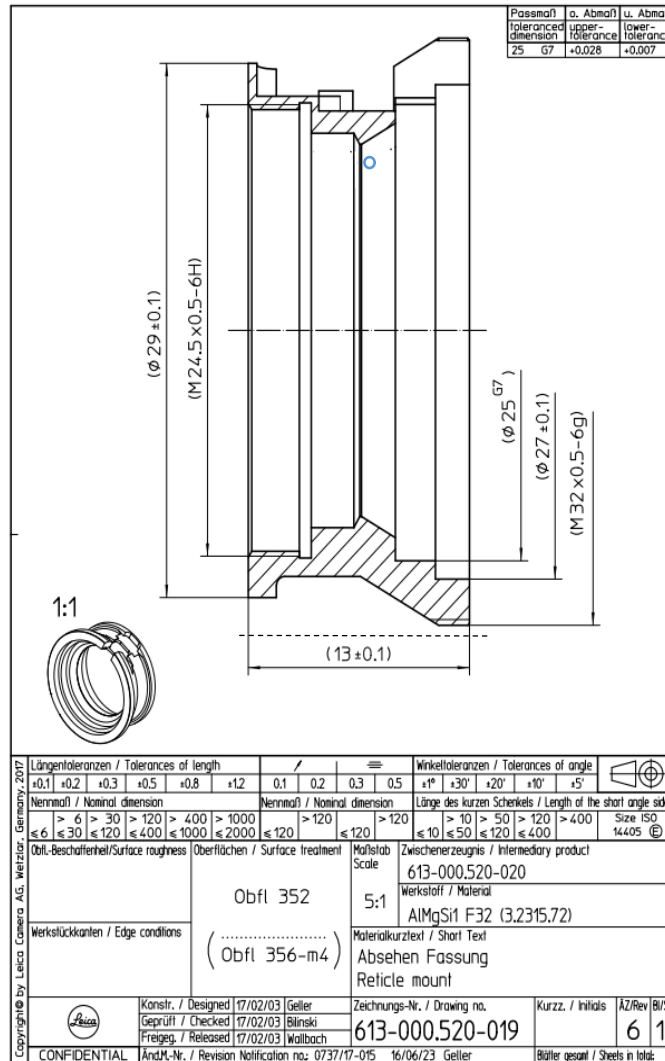


Figura 26 - Desenho técnico 613-000.520-019

ESCALA DE COMPARAÇÃO UTILIZADA

Como não existe uma escala específica de aspeto visual para o tratamento de superfície Obfl 356 foi elaborada uma escala com o objetivo de considerar todos os possíveis aspetos visuais de uma peça submetida ao tratamento Obfl 356. A cada peça areada foi atribuído um número de 1 a 5 baseado no aspeto visual da sua zona areada, sendo 1 um aspeto mais brilhante característico de uma peça que esteve pouco tempo sujeita ao jato de abrasivo e 5 um aspeto mais acinzentado característico de uma peça que esteve tempo demais sujeita ao jato de abrasivo.



Figura 27 - Escala utilizada para comparação visual

Como foi dito para a realização desta parametrização foram necessários escolher 3 níveis de cada variável, tendo estes sido escolhidos com base no diálogo com os operadores.

	A	B	C	D	E
Níveis	Pressão (bar)	Distância ao bico (mm)	Nº voltas	Velocidade angular	Estado do abrasivo
1	1,5	310 - 210	1 volta	Velocidade Baixa (13,2 RPM)	Início do turno
2	1,8	210 - 110	2 voltas	Velocidade Intermédia (16,2 RPM)	Meio do turno
3	2,1	110 - ponta do bico	3 voltas	Velocidade Alta (22,5 RPM)	Fim do turno

Figura 28 - Legenda níveis de variáveis

Após a definição das variáveis e dos níveis de variáveis, foi então criada a matriz de experiências, para a criação da matriz, a cada número representado no arranjo ortogonal da Figura 13 - Matriz ortogonal, foi atribuído um nível, alternando o parâmetro em cada coluna.

Cada linha ou *Run* representa um ensaio um ensaio distinto com uma combinação de variáveis completamente diferente onde foram areadas 3 peças idênticas segundo essas mesmas combinações de variáveis. De seguida estas peças foram afixadas numa grade, para serem sujeitas a um tratamento de anodização de forma a adquirirem todas a cor negra simultaneamente.

Por fim após ter sido terminado o tratamento térmico Obfl 356 todas as peças foram analisadas e foi-lhes atribuído um número segundo a escala de comparação apresentada anteriormente.

Run	1	2	3	4	5
	A Pressão (bar)	B Distância ao bico (mm)	C Nº voltas	D Velocidade angular	E Estado do abrasivo
1	1,5	310 - 210	1 volta	Velocidade Baixa	Início do turno
2	1,5	210 - 110	2 voltas	Velocidade Intermédia	Meio do turno
3	1,5	110 - ponta do bico	3 voltas	Velocidade Alta	Fim do turno
4	1,8	310 - 210	1 volta	Velocidade Intermédia	Meio do turno
5	1,8	210 - 110	2 voltas	Velocidade Alta	Fim do turno
6	1,8	110 - ponta do bico	3 voltas	Velocidade Baixa	Início do turno
7	2,1	310 - 210	2 voltas	Velocidade Baixa	Fim do turno
8	2,1	210 - 110	3 voltas	Velocidade Intermédia	Início do turno
9	2,1	110 - ponta do bico	1 volta	Velocidade Alta	Meio do turno
10	1,5	310 - 210	3 voltas	Velocidade Alta	Meio do turno
11	1,5	210 - 110	1 volta	Velocidade Baixa	Fim do turno
12	1,5	110 - ponta do bico	2 voltas	Velocidade Intermédia	Início do turno
13	1,8	310 - 210	2 voltas	Velocidade Alta	Início do turno
14	1,8	210 - 110	3 voltas	Velocidade Baixa	Meio do turno
15	1,8	110 - ponta do bico	1 volta	Velocidade Intermédia	Fim do turno
16	2,1	310 - 210	3 voltas	Velocidade Intermédia	Fim do turno
17	2,1	210 - 110	1 volta	Velocidade Alta	Início do turno
18	2,1	110 - ponta do bico	2 voltas	Velocidade Baixa	Meio do turno

Figura 29 - Matriz de experiências utilizada no projeto

VERTENTE DE ANÁLISE “NOMINAL IS BEST”

O método Taguchi tem 3 vertentes distintas dependendo sempre do valor alvo desejado para a nossa característica de qualidade, neste caso foi utilizada a vertente “*Nominal is best*” que procura alcançar um valor nominal ou alvo desejado para uma característica de qualidade.

Neste caso específico o valor nominal ou condição de qualidade alvo seria o aspeto visual correspondente ao número 3 da escala de comparação elaborada.

Após ter sido atribuído a todas as peças um número para a sua condição de qualidade foi aplicada a seguinte equação $\frac{S}{N} = -10 \log \bar{y}_j^2 / s^2$ para cada *Run* com o objetivo de determinar o seu rácio sinal/ruído pois a partir desse cálculo é possível calcular o rácio sinal/ruído para cada nível de cada parâmetro e posteriormente selecionar qual o nível de cada variável de entrada que tem o maior rácio sinal/ruído pois essa será a combinação de níveis que irá garantir o aspeto visual desejado, ou seja o valor nominal.

3.2.3 RESULTADOS FINAIS DE PARAMETRIZAÇÃO

Após terem sido calculados os rácios sinal/ruído para cada nível de cada variável de entrada, é necessário escolher quais os níveis que maximizam o sinal e minimizam o ruído, para proceder a esta escolha é necessário organizar os dados graficamente.

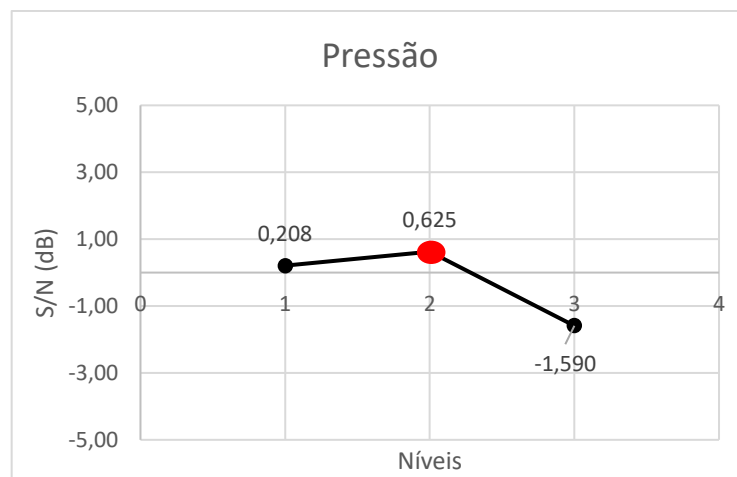


Figura 30 - Gráfico S/N da variável "Pressão"

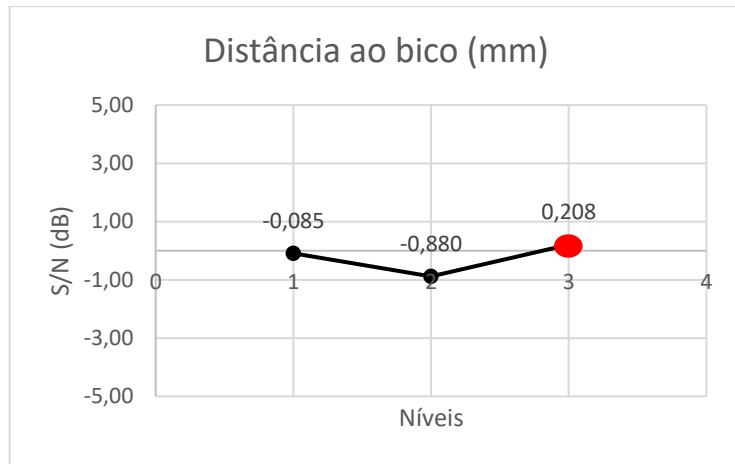


Figura 31 - Gráfico S/N da variável "Distância ao bico"

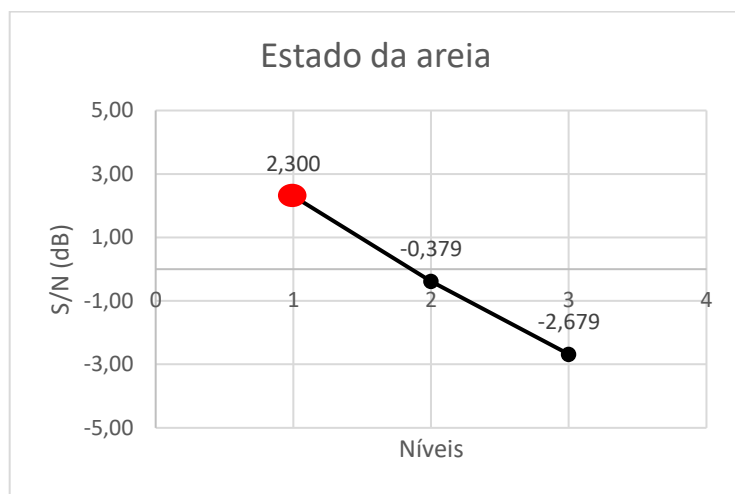


Figura 32 - Gráfico S/N da variável "Estado da areia"

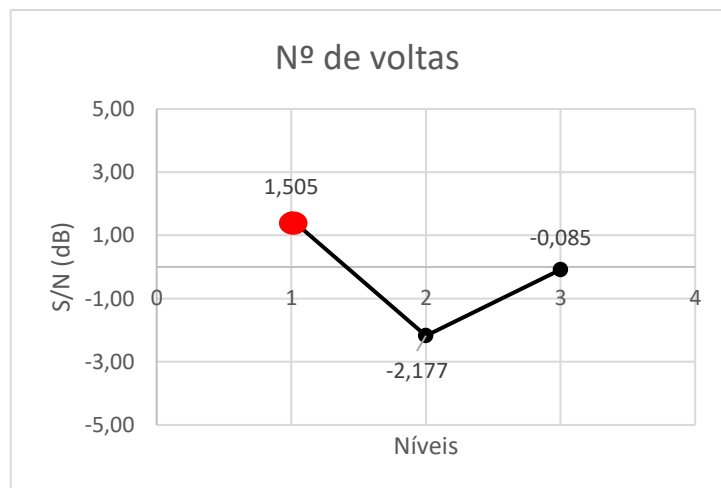


Figura 33 - Gráfico S/N da variável "Nº de voltas"

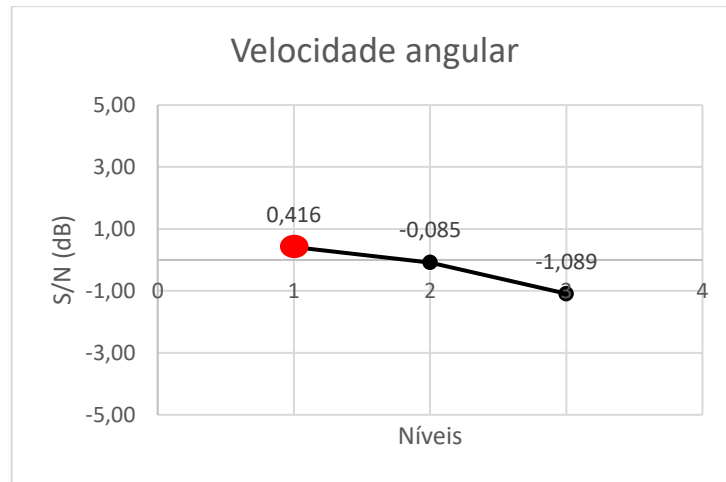


Figura 34 - Gráfico S/N da variável "Velocidade angular"

Após a análise gráfica concluímos que o método Taguchi sugere-nos a seguinte combinação de variáveis:

-
- **PRESSÃO:** 1,8 BAR
 - **DISTÂNCIA AO BICO:** 110MM – PONTA DO BICO
 - **ESTADO DO ABRASIVO:** INÍCIO DO TURNO
 - **Nº DE VOLTAS:** 1 VOLTA
 - **VELOCIDADE ROTAÇÃO:** VELOCIDADE BAIXA (13,2 RPM)

Após obter as seguintes condições ideais de qualidade de Taguchi foram realizados testes de confirmação, que consistiram em realizar o processo de areamento com as condições ideais de Taguchi e verificar os resultados. As peças deste teste além de ficarem bastante parecidas umas com as outras, o que indica estabilidade no processo, visualmente também se aproximam do valor alvo.



Figura 35 - Peça obtida aplicando as condições ideais de Taguchi previamente deduzidas

Contudo apesar do método apenas oferecer uma condição ideal na prática verifica-se que existem várias combinações das mesmas variáveis que vão transmitir o mesmo resultado, este facto é comprovado pela existência de algumas dessas mesmas combinações na própria matriz de Taguchi.

Run	1	2	3	4	5	X
	A	B	C	D	E	
	Pressão (bar)	Distância ao bico (mm)	Nº de voltas	Velocidade de rotação	Estado do abrasivo	
2	1,5	210 - 110	2 voltas	Velocidade Intermédia	Meio do turno	3
						4
						4
5	1,8	210 - 110	2 voltas	Velocidade Alta	Fim do turno	3
						3
						2
7	2,1	310 - 210	2 voltas	Velocidade Baixa	Fim do turno	3
						3
						2
9	2,1	110 - ponta do bico	1 volta	Velocidade Alta	Meio do turno	3
						3
						4
14	1,8	210 - 110	3 voltas	Velocidade Baixa	Meio do turno	4
						3
						4
16	2,1	310 - 210	3 voltas	Velocidade Intermédia	Fim do turno	3
						3
						2

Figura 36 - Diferentes combinações de variáveis que apresentam a capacidade de produzir a qualidade desejada

4 AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE GRANALHAGEM

Neste segmento será apresentada a alternativa automatizada que foi desenvolvida em conjunto com os profissionais dentro da Leica, é importante referir que esta alternativa não vai substituir o areamento manual em todas as peças, mas existem sim certas geometrias e certos padrões de granalhagem que são possíveis de replicar usando o sistema desenvolvido.

4.1 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A premissa do sistema de areamento automático é bastante simples, este tenta conferir ao processo de areamento uma maior robustez, no sentido de eliminar uma das variáveis mais complicadas de controlar que seria a técnica de cada operador a realizar a operação de areamento, pois da mesma maneira que esta técnica varia de operador para operador, as peças resultantes também vão apresentar ligeiras diferenças.

O sistema pode ser dividido em três partes distintas a primeira seria o robô desenvolvido, que confere movimento de rotação constante, a segunda seria o casquilho geral que encaixa no veio do robô e a terceira seria o mecanismo de areamento automático específico para cada referência, o operador deverá trocar o mecanismo de areamento automático de cada referência conforme as referências atribuídas a ele para a realização do processo de granalhagem.

O casquilho geral foi desenvolvido na secção da Ferramentaria da Leica, pois não se trata de uma peça *off the shelf*, tendo sido utilizada uma liga de alumínio para o seu fabrico.



Figura 37 - Casquilho geral

4.2 ROBÔ DESENVOLVIDO

Para automatizar o processo de granalhagem, foi primeiramente idealizado um dispositivo que confere às peças um movimento de rotação com um ajuste de inclinação, a ideia é este dispositivo

proceder á granalhagem de uma peça por vez, sendo trabalho do operador a remoção e inserção de cada peça no dispositivo. Inicialmente este robô foi idealizado tendo apenas como controlável a sua velocidade angular em RPM, mas foi convencido que seria melhor incluir um temporizador associado ao funcionamento do dispositivo pois assim será possível controlar precisamente o tempo no qual o dispositivo está ligado e a induzir um movimento de rotação á peça, ou seja, é possível definir o tempo de jateamento para cada referência, o que é extremamente útil para definir o número de voltas que terão de ser efetuadas por aquela referência para resultar numa granalhagem bem sucedida.

Este dispositivo tem muitos benefícios, como a economia de tempo e esforço, pois ele elimina a necessidade de manusear as peças manualmente, aumentando assim o conforto dos operadores no dia a dia. O dispositivo irá também ajudar a melhorar a precisão do trabalho, já que as peças sofrem rotação a uma velocidade constante, assim como a robustez do processo.

4.2.1 PRIMEIRA ITERAÇÃO

Numa primeira fase do projeto idealizou-se que o motor elétrico do engenho ficaria da parte de fora da máquina, pois tratava-se de um servomotor, que devido ao seu elevado preço comercial, este deveria ser protegido do embate do abrasivo para evitar danificar o componente, este servomotor seria ligado a uma caixa redutora de parafuso sem fim através de um veio, a caixa redutora transmite movimento de rotação ao mecanismo de suporte da peça desenvolvido, a velocidade de rotação do veio, neste sistema, seria regulada por um controlador PID.

Este modelo não foi considerado viável devido á grande complexidade dos componentes e elevado preço, foi então desenvolvido um engenho que satisfaz as necessidades do projeto de forma mais económica e simples.



Figura 38 - Primeiro protótipo do robô de areamento

4.2.2 SEGUNDA ITERAÇÃO

De modo a adicionar praticidade ao sistema foi então decidido que seria necessário melhorar o sistema concebido no sentido de adicionar simplicidade ao sistema de modo a torná-lo mais usável para os operadores e também mais simples de montar aquando da realização de testes para a afinação do sistema.

A grande vantagem deste robô reside também na sua simplicidade pois este é apenas um motor elétrico montado a uma caixa de transferência, para induzir movimento de rotação a um veio que irá conectar ao mecanismo da peça desejada a arear, ou seja tirando os mecanismos que terão de ser desenvolvidos para cada referência, quase todas as peças são *off the shelf*, à exceção da proteção exterior e da chapa que controla o ângulo do dispositivo estas foram cortadas soldadas e quinadas na secção da manutenção da própria Leica.

A premissa deste robô continua a mesma, que é transmitir um movimento de rotação a um mecanismo geral que irá receber encaixe de outros mecanismos específicos das referências que foram escolhidas com o objetivo de automatizar o seu processo de texturização superficial.



Figura 39 - Protótipo final do robô de areamento

4.3 TESTES INICIAIS COM O SISTEMA AUTOMÁTICO

Inicialmente foram feitos testes com o objetivo de parametrizar uma referência escolhida numa fase inicial do dispositivo automático.



Figura 40 - Referência de teste 475-035.012-003

Foram realizados uma série de testes variando os parâmetros de entrada com o objetivo de posteriormente se realizar uma análise visual, e uma medição da rugosidade. Para a realização destes testes foram estabelecidas certas condições padrão á semelhança dos testes iniciais realizados na parametrização, de modo a conseguir melhor avaliar a influência de cada parâmetro sobre as variáveis de saída.

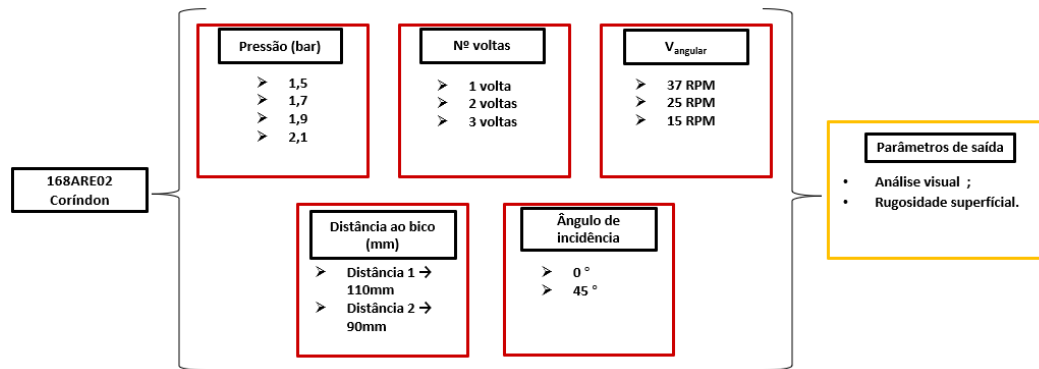


Figura 41 - Esquema do experimento

4.3.1 RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES INICIAIS

Visualmente todos os objetos de estudo apresentaram uma aparência bastante uniforme assim como era esperado, apenas foi notada uma aparência mais escura em teste onde a pressão era mais reduzida, uma aparência característica de um objeto de estudo que não foi atingido pelo abrasivo tempo suficiente.

No que diz respeito á rugosidade superficial os parâmetros Nº de voltas, Distância ao bico(mm), $V_{ANGULAR}$ e Ângulo de incidência, não têm um efeito significativo na rugosidade, pois graficamente é possível observar que a rugosidade é mantida constante apesar dos níveis dos parâmetros irem variando.

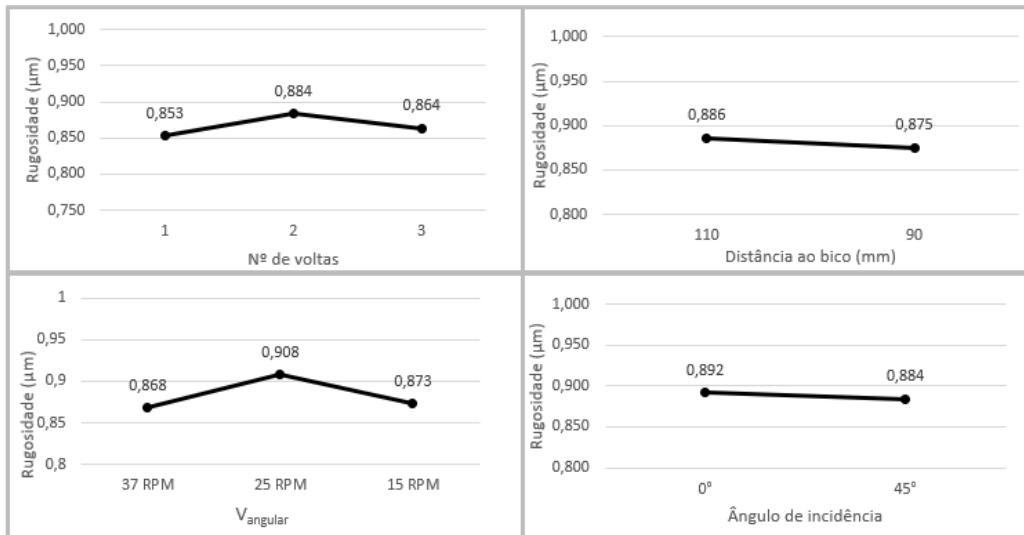


Figura 42 - Gráficos de análise de rugosidade para as variáveis "N° de voltas", "Distância ao bico", "Velocidade angular" e "Ângulo de incidência"

O único parâmetro onde foi detetada uma variação significativa da rugosidade superficial foi a pressão onde a rugosidade teve tendência a aumentar conforme se foi aumentando a pressão de jateamento, este fenómeno é explicado pela velocidade de impacto da partícula de abrasivo na superfície da peça, ou seja, como a pressão é o único parâmetro que afeta a velocidade de impacto do abrasivo e sabendo que quanto mais velocidade mais energia vai ter o impacto na peça também ai assumi-mos que a rugosidade será maior.

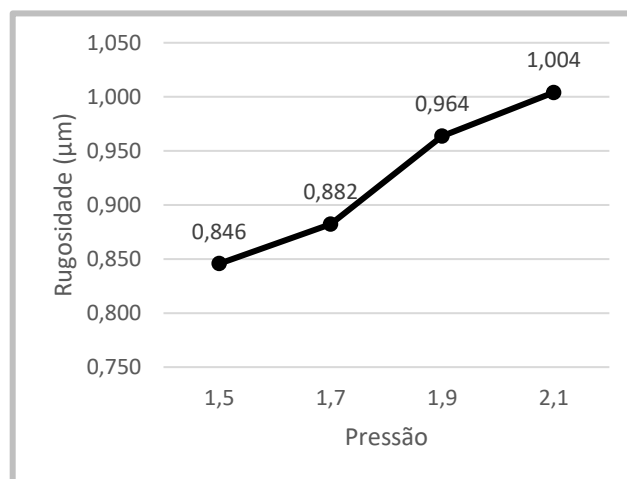


Figura 43 - Gráfico de rugosidade da variável "Pressão"

PARÂMETROS DE AREAMENTO AUTOMÁTICO 475-035.012-003

Finalmente foi decidido aumentar a pressão para 2,1 bar em relação ao seu valor padrão de início dos testes de 1.5 bar para garantir a homogeneidade das peças e manter o resto dos parâmetros de areamento iguais. Apesar do aumento da rugosidade estar associado ao aumento da pressão, este

aumento não vai ser significativo ao toque nem visualmente logo é legítimo aumentar um pouco a pressão para garantir um areado mais homogêneo, enquanto o resto dos parâmetros foram considerados ideais.


Parâmetros	 475-035.012-003
Pressão (bar)	2,1
Distância ao bico (mm)	110
Nº de voltas	2
Velocidade de rotação	15 RPM
Ângulo de incidência	45°

Figura 44 - Parâmetros base de areamento automático

4.4 TESTES FINAIS COM O SISTEMA AUTOMÁTICO

Após terem sido definidas as referências que iriam ser submetidas ao processo de automatização, foi dado início aos testes com o objetivo de encontrar os níveis ideais para cada parâmetro estudado, tendo como base os parâmetros deduzidos nos testes iniciais, o objetivo é escolher os níveis de cada parâmetro que além de serem capazes de conferir á referência a granalhagem desejada, por uma questão de produtividade, procura-se também que o processo seja concluído no menor tempo possível, ou seja, a combinação ideal será aquela que proporciona um equilíbrio entre qualidade e produtividade, contudo a qualidade irá sempre tomar prioridade em relação á produtividade ou tempos de produção menores.

4.4.1 TIPOLOGIA DE PEÇAS ESCOLHIDA

Para a determinação das referências que teriam potencial a serem areadas de forma automática, foi necessário uma análise pormenorizada do desenho técnico de cada peça, por conta do grande número de referências ativas diferentes, presentes na Leica, esta análise foi bastante trabalhosa e demorada, sabendo isto, foram apenas analisadas as referências que são areadas na máquina 168ARE02 totalizando assim 548 referências analisadas, tendo inicialmente sido separadas em dois grupos, o grupo de candidatos ao areamento automático e o grupo de peças que não obedecem ao critério estipulado para serem convertidas ao areamento automático, foi definido inicialmente que apenas referências com geometria anelar e/ou circular poderiam ser consideradas pois geometrias mais complexas e/ou

detalhadas iriam obrigar a uma movimentação da peça também mais complexa, que o dispositivo atual desenvolvido não consegue realizar, as referências devem também ser possíveis de granalhar com apenas um encaixe, por motivos de cadência de produção e de limitações do protótipo desenvolvido, foi estipulado que as peças apenas poderiam ser encaixadas no seu mecanismo, que iria ficar numa posição fixa, de uma só forma, isto obrigou à escolha de peças que apenas teriam apenas um plano de areamento, como é visível na figura abaixo, um plano de areamento é a área abrangida pelo jato de abrasivo num determinado instante de tempo, logo é possível uma peça ter zonas sujeitas a areamento com orientações diferentes e apenas exigir um plano de areamento.

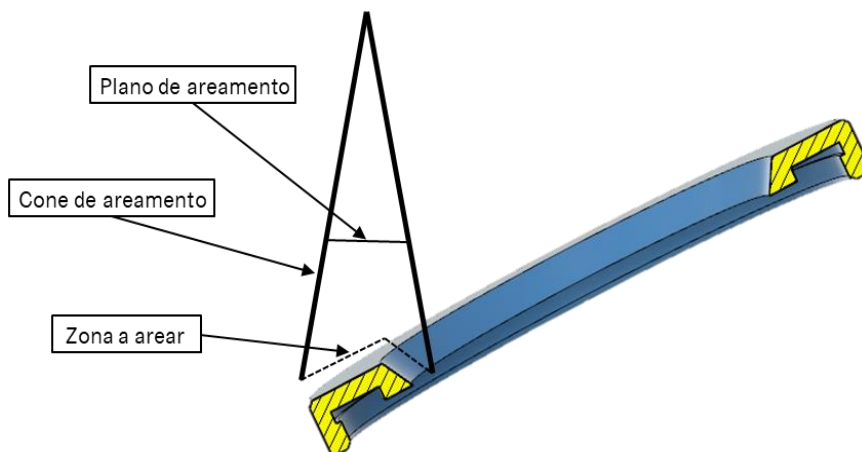
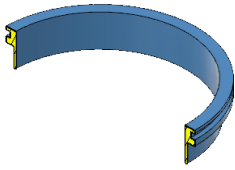
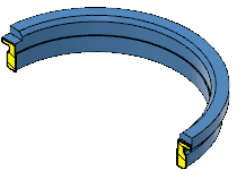
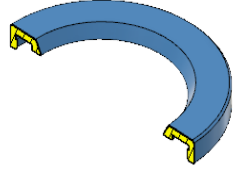
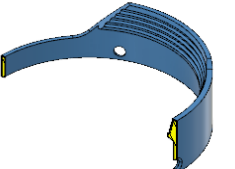
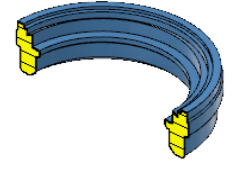


Figura 45 - Esquemática de peça que necessita de 1 plano de areamento

Após fazer esta distinção, foi dada prioridade a peças que teriam uma maior cadência de produção, para isto foi verificada a necessidade produtiva de cada peça até ao mês de Outubro e foi decidido que nesta fase apenas referências com necessidades produtivas acima de 500 peças até Outubro seriam relevantes para o projeto, o resto das referências pela sua pouca cadência não constituem bons candidatos para a sua conversão ao areamento automático pois devido à sua pouca cadência economicamente não iria compensar. Após toda esta filtragem foram selecionadas 25 referências como boas candidatas para o desenvolvimento do projeto, abaixo estão representadas as referências selecionadas em vista de corte e nos anexos F,G,H,I, J e K estão apresentados os seus respetivos AUs com as zonas a arear de cada referência. O anexo E contém uma esquematização do estudo de todas as referências ativas na máquina em questão.

Tabela 4 - Referências onde é possível a sua automatização no processo de granalhagem

Peça em CAD	Referência Leica
	657-000.900-050
	615-000.250-030
	613-000.520-005
	421-037.927-005
	421-028.529-005

4.4.2 SUPORTES/MECANISMOS DESENVOLVIDOS

Para cada uma das cinco referências selecionadas para os testes ao abrasivo Corund, foi produzido um mecanismo com a tecnologia de fabrico em impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling), com o material polimérico TPU, este material apresenta bastantes vantagens assim como uma grande resistência á fadiga e ao desgaste, um baixo preço e uma boa ductilidade. Cada mecanismo teve de ser adaptado para corresponder às características de areamento de cada peça, de modo a respeitar as zonas que necessitariam de ser ou não protegidas. Uma condição muito importante que foi também alvo de estudo foi a folga que cada mecanismo deveria ter em relação á referência de modo que o operador conseguisse retirar a peça sem grande esforço, mas ainda assim garantisse o aperto necessário para segurar a peça durante o processo de areamento.

Tabela 5 - Mecanismos desenvolvidos

Mecanismo automático	Estado do mecanismo
 657-000.900-050	
 615-000.250-030	
 613-000.520-005	
 421-037.927-005	
 421-028.529-005	

Apesar do material escolhido apresentar diversas vantagens, uma desvantagem que se provou crucial foi a incerteza associada ao seu processo de fabrico, isto porque o mecanismo realmente encontrava-se fora da especificação, pois a peça, quando colocada no mecanismo, acabava por ficar demasiado folgada, por conta disso esta não ficava segura e estava presente o risco de danificar peças durante o processo, para evitar este fenómeno equacionou-se que a melhor solução seria diminuir a folga atribuída entre a peça e o mecanismo, pois apesar de existir o risco de à partida a referência não encaixar no mecanismo pois o diâmetro do mecanismo pode ser demasiado grande, este problema pode ser corrigido com uma rápida retificação num torno da empresa.

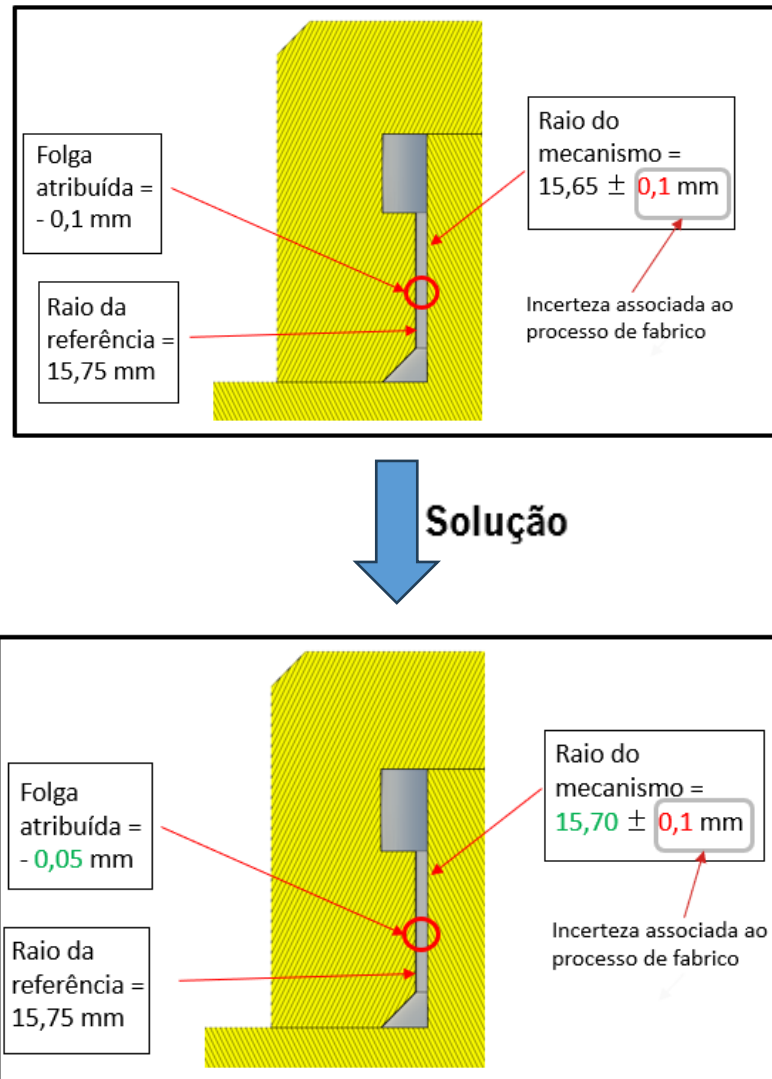


Figura 46 - Esquematização do problema do mecanismo

4.4.3 RESULTADOS OBTIDOS

Após terem sido submetidos ao processo de granalhagem todos os lotes das referências escolhidas para o processo de areamento automático, foi possível deduzir os parâmetros de areamento ideais para cada referência assim como fazer certas correlações entre a geometria das diferentes referências e alguns parâmetros de areamento. Abaixo estão representados os parâmetros de areamento deduzidos por todos os testes realizados nas peças, 3 desses parâmetros, a pressão, o nº de voltas e a velocidade de rotação foram mantidos constantes por todas as referências ao longo de todos os testes pois não foi sentida a necessidade de fazer uma alteração, já a distância ao bico e o ângulo de inclinação foram 2 parâmetros que tiveram de ser alterados e afinados para algumas referências com o objetivo de afinar o processo, os parâmetros que tiveram de ser alterados estão representados a vermelho.

Tabela 6 - Parâmetros de areamento automático finais

Parâmetros	615-000.250-030	657-000.900-050	421-028.529-005	421-037.927-005	613-000.520-005	475-035.012-003
Pressão	2,1 bar	2,1 bar	2,1 bar	2,1 bar	2,1 bar	2,1 bar
Distância ao bico	110 mm	110 mm	88 mm	88 mm	60,4 mm	110 mm
Nº de voltas	2	2	2	2	2	2
V. Rotação (RPM)	15	15	15	15	15	15
Ângulo de inclinação	45°	45°	45°	60° - 70°	45°	45°

CORRELAÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO COM A GEOMETRIA DA PEÇA

No caso da alteração ao ângulo de inclinação no areamento da referência 421-037.927-005, deve-se à zona areada da referência ser composta por filetes que constituem vales, como é possível observar no Anexo F, aos quais a areia apenas tem acesso se aumentarmos o ângulo de inclinação, pois os filetes da própria peça agem como uma barreira que impede o impacto do abrasivo na zona desejada

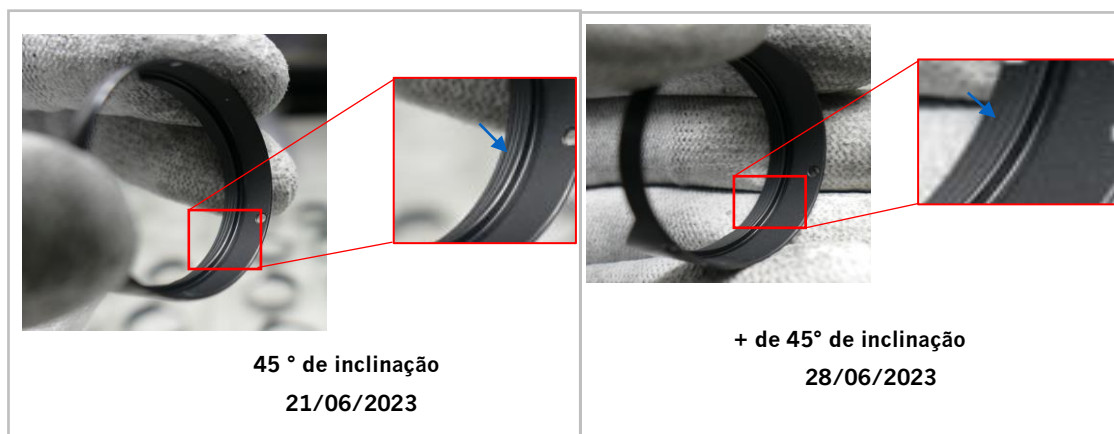


Figura 47 - Influência do ângulo de inclinação da máquina

CORRELAÇÃO DA DISTÂNCIA AO BICO COM A GEOMETRIA DA PEÇA

Na distância ao bico, verificou-se que quanto mais se aproximava uma referência ao bico mais preciso o jato de abrasivo ficava, como é o caso da referência 613-000.520-005 que quando estava a uma maior distância do bico a parte lateral, que era uma zona livre de abrasivo, estava a receber um ligeiro “pó”, apesar de a peça mesmo assim poder seguir para a linha da montagem, existiu uma tentativa para melhorar o processo e produzir peças com ainda mais qualidade, a solução foi a aproximação da referência ao bico, onde este “pó” deixou de ser problema. A figura abaixo ilustra o problema, verificamos que à esquerda a peça aparenta um aspeto mais acinzentado na lateral e à direita

apresenta um aspeto mais negro, que é característico de uma superfície anodizada que não foi submetida a nenhuma operação de granalhagem.

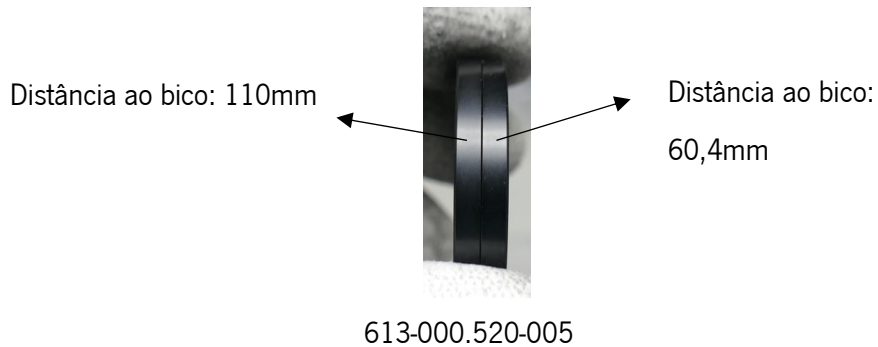
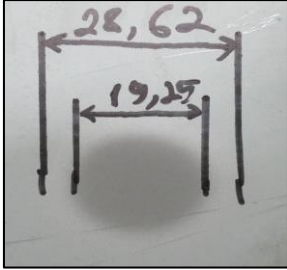
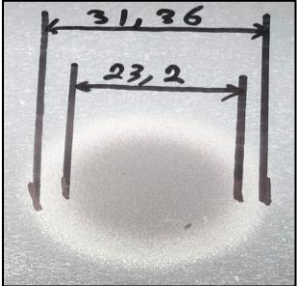
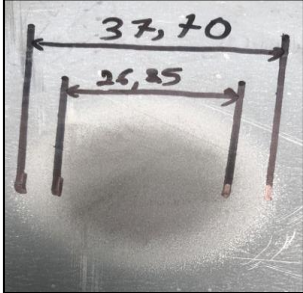
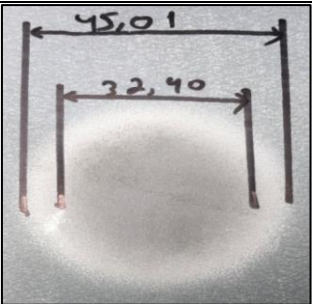
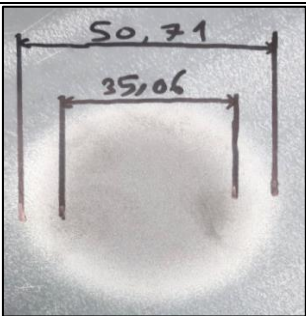


Figura 48 - À esquerda peça mais afastada do bico, á direita peça mais próxima do bico

Tendo este conhecimento deste fenómeno numa tentativa de entender melhor o trajeto da areia, foi posicionada uma chapa metálica a diversas alturas, incluindo aquelas que foram utilizadas durante os testes práticos de areamento automático, e foi permitida á máquina trabalhar por alguns segundos em todas as alturas e com isso foi possível concluir que o jato de abrasivo tinha uma zona útil de trabalho e uma zona não útil ou residual em forma de cone, cujo diâmetro iria aumentar cada vez mais com a distância ao bico, foi então elaborado um esquema que melhor ilustra esta descoberta no Anexo L.

Tabela 7 - Circunferências criadas pelo jato de abrasivo a diferentes distâncias do bico

Área de impacto do jato de abrasivo	Distância ao bico(mm)
	60,4
	88
	110
	130,4
	152,4

Logo após a realização deste ensaio foi feita uma correlação entre a geometria da peça e a distância ao bico, esta correlação tinha como objetivo garantir que enquanto uma zona da peça estiver sujeita ao jateamento abrasivo, a zona oposta não seja alvo do cone útil de areamento nem do cone não útil.

$$R_{\text{zona areada}} = \frac{D_{\text{peça}}}{2} - \frac{D_{\text{furo}}}{2} \quad (4)$$

$$A = \cos \theta * R_{\text{zona areada}} \quad (5)$$

$$C = \cos \lambda * \text{Altura da peça} \quad (6)$$

$$\text{Distância média} = \frac{A + C}{2} \quad (7)$$

$$\underbrace{\text{Distância média} + D_{\text{furo}} * \cos \theta}_{B} > R_{\text{jato de areamento não útil/útil}} \quad (8)$$

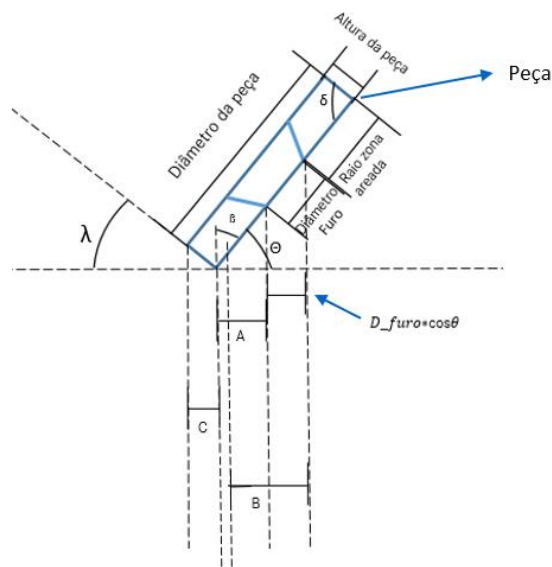


Figura 49 - Geometria da referência

Tendo concluído esta correlação foi criado um ficheiro Excel que simplificasse o processo de escolha de uma altura certa de areamento para cada referência, o objetivo do ficheiro Excel é inserir as dimensões da referência, e com isso obter o valor de **B** este valor terá que ser sempre superior ao raio útil e não útil da altura selecionada, caso isto não se verifique é então aconselhável selecionar uma altura diferente.

Tabela 8 - Tabela para obtenção de B

<i>Diâmetro da peça (mm)</i>	23,6
<i>Diâmetro do furo (mm)</i>	21
<i>Ângulo da máquina (Θ)</i>	45
<i>Ângulo da peça (δ)</i>	90
<i>Altura da peça (mm)</i>	3,2
<i>B</i>	45
<i>Ângulo de C (λ)</i>	45
<i>Raio zona areada (mm)</i>	1,30
<i>A</i>	0,92
<i>C</i>	2,26
<i>Distância Média (mm)</i>	1,59
<i>B</i>	16,44

Tabela 9 - Tabela de comparação de raios de areamento útil/não útil

Distância ao bico (mm)	Raio não útil de areamento (mm)	Raio útil de areamento (mm)
152,4	25,355	17,53
130,4	22,505	16,2
110	18,85	13,425
88	15,68	11,6
60	14,31	9,625

REPETIBILIDADE E ROBUSTEZA

Em todos os testes efetuados, as superfícies areadas apresentam um areado bastante constante e uniforme assim como era esperado, além disso os testes foram efetuados ao longo de várias semanas e com um número respeitável de peças areadas, logo é possível concluir que o processo é repetível e apresenta robusteza pois o areado só se altera se forem estabelecidos novos parâmetros. O cronograma abaixo representado indica o número de peças que eram areadas nos dias de testes assim como a dificuldade inicial em conseguir aperfeiçoar o processo em certas referências, é importante notar que embora as peças utilizadas nos testes iniciais (assinaladas a amarelo) estivessem numa condição boa para seguir a cadeia produtiva, foi sentido que o projeto tinha potencial para mais e ai decidiu-se induzir uma variação nos parâmetros da distância ao bico e ângulo de inclinação o que resultou na produção de peças com mais qualidade e num processo mais estável.






Legenda							
	Peças antes da variação de parâmetros						
	Peças depois da variação de parâmetros						
Referências	21/06/2023	28/06/2023	05/07/2023	11/07/2023	13/07/2023	24/07/2023	Total
 613-000.520-005	70	37	38	45	310	-	500
 421-037.927-005	19	26	40	27	-	118	230
 657-000.900-050	50	44	30	35	-	91	250
 615-000.250-030	40	41	41	41	-	37	200
 421-028.529-005	50	22	28	-	-	-	100

Figura 50 - Estudo de repetibilidade do processo

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo destina-se a apresentar as conclusões retiradas ao longo de todo o projeto, este capítulo destaca as percepções fundamentais alcançadas durante o desenvolvimento do projeto, a conclusão fornece uma visão abrangente de toda a dissertação resumindo os principais pontos obtidos, mas também destaca as implicações dessas conclusões para o campo de estudo, oferecendo uma base sólida para futuras investigações e ações.

5.1 CONCLUSÕES

É notável o grande número de variáveis que podem interferir no resultado de um produto. Como o foco do projeto passava muito por entender quais as variáveis iriam afetar o processo de granalhagem, foi sem dúvida bastante interessante entender também de que forma essas mesmas variáveis iriam afetar o resultado e de que forma essas variáveis iriam interagir entre si, e com esse conhecimento facilitar a automatização do processo.

No que diz respeito à parametrização inicialmente apenas foram contabilizadas 4 variáveis que afetavam o processo, contudo após uma observação mais contínua do trabalho diário da secção foi posta a hipótese de que o abrasivo iria progressivamente, se deteriorando ao longo de um turno de trabalho dando origem a partículas de abrasivo com uma granulometria mais reduzida, logo nos testes finais de parametrização, foi feita questão de incluir a variável estado do abrasivo na matriz de Taguchi. Com o recurso ao DOE com o método de Taguchi foi possível concluir os níveis ideais de cada variável de entrada para produzir peças com a característica de qualidade desejada, apesar de ser uma conclusão importante, é de realçar que embora a combinação obtida produza peças com a característica de qualidade desejada foi provado que existem muitas outras combinações que também são capazes de produzir peças com a qualidade desejada, provando assim que a granalhagem é um processo bastante versátil e adaptativo.

Com os resultados obtidos foi então dado início à automatização do processo, esta começou pela remoção do parâmetro estado do abrasivo e adição do parâmetro ângulo de inclinação pois a peça teria de ser posicionada no robô a um determinado ângulo em relação ao chão, assim dada a realização de um procedimento experimental com o protótipo desenvolvido de robô + mecanismo para a análise da rugosidade superficial e aspeto visual, os testes à rugosidade revelaram que o parâmetro pressão de jateamento seria o mais influente na alteração da rugosidade superficial de uma peça embora a variação não fosse notável a olho nu, sabendo isto foi então elaborada a combinação ideal de parâmetros para a

granalhagem da referência de teste. Finalmente foram elaborados testes de repetibilidade a cinco novas referências que iriam ser sujeitas ao processo de granalhagem automática, ao longo destes testes foi sentida a necessidade de variar os parâmetros de ângulo de inclinação e distância ao bico em certas referências para concluir o processo de granalhagem com sucesso, com o objetivo de prevenir este problema para referências futuras foi criada uma correlação entre estes parâmetros e a geometria das referências que futuramente seriam submetidas ao processo de granalhagem automática.

Os testes de repetibilidade revelaram-se um sucesso pois todas as peças submetidas ao processo apresentavam a condição de qualidade ideal para seguirem o seu caminho na linha produtiva, provando assim que o projeto tem bastante potencial e aplicabilidade na empresa e que com o apoio e investimento certo é um projeto que tem a possibilidade de reformular completamente a secção em questão.

5.2 PERSPETIVAS E TRABALHOS FUTURO

Futuramente o caminho a seguir, seria continuar a transição das restantes referências do estudo realizado, para a granalhagem automática na máquina 168ARE02, após a conclusão dos trabalhos na máquina, o foco iria mudar para as restantes máquinas que trabalhassem com o abrasivo coríndon e por último a atenção iria ser voltada para as máquinas dos demais tipos de abrasivos.

Em relação ao robô muitas melhorias ainda podem ser feitas, tendo em consideração que o protótipo utilizado é bastante rudimentar e mesmo assim foi possível o desenvolvimento de um processo viável com o devido investimento e desenvolvimento tecnológico seria possível sem dúvida fazer muito mais, algumas das melhorias sugeridas seriam, aumentar a amplitude de ajuste do ângulo de inclinação do dispositivo, implementação de um sistema de posicionamento do robô sobre o jato de areia, implementação de um sistema capaz de variar a distância ao bico de areamento, melhoria no aspeto visual do dispositivo e a conexão do dispositivo ao pedal da máquina de areamento, isto são apenas alguns exemplos de algumas simples mudanças que iriam aumentar ainda mais a viabilidade do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

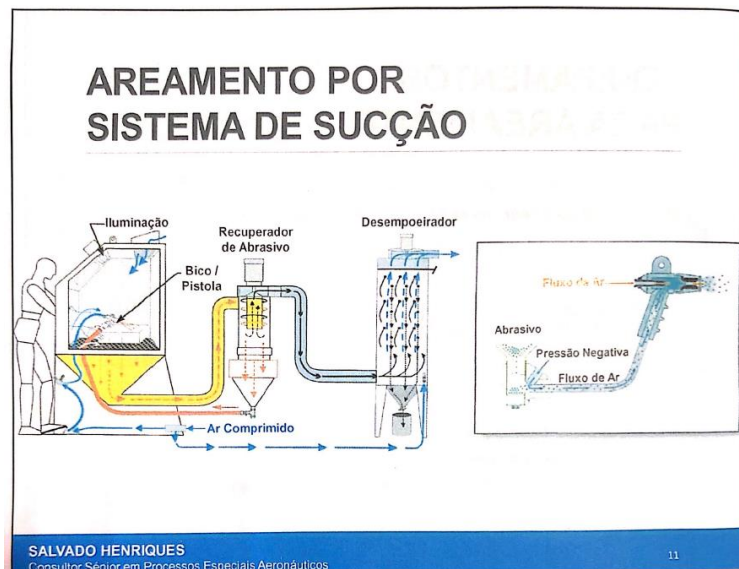
- [1] «Leica: uma cronologia de sucesso.» Acedido: 5 de Maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.leica.pt/leica-uma-cronologia-de-sucesso/>
- [2] E. M. Trent, «Metal Cutting Second edition», 1977.
- [3] T. Misaka *et al.*, «Prediction of surface roughness in CNC turning by model-assisted response surface method», *Precis Eng*, vol. 62, pp. 196–203, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.precisioneng.2019.12.004.
- [4] A. Kumar Parida e K. Maity, «Modeling of machining parameters affecting flank wear and surface roughness in hot turning of Monel-400 using response surface methodology (RSM)», *Measurement (Lond)*, vol. 137, 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2019.01.070.
- [5] R. Luiz Gambarato, V. Toledo Santos Gambarato, S. da Silva Santos, E. Pirovano, e A. Fernandes Stein, «DEFINIÇÃO DE PROCESSOS EM ENSAIOS DE USINAGEM PARA A VERIFICAÇÃO DE ACABAMENTO SUPERFICIAL», 2020.
- [6] M. Nurhaniza, M. K. A. M. Ariffin, F. Mustapha, e B. T. H. T. Baharudin, «Analyzing the Effect of Machining Parameters Setting to the Surface Roughness during End Milling of CFRP-Aluminium Composite Laminates», *International Journal of Manufacturing Engineering*, vol. 2016, pp. 8–9, Mar. 2016, doi: 10.1155/2016/4680380.
- [7] G. Nascimento e A. Mendes Abrão, «Influência da geometria da ferramenta de corte na usinabilidade do aço ABNT 1045», Belo Horizonte MG, Brasil, 2000.
- [8] G. Poulachon, B. P. Bandyopadhyay, I. S. Jawahir, S. Pheulpin, e E. Seguin, «The influence of the microstructure of hardened tool steel workpiece on the wear of PCBN cutting tools», 2003.
- [9] A. Pritam, R. R. Dash, e R. K. Mallik, «Predictive modeling and multi objective optimization of Al 6063 for engraving depth and surface roughness using grey relational and regression analysis», *Mater Today Proc*, pp. 1–2, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.271.
- [10] W. D. Callister e D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engeneering*. Hachette Livre - Département Pratique, 2018.
- [11] L. Martins, «Anodização e coloração de peças de alumínio».
- [12] E. Antonetti *et al.*, «Análise dos processos de Cromagem, Niquelagem, Zincagem e Estanhagem», *Brazilian Journal of Development*, vol. 7, n. 10, pp. 1–12, Out. 2021, doi: 10.34117/bjdv7n10-136.
- [13] N. Obaid e R. Sivakumaran, «Modelling the Electroplating of Hexavalent Chromium», 2013.

- [14] M. D. Helal Hossain, N. Hossain, M. Asaduzzaman Chowdhury, M. Arefin Kowser, e M. Masud Rana, «Surface synthesization of magnesium alloys for improving corrosion resistance and implant applications», *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 16, n. 2. Elsevier B.V., pp. 2–3, 1 de Fevereiro de 2023. doi: 10.1016/j.arabjc.2022.104465.
- [15] R. Joseph, «Painting problem solver», *Metal Finishing*, vol. 108, n. 3, pp. 42–44, Mar. 2010, doi: 10.1016/s0026-0576(10)80079-0.
- [16] A. A. Couto e S. Paulo, «EFEITO DO JATEAMENTO COM GRANALHAS DE AÇO NA TENSÃO RESIDUAL E NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA LIGA DE ALUMÍNIO», 2017.
- [17] Salvado Henriques, «Preparação de superfícies por projeção de abrasivo». Famalicão, 2023.
- [18] CYM Materiales S.A., «Microesferas de Vidro – Glass Bead utilizada no jateamento para limpeza e acabamento superficial». [Em linha]. Disponível em: www.cym.com.ar//info@cym.com.ar
- [19] A. Guedes e C. Vilarinho, «Tratamentos Térmicos de Ligas Metálicas».
- [20] A. S. Sabau, H. Liu, J. A. Weibel, E. A. Groll, e P. Geoghegan, «Surface Preparation Techniques for Adhesive Bonding of Aluminum and Copper», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.osti.gov/scitech/>
- [21] J. A. Ghani, I. A. Choudhury, e H. H. Hassan, «Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters», *J Mater Process Technol*, vol. 145, n. 1, pp. 84–92, Jan. 2004, doi: 10.1016/S0924-0136(03)00865-3.

ANEXOS

Anexo A: CARACTERIZAÇÃO DAS MÁQUINAS DE GRANALHAGEM

Na secção de mecânica da Leica são utilizados dois tipos de máquinas de granalhagem, as que fazem uso de sistema de sucção e as de sistema de pressão direta, apenas a máquina 171ARE01 faz uso do sistema de pressão direta, as restantes cinco máquinas fazem todas uso de um sistema por sucção. Para o tipo de peças e processos que são efetuados na secção de areamento da Leica o sistema por sucção é o mais indicado pois o tipo de abrasivo utilizado é considerado leve, e não requer uma grande pressão de jateamento para ser utilizado, é mantida uma máquina de sistema por pressão direta pois existem também certas peças que requerem um abrasivo mais pesado para conferir o aspeto visual desejado, sendo esse abrasivo a mistura de microesferas de vidro e granalha de aço.



Anexo B: OBFL 354

Fase (Phase)	Tina (Tank)	Descrição da operação (Operation Description)	Temperatura (°C) (Temperature)	Registos (Registry)	Tempo (Time)	Tensão/Corrente (V/Amp/dm ²) (Tension/Current)
01	—	Limpar com abrasivo esfera de vidro (grão 80-110, pressão de 1,5 a 2 bar), as zonas assinaladas, conforme AU aplicável. <i>(Clean with glass bead abrasive (grain 80-110, pressure from 1,5 to 2 bars) the specified surfaces, according with applicable AU)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	—	—
02	—	Verificar a uniformidade da limpeza nas superfícies requeridas. <i>(Verify the cleaning uniformity on required surfaces)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	—	—
03	—	Fixar as peças nas grades, pelos pontos de contacto, definidos na AU aplicável e identificar as grades com etiqueta. <i>(Fix the parts on the racks, using the contacts points defined on applicable AU and identify the racks with label)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	—	—
04	A-5	Polimento químico, conforme IT-F-04 <i>(Chemical polishing, according with IT-F-04)</i>	85±2	IMP-F-99	30 s - 1 min	—
05	A-6	Lavagem, água desmineralizada, quente, estática <i>(Hot demineralized water rinse static)</i>	55±2	—	30s-1 min	—
06	A-8	Lavagem, água industrial, fria, corrente <i>(Cold industrial water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	30s-1 min	—
07	A-9	Lavagem, água industrial, fria, corrente <i>(Cold industrial water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	30s-1 min	—
08	A-10	Ativação nítrica, conforme IT-F-05 <i>(Nitric desmuting, according with IT-F-05)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	IMP-F-98	≈ 30 s	—
09	A-11	Lavagem, água industrial, fria, corrente <i>(Cold industrial water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	30s-1 min	—
10	A-12	Lavagem, água industrial, fria, corrente <i>(Cold industrial water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	30s-1 min	—
11	A-13	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	30s-1 min	—
12	A-14/15	Anodização sulfúrica, conforme IT-F-06 <i>(Sulphuric anodizing, according with IT-F-06)</i>	18 - 22	IMP-F-94	55 min	14 - 15 V (1,5 Amp/dm ²)
13	A-18	Lavagem água industrial, fria corrente <i>(Cold water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—

14	A-19	Lavagem água industrial, fria corrente <i>(Cold water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
15	A-20	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
16	A-28/ 29/32	Corante preto, conforme IT-F-08 <i>(Black dye, according with IT-F-08)</i>	55 - 60	IMP-F-100	35 - 40 min	—
17	A-26/ 30/33	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
18	A-27/ 31/34	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
19	A- 35/38	Colmatagem a quente, conforme IT-F-09 <i>(Hot sealing, according with IT-F-09)</i>	97 - 100	IMP-F-93	60 min	—
20	A- 36/37	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
21	A- 39/40	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
22	A-41	Lavagem água desmineralizada, quente, estática <i>(Hot demineralized water rinse static)</i>	63±2	—	1 min	—
23	—	Secagem em estufa, com circulação forçada de ar <i>(Drying oven, with forced air circulation)</i>	70±2	—	2 - 3 min	—
24	—	Remover as peças das grades e colocar nas caixas <i>(Remove the parts from racks and put them in boxes)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	—	—
25	—	Controlo: Aspeto visual (riscos, manchas, uniformidade), reservas de tratamento e controlo dimensional, se aplicável. <i>Control: Visual aspect (risks, stains, uniformity, treatment reserves) and dimensional control, if applicable.</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	—	—

Anexo C: OBFL 356

Fase (Phase)	Tina (Tank)	Descrição da operação (Operation Description)	Temperatura (°C) (Temperature)	Registos (Registry)	Tempo (Time)	Tensão/Corrente (V/Amp/dm ²) (Tension/Current)
01	—	Limpar com abrasivo corindo (grão 150-180, pressão de 2 a 2,5 bar), as zonas assinaladas, conforme AU aplicável. (Clean with Korund abrasive (grain 150-180, pressure from 2 to 2,5 bars) the specified surfaces, according with applicable AU)	Ambiente (Room temp.)	—	—	—
02	—	Verificar a uniformidade da limpeza nas superfícies requeridas. (Verify the cleaning uniformity on required surfaces)	Ambiente (Room temp.)	—	—	—
03	—	Fixar as peças nas grades, pelos pontos de contacto, definidos na AU aplicável e identificar as grades com etiqueta. (Fix the parts on the racks, using the contacts points defined on applicable AU and identify the racks with label)	Ambiente (Room temp.)	—	—	—
04	A-5	Polimento químico, conforme IT-F-04 (Chemical polishing, according with IT-F-04)	85±2	IMP-F-99	12 - 15 s	—
05	A-6	Lavagem, água desmineralizada, quente, estática (Hot demineralized water rinse static)	55±2	—	30s-1 min	—
06	A-8	Lavagem, água industrial, fria, corrente (Cold industrial water rinse)	Ambiente (Room temp.)	—	30s-1 min	—
07	A-9	Lavagem, água industrial, fria, corrente (Cold industrial water rinse)	Ambiente (Room temp.)	—	30s-1 min	—
08	A-10	Ativação nítrica, conforme IT-F-05 (Nitric desmuting, according with IT-F-05)	Ambiente (Room temp.)	IMP-F-98	≈ 30 s	—
09	A-11	Lavagem, água industrial, fria, corrente (Cold industrial water rinse)	Ambiente (Room temp.)	—	30s-1 min	—
10	A-12	Lavagem, água industrial, fria, corrente (Cold industrial water rinse)	Ambiente (Room temp.)	—	30s-1 min	—
11	A-13	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente (Cold demineralized water rinse)	Ambiente (Room temp.)	—	30s-1 min	—
12	A-14/15	Anodização sulfúrica, conforme IT-F-06 (Sulphuric anodizing, according with IT-F-06)	18 - 22	IMP-F-94	55 min	13 - 14 V (1,5 Amp/dm ²)
13	A-18	Lavagem água industrial, fria corrente (Cold water rinse)	Ambiente (Room temp.)	—	1 min	—

Fase <i>(Phase)</i>	Tina <i>(Tank)</i>	Descrição da operação <i>(Operation Description)</i>	Temperatura (°C) <i>(Temperature)</i>	Registos <i>(Registry)</i>	Tempo (Min) <i>(Time)</i>	Tensão/Corrente (V/Amp/dm²) <i>(Tension/Current)</i>
14	A-19	Lavagem água industrial, fria corrente <i>(Cold water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
15	A-20	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
16	A-28/ 29/32	Corante preto, conforme IT-F-08 <i>(Black dye, according with IT-F-08)</i>	55 - 60	IMP-F-100	30 - 40 min	—
17	A-26/ 30/33	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
18	A-27/ 31/34	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
19	A- 35/38	Colmatagem a quente, conforme IT-F-09 <i>(Hot sealing, according with IT-F-09)</i>	97 - 100	IMP-F-93	60 min	—
20	A- 36/37	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
21	A- 39/40	Lavagem água desmineralizada, fria, corrente <i>(Cold demineralized water rinse)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	1 min	—
22	A-41	Lavagem água desmineralizada, quente, estática <i>(Hot demineralized water rinse static)</i>	63±2	—	1 min	—
23	—	Secagem em estufa, com circulação forçada de ar <i>(Drying oven, with forced air circulation)</i>	70±2	—	2 - 3 min	—
24	—	Remover as peças das grades e colocar nas caixas <i>(Remove the parts from racks and put them in boxes)</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	—	—
25	—	Controlo: Aspeto visual (riscos, manchas, uniformidade), reservas de tratamento e controlo dimensional, se aplicável. <i>Control: Visual aspect (risks, stains, uniformity, treatment reserves) and dimensional control, if applicable.</i>	Ambiente <i>(Room temp.)</i>	—	—	—

Anexo D: ESPECIFICAÇÃO DE DEFEITOS DE SUPERFÍCIE IMP-O-72/01



4. Processo/Descrição

4.1 Identificação dos requisitos de qualidade

Os requisitos de qualidade (grau de qualidade) para defeitos de superfície para os produtos, são definidos pela gestão do produto/design do produto. São transferido pela Investigação & Desenvolvimento para especificações precisas de desenho.

As seguintes atribuições aplicam-se ao grau de qualidade e tipos de superfícies:

Grau de qualidade f1 - Superfícies representativas

Grau de qualidade f2, f3 - Superfícies visíveis permanentemente

Grau de qualidade f4, f5 - Superfícies verificadas ocasionalmente

Grau de qualidade f6 - Superfícies sem exigências decorativas

4.2 Tamanho e número de defeitos

4.2.1 Generalidades

Os tamanhos e números de defeitos permitidos são definidos para superfícies standard dependendo do tratamento de superfície, de acordo com as tabelas 1 a 4 (capítulo 4.2.3). A tabela atribuída deve estar sempre indicada no desenho.

Para tratamentos de superfície com desvios, que não estão explicitamente listados nestas tabelas 1 a 4, deve ser feita uma atribuição a uma das tabelas no desenho.

Se, em casos especiais, nenhuma das tabelas descrever suficientemente os requisitos para os defeitos de superfície de um componente, também podem ser introduzidas no desenho definições individuais para os tamanhos e números de defeitos. No entanto, estes devem ser sempre acordados com o departamento QM-fornecedores.

4.2.2 Tipos de defeitos

As tabelas de acordo com 4.2.3 referem-se a danos, elevação, profundidade e perturbações das camadas dentro da superfície homogênea ou revestimento de superfície.

Alterações nas propriedades das camadas e danos no revestimento da superfície até à matéria prima por exemplo riscos profundos geralmente não são permitidos, independentemente do seu tamanho.

4.2.3 Tabelas para tamanhos e quantidade de defeitos

O número de defeitos é o número máximo de defeitos permitidos de um determinado tamanho numa superfície de verificação de acordo com 4.3.3.

O "tamanho individual do defeito" é convertido para o comprimento da aresta de uma área equivalente a um retângulo. Por exemplo, um defeito de 0,5mm de comprimento e 0,1mm de largura corresponde ao tamanho individual do defeito de 0,22 ($=\sqrt{(0,5 \times 0,1)}$).

Defeitos agrupados, são para avaliar como defeitos individuais. Os pontos problemáticos, são acumulações de defeitos que se situam dentro de um quadrado com o comprimento da aresta do somatório dos defeitos.

O somatório dos vários defeitos individuais não pode exceder o tamanho do maior defeito individual permitido.

Tabela 1				
A utilizar para superfícies - cromado cinza - anodizado cinza - ou de acordo com o desenho				
Grau de Qualidade	Número de defeitos x Tamanho individual do defeito (comprimento da aresta de um retângulo equivalente em mm)			Somatório dos defeitos (comprimento da aresta de um retângulo equivalente em mm)
f1	2 x 0,16	-	-	0,25
f2	2 x 0,25	3 x 0,16	-	0,4
f3	2 x 0,40	4 x 0,25	6 x 0,16	0,63
f4	2 x 0,63	4 x 0,40	6 x 0,25	1,0
f5	1 x 1,0	3 x 0,63	6 x 0,40	1,6
f6	Sem requisitos decorativos			

Tabela 2				
A utilizar para superfícies - cromado preto - anodizado preto - ou de acordo com o desenho				
Grau de Qualidade	Número de defeitos x Tamanho individual do defeito (comprimento da aresta de um retângulo equivalente em mm)			Somatório dos defeitos (comprimento da aresta de um retângulo equivalente em mm)
f1	1 x 0,25	2 x 0,16	-	0,4
f2	1 x 0,40	2 x 0,25	4 x 0,16	0,63
f3	1 x 0,63	3 x 0,40	6 x 0,25	1,0
f4	1 x 1,0	2 x 0,63	4 x 0,40	1,6



f5	1 x 1,6	2 x 1,0	4 x 0,63	2,5
f6	Sem requisitos decorativos			

Tabela 3

A utilizar para superfícies
- pintado com tinta lisa/envernizada ou tinta fina matt
- Superfície plástica VDI 3400 ref. 21-27 e superfícies plásticas similares
- ou de acordo com o desenho

Grau de Qualidade	Número de defeitos x Tamanho individual do defeito (comprimento da aresta de um retângulo equivalente em mm)			Somatório dos defeitos (comprimento da aresta de um retângulo equivalente em mm)
f1	3 x 0,25	8 x 0,16	-	0,63
f2	3 x 0,40	8 x 0,25	-	1,0
f3	3 x 0,63	6 x 0,40	10 x 0,25	1,6
f4	3 x 1,0	6 x 0,63	10 x 0,40	2,5
f5	3 x 1,6	6 x 1,0	10 x 0,63	4,0
f6	Sem requisitos decorativos			

Tabela 4

A utilizar para superfícies
- pintado com tinta estruturada
- Superfície plástica VDI 3400 ref. 30-39 e superfícies plásticas similares
- ou de acordo com o desenho

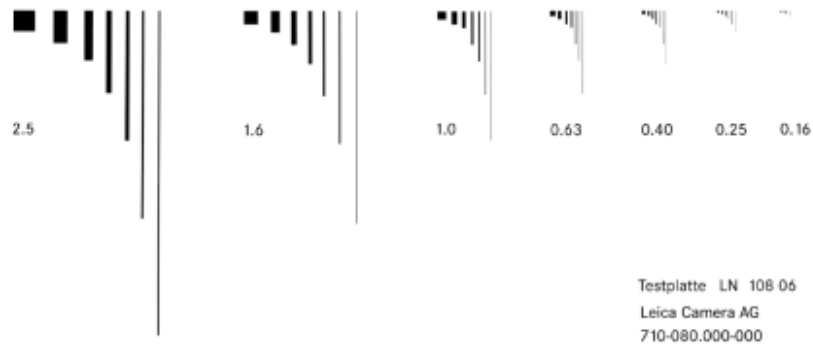
Grau de Qualidade	Número de defeitos x Tamanho individual do defeito (comprimento da aresta de um retângulo equivalente em mm)			Somatório dos defeitos (comprimento da aresta de um retângulo equivalente em mm)
f1	4 x 0,40	-	-	1,6
f2	4 x 0,63	6 x 0,40	-	2,5
f3	4 x 1,0	6 x 0,63	10 x 0,40	4,0
f4	4 x 1,6	6 x 1,0	10 x 0,63	6,3
f5	4 x 2,5	6 x 1,6	10 x 1,0	10
f6	Sem requisitos decorativos			

4.2.4 Tabela da grandeza dos defeitos

Pode ser utilizado a tabela de defeitos como apoio/ajuda para avaliar o tamanho dos defeitos individuais.

Este material tem o número 710-080.000-000 e pode ser solicitado no departamento QM-SQ/Leica Wetzlar.

Os níveis de qualidade indicados 0,16 a 2,5 correspondem aos tamanhos máximos admissíveis de defeitos individuais de acordo com o ponto 4.2.3.



4.3 Verificação

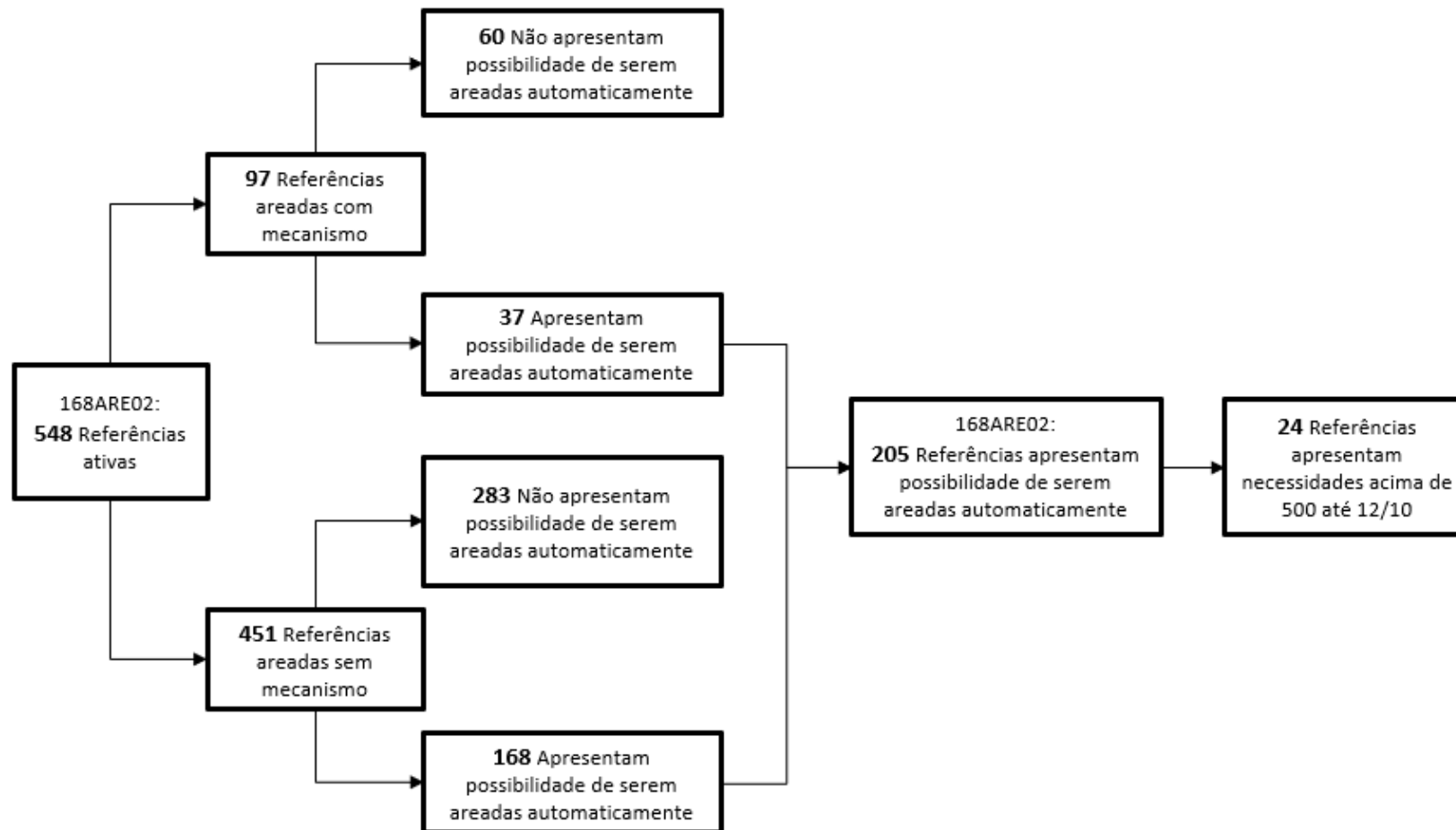
4.3.1 Condições técnicas de verificação

A amostra e a peça de comparação ou a tabela da grandeza dos defeitos devem ser colocadas aproximadamente no mesmo nível e verificadas sob as mesmas condições.


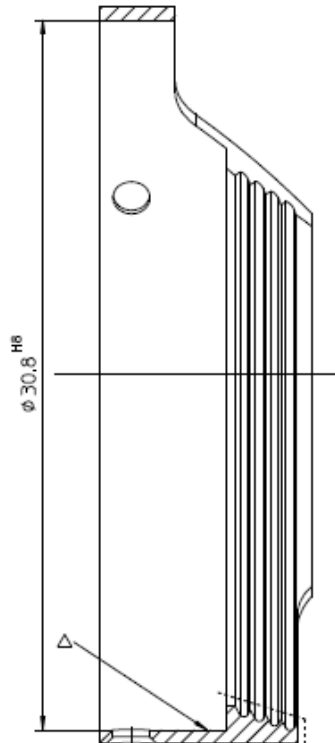
As condições de verificação são definidas da seguinte forma:

Condições de verificação	
Distância de visão	300 mm até 400 mm
Ângulo de visão	30° até 60°
Ângulo da incidência da luz	40° até 50°
Distância de iluminação	600 mm até 800 mm
Tipo de iluminação	iluminação artificial (Blendfreie) semelhante à luz do dia espectro 6.500 K
Nível de iluminação no ponto de observação	ca. 3.000 lx

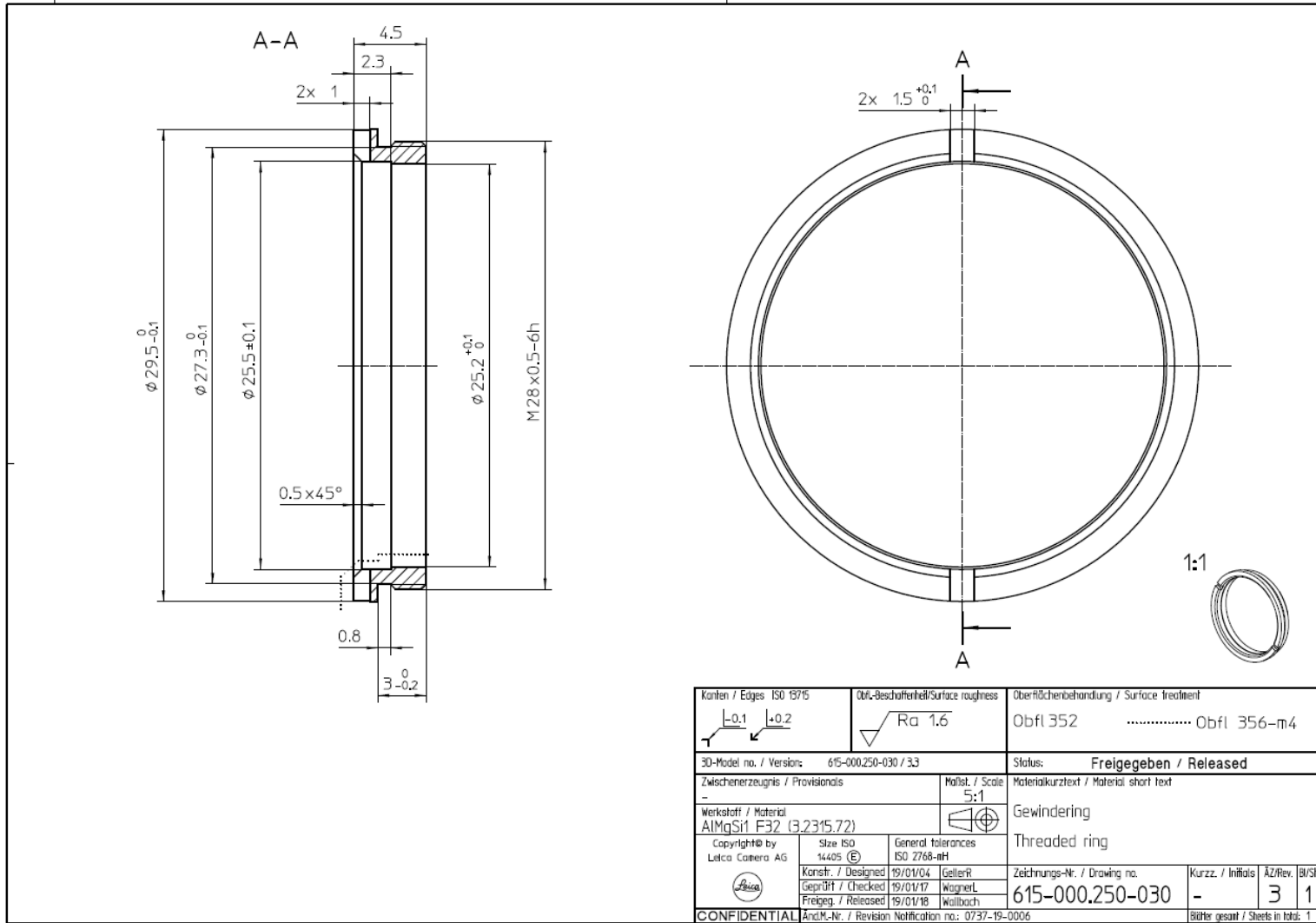
Anexo E: REFERÊNCIAS COM POSSIBILIDADE DE AUTOMAÇÃO



Anexo F: AU 421-037.927-005

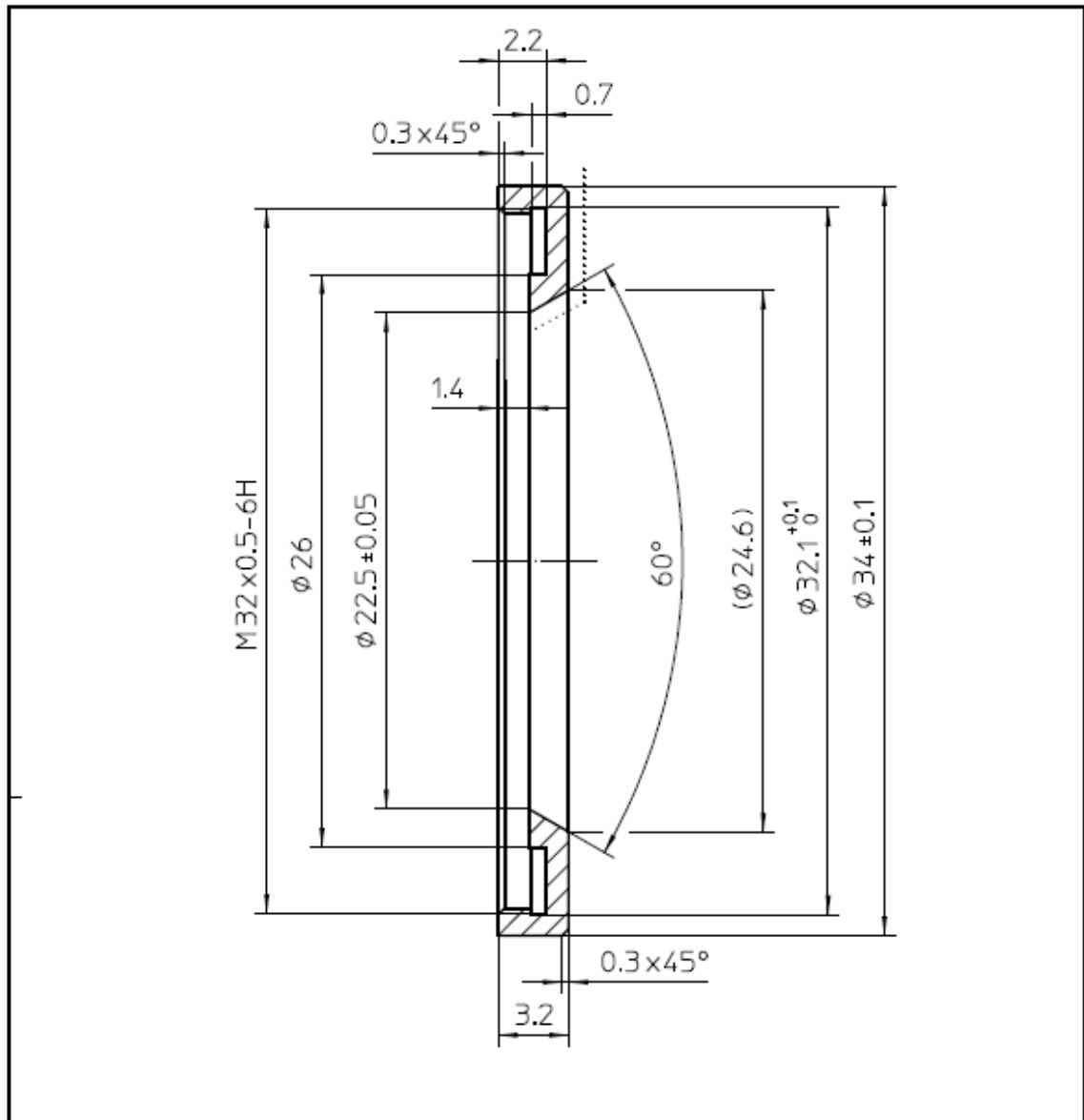
Arbeitsunterweisung INSTRUÇÃO ESPECÍFICA DE TRABALHO			Material: Número de ordem: 421-037.927-005		Materialzeit: Texto curto do assento: Schutzring, beschichtet		Blatt 1 Folha von 1 Blatt de 1 Folha		
Copyright© by Leica Camera AG, 2018/04 			Ersteller: Criação: 22/04/04		bruno.arias		Markierung / Número geral: AlMgSil F32 (3,235,72)		
CONFIDENTIAL			Freigeber: Libertador: 22/04/08		bruno.arias		Kennzeichnung / Centro custo: 63168		
Ag. Fase: 30		And-Z. / No. Atk. 2		Text des Arbeitsvorganges: Texto de fase de trabalho: Obj. 356		Arbeitsloch: Lugar trabalho: 168*****		Schutzmittel: Meio de proteção	
30 168ARE02 Arear Zona areada		40 168GAL02 Anodizar Δ (Fixação)		50 168COG02 Contralar Superfície f2		Callbre(s)			
									
Änderung: Alteração: Alteração do MP de X8CrNiS18-9 para AlMgSil e do tratamento de sup. de Obj234 para Obj356.									

Anexo G: AU 615-000.250-030




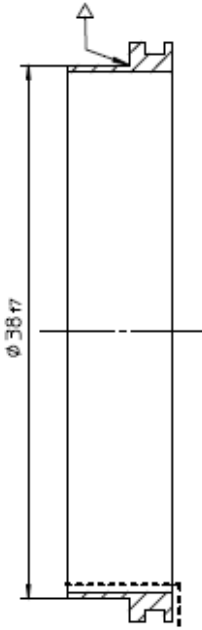
Kanten / Edges ISO 1575 └─0.1 ┘ └─0.2 ┘		Obfl.-Beschaffenheit / Surface roughness √ Ra 1.6		Oberflächenbehandlung / Surface treatment Obfl 352 Obfl 356-m4	
3D-Model no. / Versions 615-000.250-030 / 33			Status: Freigegeben / Released		
Zwischenergebnis / Provisionals -			Maßstab / Scale 5:1	Materialkurztext / Material short text	
Werkstoff / Material AlMgSi1 F32 (3.2315.72)			Gewinding Threaded ring		
Copyright © by Letco Camera AG 	Size ISO 14405 (E)	General tolerances ISO 2768-mH		Zeichnungs-Nr. / Drawing no. 615-000.250-030	
Konstrf. / Designed 19/01/04 GellerR	Geprüft / Checked 19/01/17 WagnerL	Freigeig. / Released 19/01/18 Wallbach	Kurz- / Initials -	ÄZ/Rev. 3	Bl/SH 1
CONFIDENTIAL			ÄndM.-Nr. / Revision Notification no.: 0737-19-0006		Blätter gesamt / Sheets in total: 1

Anexo I: AU 613-000.520-005



Längentoleranzen / Tolerances of length	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	0.1	0.2	0.3	0.5	Winkeltoleranzen / Tolerances of angle					
	±1°	±30'	±20'	±10'	±5'											
Nennmaß / Nominal dimension						Nennmaß / Nominal dimension				Länge des kurzen Schenkels / Length of the short angle side						
≤ 6	> 6 ≤ 30	> 30 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400 ≤ 1000	> 1000 ≤ 2000	≤ 120	> 120	≤ 120	> 120	≤ 10	> 10 ≤ 50	> 50 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400	Size ISO 14405	(E)
Obfl.-Beschaffenheit / Surface roughness		Oberflächen / Surface treatment				Maßstab / Scale		Zwischenerzeugnis / Intermediary product								
		Obfl 352				4:1		Werkstoff / Material								
Werkstückkanten / Edge conditions		(Obfl 356-m4)				Materialkurztext / Short Text		Blending								
						Diaphragm ring										
	Konstr. / Designed	15/05/18	Geller	Zeichnungs-Nr. / Drawing-Nr.		613-000.520-005		Kurzz. / Initials	ÄZ/Rev		2		B/Sh	1		
	Geprüft / Checked	15/05/20	Wagner	Freigeg. / Released		15/05/21		Wollbach								
	CONFIDENTIAL															
Änd.Nr. / Revision Notification-Nr.: 0737/15-028 15/05/18 Geller Blätter gesamt / Sheets in total: 1.																

Anexo J: AU 657-000.900-050

Arbeitsunterweisung <i>INSTRUÇÃO ESPECÍFICA DE TRABALHO</i>				 LEICA		Benennung <i>Designação</i> Anschlagring		Blatt 1 Folha 1 von 1 Bl. de 1 Bl.	
Werkstoff/Rohmaterial <i>Materia prima</i> AlMgSi1 F32 (3.2315.72)				Datum <i>Data</i> 30.03.21		Name <i>Nome</i> NRIbeiro		AV <i>PT</i> IE	
				Tel. <i>Telex</i> 411		Artikel-Nr. <i>Nº de Ident.</i> 657-000.900-050		Kostenstelle Centro custos 63168	
Ag Fase *	Lgr	fr	Te 100	Text des Arbeitsvorganges <i>Texto da fase de trabalho</i> Obfl. 356			And-Z Alteração 800	Arbeitsplatz Lugar trabalho 168*****	Ausgabedatum Data de distrib.
ASt Passo		Skizze Esboço			Einzelteile/Gruppen-Nr. <i>Nº de peças/Grupos</i>			Betriebsmittel Melo de produção	
10	168ARE02	Arear	----- Zona areada						
20	168GAL02	Anodizar	Δ(Fixação)						
30	168COG00	Controlar	Calibre(s)						
									
Au		Anderung Alteração		Datum/Name Data/Nome		Au		Anderung Alteração	
								Datum/Name Data/Nome	

Formblatt Nr. 2066/09.97/LCS

Anexo K: AU 475-035.012-003

Arbeitsunterweisung INSTRUÇÃO ESPECÍFICA DE TRABALHO				LEICA			Benennung Designação Threaded Ring		Blatt 1 Folha 1 von 1 Bl. de 1 Bl.	
Werkstoff/Material Matéria prima AlMg5				Datum Data 19.09.17	Name Nome Marcelo	AV PT IE	Tel. Tel. 411	Artikel-Nr. N.º de Ident. 475-035.012-003		Kostenstelle Centro custos 63168
Ag Fase *	Lgr	fr	fe 100	Text des Arbeitsvorganges Texto da fase de trabalho Obfl 356				And-Z Alteração 803	Arbeitsplatz Lugar trabalho 168*****	Ausgabedatum Data de distrib.
Abl Passo		Skizze Esboço			Einzelteile/Gruppen-Nr. N.º de peças/Grupos			Betriebsmittel Meio de produção		
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">20</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">168ARE02</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Arear</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">..... Zona areada</div> </div> <div style="margin: 5px 0;">----- Zona não areada</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">30</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">168GAL02</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Anodizar</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Δ (Fixação)</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">168COG02</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Controlar</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">..... Superfície f2</div> </div> <div style="margin-top: 10px; border: 1px solid black; padding: 2px; width: 50%;">Calibre(s)</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 20px;">X 18:1</div> </div>										
803	Renocão do mecanismo e alt. dos c.t.			04.11.22	NRBello					
802	Renocão de zona areada.			03.10.19	E.Gomes					
801	Adicionou controlo de calibres e mecanismo.			04.07.19	E.Gomes					
Au	Anderung Alteração			Datum/Name Data/Name	Au		Anderung Alteração		Datum/Name Data/Name	

Fornheitt Nr. 20166/09.97/LCS

Anexo L: ESQUEMA DO TRAJETO DO ABRASIVO

